

CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DE LAS DUNITAS SERPENTINIZADAS DE LA REGIÓN DE MOA-BARACOA (ZONAS AMORES Y MIRAFLORES)

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SERPENTINIZED DUNITES
FROM MOA-BARACOA REGION (AMORES AND MIRAFLORES ZONES)

JOSE ALBERTO PONS HERRERA
CARLOS ALBERTO LEYVA RODRIGUEZ
GLEURIDES RODRIGUEZ MARTINEZ
MARIA CARIDAD RAMIREZ PEREZ

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
E-mail: jpons@minbas.com.cu

ISMM

Empresa Cromo Moa.

ISMM

RESUMEN: Los principales resultados de la caracterización físico-química y mineralógica de las dunitas serpentinizadas de las zonas de Amores y Miraflores en la región de Moa-Baracoa, se exponen en este trabajo. Se demuestra la presencia de minerales del grupo de la serpentina, principalmente antigorita, debido al proceso de serpentización que ha afectado a estas rocas, y su transformación en fase forsterita luego de su calentamiento. Estos aspectos revisten especial importancia para las investigaciones que en la actualidad se realizan con estas litologías para su empleo como material refractario.

Palabras claves: antigorita, forsterita, olivino, dunita.

ABSTRACT: This paper carried out the main results of physical-chemical and mineralogical characterization of serpentized dunites in Amores and Miraflores zones from Moa-Baracoa region. It shows the presence of minerals in the serpentinite group, specifically antigorite, due to the serpentization process that has affected these rocks, and their later transformation into the phase of forsterite after their heating. These aspects have special importance for the investigation that nowadays are made with these lithologies for their use as refractory materials.

Key words: Antigorite, Forsterite, Olivine, Dunite.

INTRODUCCIÓN

El macizo ofiolítico Moa-Baracoa presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáficos y máficos, con más de 100 depósitos de cromitas refractarias (Fonseca y Sladkevich, 1992), con los que se asocian rocas y minerales de gran utilidad en diferentes esferas económicas, como es el caso de las dunitas (Teague, 1983; Griffiths, 1989; Formoso et al., 1994).

Las dunitas se asocian al complejo ultramáfico el cual se caracteriza, desde el punto de vista petrológico, por una composición heterogénea con predominio de las harzburgitas; en menor proporción se encuentran las dunitas, dunitas plagioclásicas, wherlitas, lherzolitas y piroxenitas serpentinizadas en mayor o menor grado (Guild, 1948; Thayer, 1966; Fonseca y Sladkevich, 1992; Torres, 1987; García y Fonseca, 1994).

Las principales investigaciones geológicas realizadas hasta el momento en la región Moa-Baracoa han estado

dirigidas hacia las cortezas ferroniquelíferas y las cromitas refractarias, fuentes de materias primas para las industrias tradicionales del territorio; sin embargo, el resto de las rocas y minerales industriales existentes en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa no han sido suficientemente estudiados desde el punto de vista de sus aplicaciones en la industria. Por ejemplo, las dunitas aunque en los últimos años se han empleado con éxito en los talleres metalúrgicos del país y se han logrado importantes resultados (Leyva y Pons, 1996; Pons y Leyva, 1997b; Pons, 2000), no han sido completamente caracterizadas desde la óptica fisicoquímica.

La valoración geológica y la factibilidad técnico-económica de las dunitas asociadas a las cromitas del yacimiento Merceditas para su aplicación como material refractario han sido objeto de estudio de algunos autores (Proenza, 1997; Pons y Leyva, 1997a; Pons et al., 1998; Muñoz, 1997; Pons, 1999).

TABLA 1. RESULTADOS PROMEDIO DE LOS ANALISIS QUIMICOS (%) REALIZADOS A LAS DUNITAS SERPENTINIZADAS DE LAS ZONAS DE AMORES Y MIRAFLORES

Compuestos	Dunitas Amores	Dunitas Miraflores
SiO ₂	36,51	35,60
Al ₂ O ₃	0,85	0,94
TiO ₂	0,025	0,027
CaO	0,11	0,205
MgO	39,46	38,95
Fe ₂ O ₃	5,27	5,59
FeO	2,67	3,97
NiO	0,30	0,21
Na ₂ O	0,05	0,05
K ₂ O	0,05	0,05
Cr ₂ O ₃	0,37	0,26
P ₂ O ₅	0,02	0,02
P.P.I.	14,40	14,95
Relacion: MgO/SiO ₂	1,04	1,08
Relacion: Fe ₂ O ₃ /FeO	1,20	1,97

En la zona de Amores, ubicada hacia el noreste del macizo montañoso Moa-Baracoa, los trabajos desarrollados sobre los minerales de cromitas refractarias (Labrada 1988; Pelier et al., 1992; Fonseca y Sladkevich, 1992) han permitido conocer algunas características geológicas de las dunitas de esta zona; sin embargo, muchas de las propiedades que justifican la utilización de estas rocas como material refractario aún se desconocen.

La zona de Miraflores constituye un área perspectiva donde se han desarrollado numerosas investigaciones geológicas (Picayo, 1988; Campos et al., 1989; Castellanos y Casas, 1994; Jerez et al., 1995; Muñoz, 1997), paralelamente a otros trabajos encaminados al estudio de las dunitas de esta región para su utilización como rocas ornamentales y como componente refractario para pinturas contra las costras de penetración y como arenas de fundición (Pons et al., 1997).

El campo de aplicación de las dunitas en los procesos metalúrgicos puede ampliarse aún más si se logra una caracterización más amplia de sus propiedades físico-químicas. El presente trabajo tiene como objetivo ca-

racterizar desde este punto de vista las dunitas de las zonas de Amores y Miraflores con vistas a su empleo como material refractario.

TÉCNICA ANALÍTICA

Los análisis ópticos de las diferentes asociaciones minerales, así como las relaciones texturales de las dunitas serpentinizadas, se analizaron en láminas delgadas y secciones pulidas mediante microscopía óptica de luz transmitida y reflejada. Se empleó un microscopio Jenapol de la firma Carl Zeiss-Jena, de fabricación alemana.

Para los análisis químicos se empleó la técnica de espectrometría de emisión atómica de plasma con acoplamiento inductivo (ICP-AES), mientras que el análisis de microsonda electrónica de barrido se utilizó para el análisis químico cuantitativo de los minerales de olivino presentes en las dunitas, con el empleo de un microscopio electrónico provisto de microsonda electrónica de barrido CAMECA modelo SX-50, bajo las condiciones siguientes: tensión de aceleración de 20 Kv y una corriente sobre la muestra de 20 nA, midiendo sobre las líneas espectrales K α del Mn, Fe y Ni con un cristal LIF; Mg, Si y Al con un cristal TAP, y Cr, V y Ti con un cristal PET. Los patrones utilizados fueron: periclase (Mg), cromita (Cr, Al, Fe), rodonita (Mn), óxido de níquel (Ni), rutilo (Ti), vanadio (V) y ortoclase (Si).

El estudio termogravimétrico se realizó empleando un derivatógrafo Q-1500 D de la firma húngara MOM, y se obtuvo información acerca del análisis termogravimétrico (ATG) y análisis térmico diferencial (ATD), bajo las condiciones de trabajo siguientes:

- Temperatura de calentamiento: 1 000°C.
- Sensibilidad ATD: 250 μ V.
- Sensibilidad ATG: 500 μ V,
- Sensibilidad TG: 250 μ V,
- Velocidad de calentamiento: 10°/min
- Atmósfera: dinámica

El análisis mineralógico por difracción de rayos-X se empleó en la identificación de las fases minerales. Se utilizó un difractómetro alemán modelo HZG-4, con una radiación K α de cobalto; como referencia se hizo uso de un equipo Phillips, tipo PW1840, con K α de cobre, ambos bajo las condiciones siguientes:

- Velocidad de exploración: 2°/min.
- Rendija utilizada (detector): 0,79 mm.
- Constante de tiempo: 2 segundos.
- Condiciones eléctricas: 30 mA y 40 Kv.
- Se empleó un campo de exploración (2 θ) con variación de 6 a 100 grados.

TABLA 2. RESULTADOS PROMEDIOS DE LOS ANALISIS POR MICROSONDA ELECTRONICA (%), REALIZADOS A CRISTALES DE OLIVINO PRESENTES EN LAS DUNITAS SERPENTINIZADAS DE LA REGION DE MOA, ZONAS AMORES Y MIRAFLORES

Composicion(%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Total
Amores	41,65	0,015	0,023	0,013	52,84	0,009	0,055	4,945	0,478	100,0
Miraflores	41,29	0,018	0,020	0,010	49,86	0,010	0,048	8,86	0,395	100,5

TABLA 3. PERDIDA DE MASA QUE EXPERIMENTAN LAS DUNITAS SERPENTINIZADAS DE LA REGION DE MOA, ZONAS AMORES Y MIRAFLORES

Muestras	T (°C)	Perdida de masa		Fases principales
		mg	%	
Amores	25-235	18,2	3,71	An.
	235-570	21,8	4,44	An.
	570-760	27,04	5,51	An. y Fo.
	760-900	2,16	0,44	Fo.
Total		69,2	14,1	An. y Fo.
Miraflores	25-265	17,61	4,58	An.
	265-600	19,30	5,02	An.
	600-800	23,45	6,10	An. y Fo.
	800-900	1,93	0,50	Fo.
Total		62,29	16,20	An. y Fo.

An: antigorita; Fo: forsterita

Se utilizaron muestras con tamaño de partículas inferior a 44 micrones (tamiz # 325 de la serie ASTM). La interpretación de los difractogramas se realizó con ayuda del software REGINTEL (Torres, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características petrográficas y químicas

En el yacimiento Amores los cuerpos minerales cromíticos y sus rocas encajantes (las dunitas) se encuentran muy agrietados, con algunas grietas rellenas de kerolitas, serpofitas o carbonato de calcio. Las dunitas en general son de grano fino, color verde grisáceo y verde negruzco, fuertemente serpentinizadas; poseen textura bandeada y una estructura variada (nodular, reticular, laminar y fibrosa bandeada) en dependencia del tipo específico de dunita. Están compuestas mayormente por olivino (80-90%) y en menor proporción por ortopiroxenos y cromita.

En la zona de Miraflores, en la mayoría de los sectores, las dunitas presentan un aspecto externo diferente, en general son de color gris oscuro con tonalidades verdosas, textura masiva, holocristalinas, de granulometría media, agrietadas. Una de las principales características petrográficas de las dunitas de esta zona es su elevado grado de serpentización, superior al de las dunitas de Amores. Macroscópicamente las dunitas poseen una apariencia monomineral, con una coloración verde clara a oscura, textura masiva, granulometría fina, muy alteradas y agrietadas. Microscópicamente, presentan textura mallada, formada en su totalidad por relictos de olivino fracturados (80-95%) y alterados a antigorita y lizardita, lo que indica su alto grado de serpentización.

La composición química promedio de las dunitas serpentinizadas de las zonas de Amores y Miraflores presenta gran similitud y muestra un alto contenido de óxido de magnesio y silicio. Las características refractarias de estas rocas se manifiestan por las relaciones MgO/SiO₂ (> 1) y Fe₂O₃/FeO (1,2-1,9), valores aceptados actualmente para su utilización como material refractario.

La composición química del olivino en las dunitas, al igual que en las harzburgitas presentan un estrecho intervalo de variación. La principal diferencia con respecto a estas rocas radica en el hecho de que el olivino de las dunitas manifiesta mayores valores de forsterita (valor promedio Fo = 92,1%; σ = 0,30), mientras que los contenidos de Fe₂O₃ oscilan entre 4,84-8,24%.

Los análisis de microsonda electrónica efectuados a cristales de olivino presentes en las dunitas serpentinizadas (Tabla 2), permitieron establecer para este mineral en las dos zonas, las fórmulas cristaloquímicas generales siguientes:

- Amores: (Mg_{1,79} Fe_{0,17}) SiO₄; con valores de forsterita entre 91,16 y 91,82%, y de fayalita entre 8,32 y 8,96%.
- Miraflores: (Mg_{1,71} Fe_{0,21}) SiO₄; con valores de forsterita entre 90,68 y 91,26%, y de fayalita entre 8,82 y 8,98%.

En ambas zonas los contenidos de forsterita son inferiores a los reportados para las dunitas serpentinizadas de la zona de Merceditas (Pons et al., 1998).

En sentido general, ha quedado demostrado que el olivino constituye el único silicato primario intersticial, parcial o totalmente alterado a minerales del grupo de la serpentina, sobre todo a antigorita, con lo que se confirma el alto grado de serpentización de las dunitas de la región de Moa. Este fenómeno se encuentra más acentuado en la zona de Miraflores que en Amores, pero en ningún caso limita su aplicación industrial (Pons, 2000). Otras regularidades observadas en las dunitas estudiadas, que favorecen su utilización como material refractario, son la escasa presencia de piroxenos (menor de 1%) y la poca variación en el contenido de forsterita en el olivino, tanto en las dunitas de Amores como en las de Miraflores, con valores promedio entre 90-91%.

Características térmicas y mineralógicas

A partir de los resultados de los análisis térmicos, específicamente de la forma de los efectos endotérmicos y exotérmicos, la posición de éstos y las temperaturas a las cuales se producen (670-850°C), se estableció la presencia de antigorita, de fórmula química ideal: Mg₃Si₂O₅(OH)₄ como

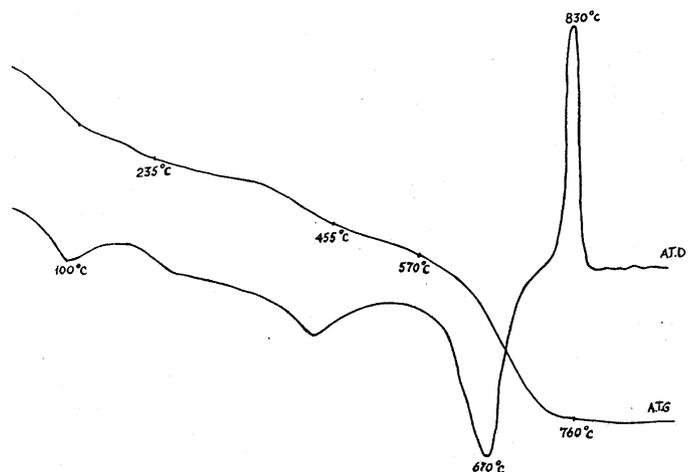


Figura 1. Análisis termogravimétrico (ATG) y térmico diferencial (ATD) de las dunitas serpentinizadas de la zona de Amores.

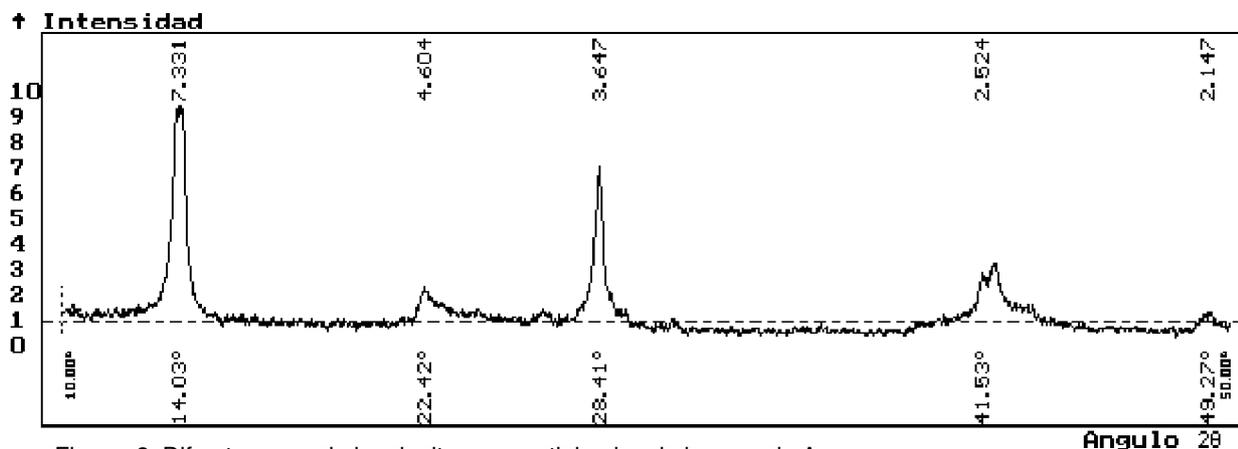


Figura 2. Diffractograma de las dunitas serpentinizadas de la zona de Amores.

fase principal del grupo de la serpentina. La presencia de esta fase mineral se detectó a través de los análisis de difracción de rayos X en todas las dunitas estudiadas. Los registros gráficos de estos ensayos evidencian un comportamiento similar para las dunitas de ambas zonas, con pequeñas diferencias en las temperaturas a las cuales se producen los efectos endotérmicos y exotérmicos, así como en las variaciones de masa que experimentan estos materiales durante su calentamiento. De forma general, como resultado de estos análisis se destacan las regularidades siguientes en cada una de las muestras de las dos zonas estudiadas:

Amores

Se produce un pequeño efecto endotérmico entre 100-23°C en la curva ATD (Fig. 1), acompañado de una pequeña disminución de masa, de alrededor del 3,71% en el ATG (Tabla 3) a causa de la eliminación de la humedad higroscópica que posee la muestra. A partir de 235°C, aproximadamente, se observa en la curva ATD, un largo efecto endotérmico hasta 570°C, acompañado de una pérdida de masa del 4,44%. El principal efecto endotérmico se produce entre 570 y 760°C, con un pico agudo y característico a 670°C, reflejado en la curva ATG por una disminución de masa del 5,51% con respecto a la masa

inicial, asociado al desprendimiento de los grupos oxidrilos. La pérdida total de masa en las dunitas serpentinizadas de Amores es alrededor de 14,1%.

El máximo efecto exotérmico se produce a los 830°C, característico de compuestos con iones Mg^{2+} , Fe^{2+} y Ni^{2+} . Este resultado coincide con el obtenido por Formoso et al. (1994) y es propio de la transformación de la fase antigorita en forsterita después de la deshidratación. Los difractogramas obtenidos confirman la presencia de la antigorita como fase principal en las dunitas serpentinizadas de esta zona (Fig. 2).

Miraflores

La curva ATD para las muestras de Miraflores tiene un comportamiento diferente a la obtenida para Amores, y presenta dos picos endotérmicos: uno a los 200°C que corresponde a la eliminación de la humedad higroscópica y otro a los 700°C como consecuencia de la deshidratación del material. Seguidamente, se aprecia un efecto exotérmico cuyo valor máximo alcanza los 850°C (Fig. 3).

En el caso de la curva de ATG se observa un profundo efecto endotérmico entre 105-265°C correspondiente a la eliminación de la humedad higroscópica, la cual es mayor en este material que en el de Amores, con pérdidas en masa del 4,58% (Tabla 3). El desprendimiento del agua estructural se verifica en el rango de temperaturas entre 600-800°C, donde se produce un largo efecto endotérmico, caracterizado por un pico agudo a los 700°C, acompañado por una disminución de masa del 6,10% con respecto a su masa inicial. A los 780°C, aproximadamente, comienza el proceso de transformación y el reordenamiento estructural del olivino. El principal efecto exotérmico se alcanza entre 800-880°C, con un máximo a los 850°C, y se verifica la transformación de la fase antigorita en forsterita. La pérdida total de masa en las dunitas de Miraflores es de alrededor del 16%.

Los resultados de los análisis termogravimétrico y mineralógico confirman la serpentinización de las dunitas estudiadas, caracterizadas por el predominio de los minerales del grupo de la serpentina, principalmente de la antigorita (Fig. 4).

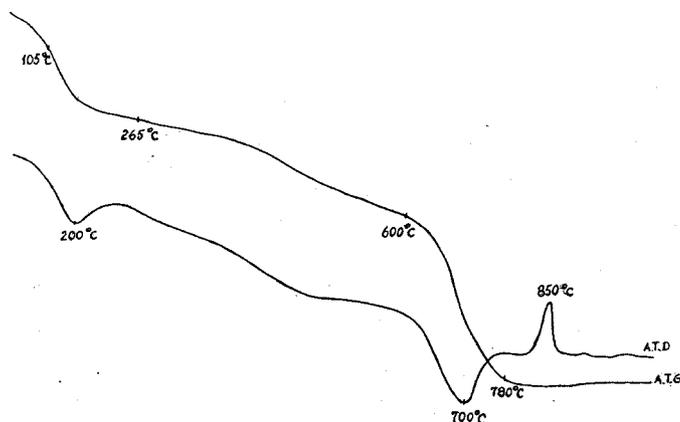


Figura 3. Análisis termogravimétrico (ATG) y térmico diferencial (ATD) de las dunitas serpentinizadas de la zona de Miraflores.

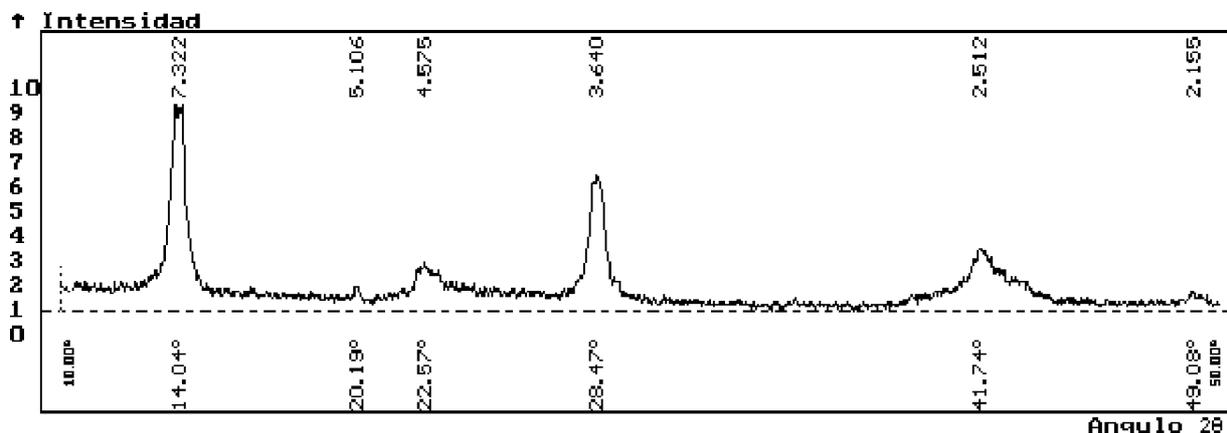


Figura 4. Diffractograma de las dunitas serpentinizadas de la zona de Miraflores.

CONCLUSIONES

- Las dunitas de las zonas de Amores y Miraflores están serpentinizadas, con predominio de la fase antigorita y escasa presencia de piroxenos (menor de 1%), donde el olivino que acompaña a estas rocas tiene un contenido de forsterita entre 90 y 91%. Estas características no limitan su empleo como material refractario.
- La eliminación de la humedad higroscópica se verifica en el intervalo de temperatura entre 100-265°C, con pérdidas en masa que oscilan entre 3,71 y 5% con respecto a la masa inicial para cada una de las muestras estudiadas.
- El efecto endotérmico observado entre 670-700°C, confirma la eliminación de la humedad estructural de las dunitas de las zonas Amores y Miraflores, con pérdidas de masa que oscilan entre 14 y 16% con respecto a la masa inicial; mientras que entre 830 y 850°C se produce un efecto exotérmico en el que se verifica el reordenamiento estructural del olivino y la transformación de la fase antigorita en forsterita.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean agradecer la colaboración prestada, en la realización de los diferentes análisis, por el laboratorio Elio Trincado de la Empresa Geológica de Santiago de Cuba, los laboratorios de Mineralogía y de Rayos X del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, y el laboratorio de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Barcelona

BIBLIOGRAFÍA

CAMPOS, M.; N. MUÑOZ Y Y. RÍOS: "Informe sobre el levantamiento geológico a escala 1: 50 000 del Cerro Miraflores", ISMM-Moa, 1989.
 CASTELLANOS, P. Y M. CASAS: "Caracterización preliminar de las rocas ornamentales del Cerro Miraflores en el municipio de Moa", Informe Técnico, ISMM-Moa, 1994.
 FONSECA, E. Y V. SLADKEVICH: "Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación y pronóstico", Informe Técnico, IGP, La Habana, 1992.
 FORMOSO, A., M. SIRGADO Y L. GARCÍA: "La dunita como agente de eliminación de alcalinos en el horno alto", Revista de Metalurgia (Madrid) 30 (4) : 227-234, 1994.
 GARCÍA, I. Y E. FONSECA: "La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores", Minería y Geología 11 (1) :50-54, 1994.

GRIFFITHS, J. : "Olivine. Volumen the key to success", Industrial Mineral (1) :25-35, 1989.
 GUILD, P. W.: "Petrology and structure of the Moa chromite district Oriente. Cuba", U.S. Geological Survey Bulletin, 3 (2) : 37-55, 1948.
 JEREZ, G., C. LEYVA Y J. PONS: "Estudio geólogo-tecnológico de las dunitas serpentinizadas y cortezas caoliníticas de la región de Moa para su empleo como materiales refractarios", Informe Técnico, ISMM, Moa, 1995.
 LABRADA, B. J.: "Informe geológico de la exploración orientativa del yacimiento de cromitas de Amores", Empresa Cromo Moa, 1988.
 LEYVA, C. Y J. PONS: "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, 1996.
 MUÑOZ, J. N.: "Geoquímica y mineralogía de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa-Baracoa", Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM, Moa, 1997.
 PELIER, M., M. NAVARRETE Y A. FERNÁNDEZ: "Informe sobre los resultados de la exploración orientativa y detallada del yacimiento de cromo Amores.", Empresa Cromo Moa, 1992.
 PICAYO, P. H.: "Petrografía de las ofiolitas del Cerro Miraflores", Informe Técnico, ISMM-Moa, 1988.
 PONS, J.: "Caracterización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores", Tesis de Maestría, Departamento de Metalurgia ISMM, Moa, 1999.
 -----: "Obtención de productos refractarios para la fundición, a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores", Tesis doctoral, Departamento de Metalurgia, ISMM, Moa, 2000.
 PONS, J. Y C. LEYVA: "Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición", Minería y Geología 14 (1) :25-29, 1997a.
 -----: "Aplicación de dunitas de la zona de Amores y Miraflores en los procesos de fundición", Informe Técnico, ISMM Moa, 1997b.
 PONS, J., O. ESPINOSA Y N. LABORÍ: "Obtención y evaluación de productos refractarios, a partir de las dunitas serpentinizadas de las zonas Amores y Miraflores", Informe Técnico, ISMM, Moa, 1997.
 PONS, J., C. LEYVA Y A. FIOL: "Características generales de las dunitas de la región de Moa (zona Merceditas)", Minería y Geología 2 (2): 35-40, 1998.
 PROENZA, J.: "Mineralizaciones de cromita en la faja Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas", Tesis doctoral, Departamento de Geología, ISMM, Moa, 1997.
 TEAGUE, H. K.: "Olivine", Industrial Minerals and Rocks 12 (50) :989-996, 1983.
 THAYER, T. P.: "Serpentinization considered as a constant-volumen metasomatic process", American Mineralogist 6 (61) :685-710, 1966.
 TORRES, O.: Regintel, Software para la interpretación de difractogramas, XI Forum Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana, 1996.
 TORRES, R.: "Caracterización de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico del Cretácico", Trabajo de diploma, Departamento de Geología, ISMM, Moa, 1987.