

Potencialidades geotecnológicas de rocas ultrabásicas cubanas asociadas a macizos ofiolíticos para la producción de materiales con alto valor agregado



Geotechnological potential of Cuban ultrabasic rocks associated with ophiolitic massifs for the production of materials with high added value

<http://opn.to/a/b0R6r>

Rolando Batista González ^{1*}, José Antonio Alonso Pérez ², Abdel Casanova Gómez ³, Alejandra Naida Hernández Martínez ⁴, Carlos A. Leyva Rodríguez ⁵, José A. Pons Herrera ⁶

RESUMEN: Se exponen resultados de caracterización y evaluación del potencial de rocas ultrabásicas cubanas asociadas al macizo ofiolítico de Camagüey, así como las de la región Mayarí-Sagua-Baracoa, dadas sus perspectivas favorables para la explotación, factibilidad tecnológica e infraestructura civil durante la obtención de concentrados de MgO y la posterior elaboración de formulaciones de ecocementos (SOREL, NOVACEM, Eco-Cement) que permitan la producción en línea de paneles ligeros ignífugos a mediano y/o corto plazo. Como contribución de la investigación se identificó en muestras representativas de dunitas el mineral *piroaurita*; $Mg_6Fe_2(OH)_{16}(CO_3)_4 \cdot 4H_2O$, asociado a los yacimientos de cromo “Mamina” y “Victoria” (provincia Camagüey), a través del empleo de las técnicas instrumentales de difracción de polvos y Análisis Térmico respectivamente. Dicho mineral constituye el primer reporte de su tipo en rocas ultrabásicas cubanas, proponiéndose además el índice de clasificación de las rocas por tipos tecnológicos y cálculo del potencial de recursos geológicos ($168\ 000\ 000\ m^3$) en categoría de hipotéticos, a partir de resultados de pozos geológicos de exploración en un área del yacimiento “La Estrella” (Nipe-Baracoa), el cual se evaluó también en refractarios. Por último, se indican las acciones geotecnológicas que deben ejecutarse con la finalidad de que se validen las tecnologías de lixiviación con que se dispone para la obtención de concentrados (carbonato-básico, óxido de magnesio) y la elaboración de diferentes formulaciones de ecocementos que incluye pruebas tecnológicas -a escala piloto- para la obtención de paneles ligeros como contribución al desarrollo sostenible de la industria de materiales para la construcción.

Palabras clave: Dunitas, carbonato-básico, óxido de magnesio, paneles ligeros, materiales para la construcción.

ABSTRACT: Results of characterization and evaluation of the potential of Cuban ultrabasic rocks associated to the Camagüey ophiolitic massif are presented, as well as those of the Mayarí-Sagua-Baracoa region, given their favorable prospects for exploitation, technological feasibility and civil infrastructure during obtaining concentrates of MgO and the subsequent elaboration of formulations of ecocements (SOREL, NOVACEM, Eco-Cement) that allow the online production of flame retardant

Recibido: 02/03/2018

Aprobado en su forma original: 01/08/2019

¹Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, MICONS, Cuba

²Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, MINEM, Cuba

³Empresa Minera del Caribe (EMINCAR) S.A, Cuba

⁴Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIMM, MINEM, Cuba

⁵Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa Dr. A. Núñez Jiménez, Las Coloradas, s/n Moa, Cuba

⁶Ferróniquel Minera S.A, Moa, Holguín, Cuba

*Autor para correspondencia: Rolando Batista González: E-mail: rolando@enia.co.cu

light panels in the medium and / or short term. As a contribution of the research, the pyroaurite mineral was identified in representative samples of dunites; $Mg_6 Fe_2 (OH)_{16} (CO_3)_4 H_2 O$, associated with the chromium deposits “Mamina” and “Victoria” (Camagüey province), through the use of instrumental techniques of powder diffractometry and Thermal Analysis respectively. This mineral constitutes the first report of its kind in Cuban ultrabasic rocks, with the index of classification of the rocks by technological types and calculation of the potential of geological resources ($168,000,000 m^3$) in the hypothetical category, based on well results geological exploration in an area of the “La Estrella” field (Nipe-Baracoa), which was also evaluated in refractories. Finally, the geotechnological actions that must be executed are indicated in order to validate the leaching technologies that are available for obtaining concentrates (basic carbonate, magnesium oxide) and the elaboration of different ecocement formulations that include technological tests - on a pilot scale - for obtaining light panels as a contribution to the sustainable development of the building materials industry.

Key words: Dunitas, carbonate-basic, magnesium oxide, light panels, building materials.

INTRODUCCIÓN

El uso del magnesio como material cementante en la construcción se valora desde finales del siglo XIX, pero en la actualidad ha tomado gran auge como material electivo al cemento Portland, a partir de sus implicaciones en la reducción de los consumos energéticos y la reducción de la huella de carbono (kg de CO_2 que se emite por cada kg de metal producido), convirtiéndolo en una alternativa más ecológica o verde. También los cementos a base de magnesio entran en las nuevas tecnologías de la construcción donde la industrialización prevalece, las edificaciones prefabricadas y personalizadas, listas para armar, ganan mercado por su gran versatilidad, menor costo económico -30% menor con respecto a las tradicionales- y consumos energéticos bajos ([Argiz,2012](#)).

Entre sus ventajas principales destacan las siguientes: bajo peso volumétrico que propicia la productividad constructiva, presentan propiedades ignífugas, impermeables, resistentes

al ataque biológico, aislante acústico y térmico. En la [figura 1](#) se presenta un prototipo de panel ligero producido por la firma comercializadora InnovaHouse S.A

En Cuba se conocen varias fuentes de magnesio, entre ellas se mencionan las magnesitas del yacimiento “Redención”, la dolomita del yacimiento “Remedios” y las dunitas-olivínicas del yacimiento “Pinares de Mayarí” con recursos identificados ([Colectivo de autores, 2016](#)) Se han extraído compuestos de magnesio para diferentes usos de las salmueras de desecho en las salinas ([García Merlot,1977](#)). Su uso en nuestro país solo se limita a la agricultura, cosmética, vidrio, refractarios, floculantes y dispersantes para la industria de los hidrocarburos, ([Martínez Salcedo, et al., 1994](#); [Anaya, 1999](#)).

Por otra parte, las espinelas de aluminato de magnesio $MgAl_2O_4$ se cuentan entre los refractarios más utilizados por su alta resistencia a las escorias básicas, baja conductividad y expansión térmica, principalmente como

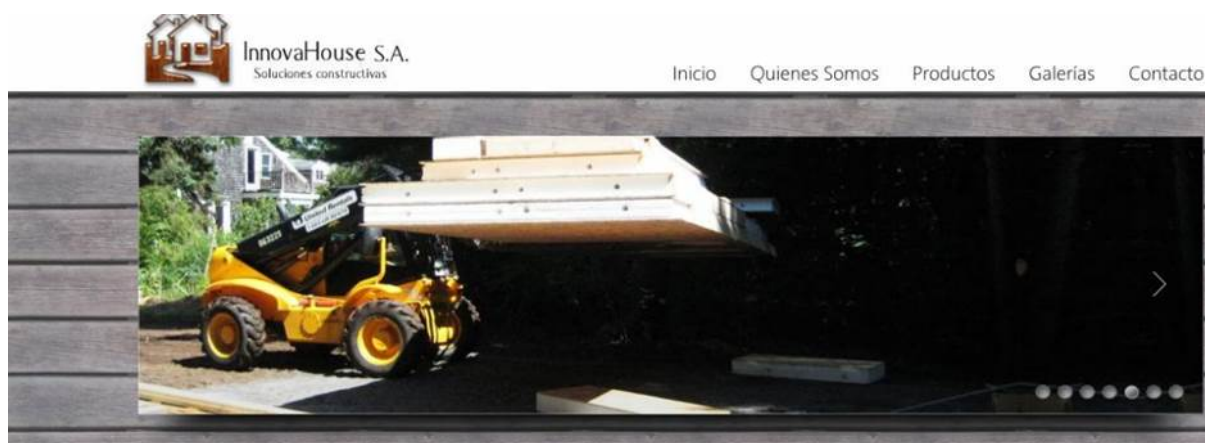


Figura 1. Paneles ligeros ignífugos construidos por la firma InnovaHouse S.A.

sustitutos de los refractarios básicos de cromo-magnesio que produce cromo hexavalente - extremadamente tóxico- en las acerías y cementeras. Estas espinelas también son utilizadas por las industrias electrónica, química, militar y atómica entre otras. En Cuba el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), ha efectuado estudios para validar la producción de estas espinelas otorgándosele por dicho motivo la patente de invención [Hernández y otros, \(2004\)](#).

Dicha materia mineral se ha evaluado también con buenos resultados como arena de fundición, pinturas antiadherentes contra la penetración metálica y refractarios conformados, por diferentes investigadores principalmente por los profesores Carlos A. Leyva Rodríguez, José A. Pons Herrera y Andrés Salazar Moreno del Instituto Superior Minero Metalúrgico ISMM, Moa, Holguín, desde la década de 1990 hasta la actualidad, trabajo reflejado en artículos científicos, tesis doctorales y maestrías así como trabajos de diploma ([Leyva, et al, 2000](#); [Pons, et al., 2001](#)). Es de destacar que en estos trabajos no se valoraron dichas rocas como menas de Mg en los usos que hoy se propone en este trabajo para las dunitas, a pesar de que sus contenidos de MgO resultan muy atractivos.

Por lo expuesto y teniendo en cuenta que las dunitas así como las harzburgitas constituyen una materia prima mineral alternativa para el desarrollo de las nuevas tecnologías constructivas como cemento ecológico (verde o con baja huella de carbono), además el país cuenta con recursos potenciales de estas rocas a lo largo de los macizos ofiolíticos de Camagüey y Mayarí-Moa-Baracoa, se plantea como problema de investigación a resolver el siguiente: *¿Son capaces los recursos de dunitas soportar la producción de 200 mil t/año para la preparación de formulaciones de ecocementos y el desarrollo de tecnologías de fabricación de paneles ligeros?* En este sentido se identifica como Objetivo General: Valorar las potencialidades geotecnológicas que presenta el territorio cubano para localizar y explotar dunitas con dicha finalidad y cómo Objetivo específico: *Delimitar los sectores o depósitos hospederos que resulten perspectivas para efectuar trabajos de prospección, exploración y pruebas tecnológicas.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características geológicas de las dunitas ([Martínez et al., 1994](#))

En Cuba las dunitas se vinculan desde el punto de vista geológico a la zona de transición del corte ofiolítico, pero aparecen en grado variable en la zona de las peridotitas-tectonitas y algunos cuerpos en la zona de la corteza oceánica, relacionados al piso de las cámaras magmáticas de la zona de transición o impregnación. Es concordante con la secuencia mántica residual de peridotitas tectonitas, tipo harzburgítica y sus contactos con los gabros de la corteza oceánica son tectónicos. Posee cuerpos de dunita enstatítica, diques de composición básica y troctolitas con fábrica de impregnación residual pseudo-cumulativa.

La región Moa-Baracoa se caracteriza por las interdigitaciones de dunita-harzburgita, cuerpos de dunita, lherzolitas secundarias, diques de diabasa en varios sentidos y gabropegmatitas. Posee además dunitas plagioclásicas y troctolitas de impregnación residual pseudocumulativas, dunitas acumulativas y dunitas residuales, con olivinos que poseen maclado mecánico y desarrollo en harzburgitas de cromitas simplectíticas. Aparecen cromititas asociadas a dunitas, harzburgitas y en casos a las fases de dique tardíos. Aquí la zona de transición muchas veces contacta tectónicamente con el complejo gábrico.

En Pinares de Mayarí, dada la existencia de rocas de la corteza oceánica en posición tectónica muy desacoplada del corte ofiolítico normal, es muy difícil establecer la zona de transición. La misma se define por la presencia de cuerpos de dunita cortados por diques de microgabro y diabasas además de piroxenitas. A estos cuerpos duníticos se asocian también las cromititas. El mapeo de la zona de transición aquí es complejo, dada la inexistencia de horizontes guías en su tope.

Entre tanto en la región de Camagüey, la zona de transición se dispone ampliamente, sin embargo su base está poco definida dado el gran tectonismo que existe en las peridotitas-tectonitas. En su parte central aparecen dunitas, troctolitas y anortositas con carácter de impregnación. Son numerosas las facies de

diques básicos y ultrabásicos, así como una evidente asociación a las cromititas. Además, es posible delimitar a grandes rasgos el techo de la zona de transición dada la existencia del complejo gábrico.

Se evidencia que la zona de transición en un mismo complejo ofiolítico no es homogénea. No obstante se podrían establecer analogías con la zona de transición COTO (Filipinas) dada la existencia de similares litologías y regiones de campo.

Un criterio de búsqueda de dunitas será la presencia de cuerpos de cromititas asociados a esta roca, aunque esta hipótesis no siempre se cumple al 100%. En general la mineralización cromítica se vincula a la zona de transición ofiolítica cercana al contacto tectónico gabro-peridotita con una tendencia mayoritaria a esta última (peridotítica), como en los casos de Pinares de Mayarí, Moa-Baracoa y Camagüey. En las [figuras 2](#) y [3](#) y se presentan imágenes de las zonas donde se ubican los depósitos de cromititas en el macizo de ultrabásitas Moa-Baracoa y Camagüey respectivamente, vinculados a dunitas como rocas de caja.

En su composición mineralógica, las dunitas se identifican por minerales del grupo del olivino ($(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_4$ y forsterita (Mg_2SiO_4), los cuales experimentan procesos de meteorización de diversa intensidad y se transforman en minerales

del grupo de las serpentinas $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$ entre otros. En la [tabla 1](#) se presenta la composición mineralógica de las rocas ultrabásicas cubanas.

Dunitas de la región “Pinares de Mayarí” ([Martínez Subirat, 1999](#); [Barrabi, et al., 1996](#))

En el macizo ofiolítico Mayarí se localiza dicho yacimiento de olivino y/o dunita, a unos 30km al suroeste de Mayarí, provincia Holguín y a 10km al noreste de Mella, poblado de la provincia Santiago de Cuba. El mismo se conforma de dunitas y harzburgitas serpentinizadas, masivas, con altos contenidos de olivino y pequeñas cantidades de espinelas cromíticas y magnetíticas. En esta región, las cromititas podiformes se enmarcan en cuerpos de dunitas de gran extensión o con halos duniticos. Entre sus principales características están su peso volumétrico $2,42 \text{ g/cm}^3$; absorción 4,88% y porosidad 9,45%. La composición química promedio por pozos se muestra en la [tabla 2](#).

Como se apreciar en la tabla anterior, el contenido de MgO resulta prometedor, así como el volumen del paquete de rocas útiles, dado por los espesores de roca útil atravesados por los pozos en la prospección.

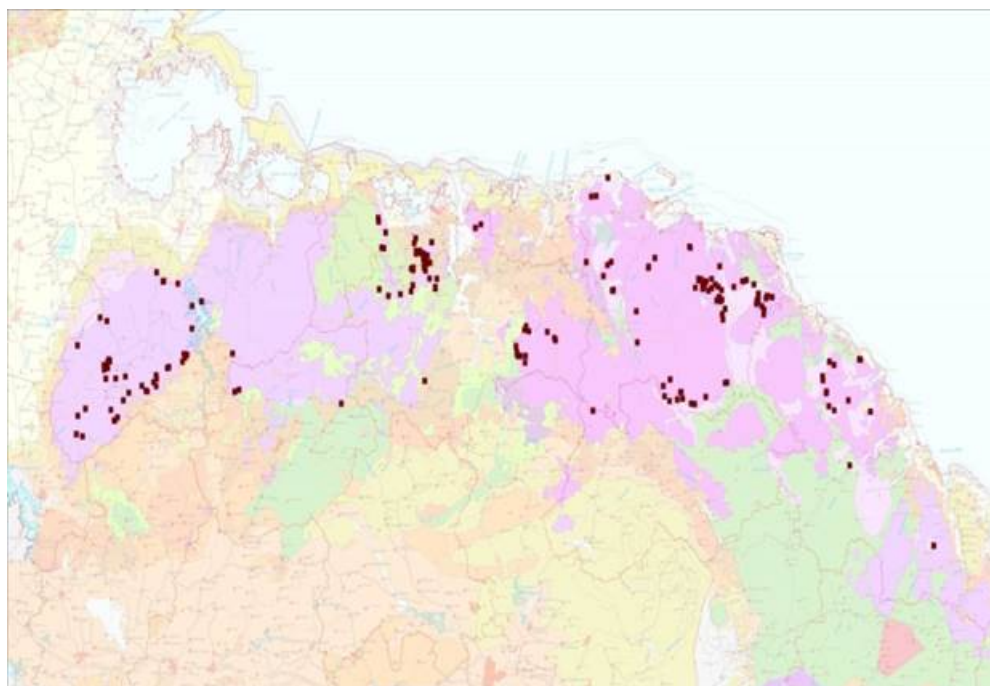


Figura 2. Depósitos de cromititas del Macizo Ultrabásico Mayarí - Moa - Baracoa

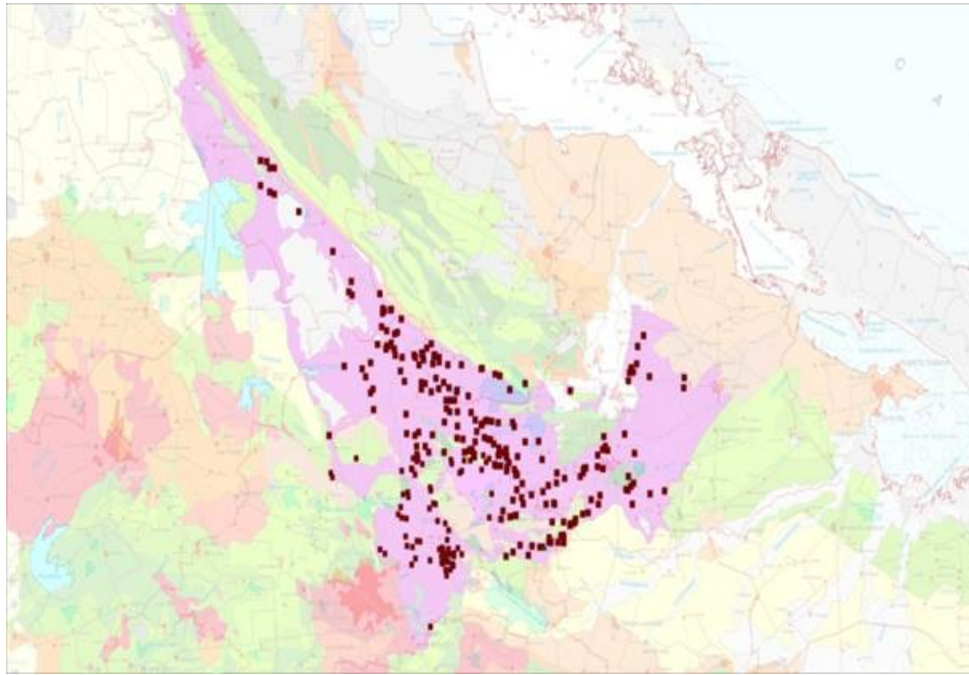


Figura 3. Depósitos de cromitas en la provincia Camagüey

Tabla 1. Composición mineralógica de las rocas ultrabásicas cubanas ([Pons, et al., 2003](#))

Roca	Minerales (%)		
	Olivino	Ortopiroxeno	Clinopiroxeno
Dunita	95-98	-	-
Harzburgita	50-95	5-10	-
Lherzolita	50-70	15-30	5-20
Wehrlita	80-90	-	10-20
Piroxenita	-	95-98	-

Tabla 2. Composición química promedio por pozos (en %), yacimiento “Pinares de Mayarí” (Sector La Estrella) ([Martínez Subirat, 1999](#); [Barrabi, et al., 1996](#)).

Roca	Componentes químicos				Tamaño muestra (en metros)	Profundidad del pozo (en metros)
	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	PPI		
E-1	30,43	32,50	0,00	0,00	4,05	50,65
E-10	41,58	37,09	5,24	14,32	29,00	50
E-2	40,75	36,17	4,82	14,84	41,25	64,15
E-3	42,12	35,47	4,28	15,18	58,35	59
E-4	39,65	37,65	6,08	14,77	19,75	43
E-5	42,41	35,06	4,44	15,45	31,85	50
E-9	39,51	37,85	5,70	14,49	19,75	50
Promedio	39,49	35,97	4,36	12,72	-	-

Dunitas de la región Moa-Baracoa (zonas Merceditas y Amores)

En Moa-Baracoa en el yacimiento “Merceditas”, los cuerpos cromíticos se rodean de halos duníticos y como roca circundante se identifica la harzburgita. No obstante existen cuerpos mineralizados de cromo que se asocian a gabropegmatitas y anortositas en Moa-Baracoa,

sin embargo en troctolitas y anortositas en la región de Camagüey las mismas no son abundantes. Por su parte en la [tabla 3](#) se presenta la composición química promedio (en %) de las dunitas serpentinizadas de Moa, zonas Merceditas y Amores ([Fernández, et al., 2000](#); [Llull, et al., 2003](#)). Por último, de la [tabla 4](#) que se presenta se infiere claramente que los valores

Tabla 3. Composición química promedio (en %) de las dunitas serpentinizadas de Moa, zonas Merceditas y Amores ([Fernández, et al., 2000](#); [Llull, et al., 2003](#)).

Composición	Merceditas	Amores
MgO	40,50	39,46
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
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/SiO ₂	1,04	1,08
Fe ₂ O ₃ /FeO	1,20	1,97

del MgO son muy interesantes para esta región de Nipe-Mayarí. ([Martínez Subirat, 1999](#); [Barrabi, et al., 1996](#)).

Dunitas del cinturón ofiolítico Camagüey

En la provincia Camagüey se localizan decenas de depósitos de cromo ([figura 3](#)), muchos explotados en el pasado. Las rocas de cajas de estos cuerpos minerales se representan por dunitas y harzburgitas serpentinizadas.

El yacimiento de cromo “Victoria” se explota por medio de una cantera. Como particularidad esta cantera se inunda de agua lo que dificulta y encarece su explotación.

La cantera de la antigua explotación en el yacimiento de cromo “Mamina” se encuentra inundada, en sus alrededores existe una meseta con aproximadamente unos 100.000m³ de la roca de caja con altos por cientos de cromita. La [tabla 5](#) exhibe la composición química típica de dichas dunitas, donde se destacan también contenidos interesantes de cromo y otros elementos valiosos, los que pudieran incrementarse en los subproductos de la tecnología para la obtención de los concentrados de MgO, con un valor añadido adicional, dada la presencia de minerales del grupo del platino (MGP) que se asocian a las cromititas.

La caracterización por DRX de las muestras tomadas en las escombreras de los yacimientos de cromo “Mamina” y “Victoria”, arrojaron como principales fases mineralógicas, la mezcla de serpentinas del tipo clinocrisotilo, lizardita y antigorita respectivamente.

En el caso de la muestra de dunita que se tomó en el depósito Mamina, el mineral acompañantes que se identificó en el difractograma ([figura 4](#)) fue la piroaurita; (Mg₆Fe₂(OH)₁₆(CO₃).4H₂O) en muy baja cuantía.

Como aspecto de interés se señala que la piroaurita constituye el primer reporte en Cuba de su tipo asociado a dunitas, este hecho explica los procesos de meteorización que sufrieron las rocas dada la acción combinada del agua meteórica, el oxígeno y dióxido de carbono, procesos que culminaron en la transformación de las dunitas en serpentinas y piroaurita respectivamente.

Por su parte el termograma CDB de la [figura 5](#) de la muestra de Mamina, confirma la presencia de mezclas de serpentinas (endoeffecto T= 660°C; exoeffecto T= 760°C), y alcanzan un elevado grado de conversión a dichos minerales (87%), corroborándose la presencia adicional de piroaurita, dado por sendos endoeffectos que se observan a T=187°C y 376°C.

Tabla 4. Composición químico-petrográfica de dunitas y harzburgitas región Nipe- Pinares de Mayarí (Barrabi, *et al.*, 1996)

Muestra	% MgO	% SiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% TiO ₂	% Al ₂ O ₃	Roca
P18-01	43,50	34,80	2,96	0,02	0,36	Dunita
AQ15-04	43,07	34,48	3,61	0,01	0,21	Dunita
AQ15-02	42,87	34,00	3,48	0,01	0,21	Dunita
PM11-07	42,67	32,61	3,62	0,01	0,51	Dunita
PM11-03	42,50	34,00	3,66	0,01	0,51	Dunita
PM15-01	42,50	32,85	3,97	0,01	0,31	Dunita
PM11-06	41,86	32,38	3,62	0,01	0,71	Dunita
PM2-04	41,62	34,47	5,82	0,01	0,60	Harzburgita
PM11-04	41,06	30,28	4,14	0,03	1,21	Dunita
P22-01	40,81	35,14	6,47	0,02	0,36	Dunita cloritizada
IV-38/-40A	40,58	36,36	5,52	0,02	0,32	Dunita
IV-34/-82	40,58	33,57	4,93	0,02	0,37	Dunita
IV-4/114	40,57	34,38	5,63	0,02	0,51	Dunita
P18-02	40,41	37,00	4,78	0,02	0,36	Dunita
RG-8	35,65	40,25	7,63	0,00	0,71	Harzburgita
AQ-6/16	35,47	40,06	6,78	0,00	0,46	Harzburgita crisotilo
1-633	35,46	40,23	6,57	0,01	0,71	Dunita
PM5-05	35,40	45,80	4,69	0,02	0,81	Dunita
1-397/2	35,33	42,88	3,75	0,02	1,12	Serpentinita tectonizada
AQ-4/15	35,07	40,29	7,88	0,00	0,40	Harzburgita crisotilo
1-568/1	34,85	40,41	7,81	0,02	0,69	Dunita talquizada
1-310	34,74	42,39	5,28	0,02	1,67	Harzburgita
1-567	33,79	40,21	8,67	0,02	0,52	Dunita intemperizada
1-216/1	33,65	40,97	6,14	0,11	2,95	Harzburgita
AS-1	33,46	40,99	8,32	0,00	0,51	Harzburgita crisotilo
1-256	33,07	36,71	8,83	0,02	2,83	Dunita talquizada
PM5-04	32,40	38,21	12,68	0,02	0,81	Harzburgita limonitizada
1-359/1	32,33	40,88	5,22	0,37	4,52	Harzburgita lixiviada
17/A	31,37	41,47	5,18	0,22	3,38	Harzburgita lixiviada
R-463	30,38	54,73	1,72	0,02	0,52	Serpentinita talquizada
1-328/2	29,82	35,46	8,42	0,07	5,02	Harzburgita
OPL-1/2	29,35	38,45	6,67	0,00	0,42	Harzburgita milonitizada
1-216/2	27,45	41,21	5,10	0,00	7,76	Harzburgita lixiviada y metasomatizada
1-221/4	25,09	45,16	4,45	0,00	6,03	Harzburgita lixiviada y metasomatizada
1-243	21,16	40,96	10,10	0,00	9,15	Harzburgita milonitizada
1-242	20,56	41,22	10,31	0,00	8,88	Harzburgita lixiviada y limonitizada
VI-7/102A	34,67	39,76	8,85	0,02	0,98	Harzburgita
1-568/2	34,63	41,47	8,18	0,02	0,42	Dunita intemperizada
1-660	34,46	41,93	8,13	0,02	0,30	Dunita
RG-7	34,23	42,13	6,64	0,01	0,41	Dunita
G-1/04C	34,03	39,03	8,26	0,03	1,41	Serpentinita tectonizada

Por DRX en la muestra de “Victoria” se identificaron las mismas fases reportadas que en la muestra de Mamina, pero con mayor cuantía de piroaurita (figura 6), presencia adicional de brucita (MgO) y anfíbol ferroactinolita respectivamente.

Lo expuesto se confirma en el termograma CDB (figura 7) que se obtuvo para la propia

muestra, donde se evidencia mayor contenido de piroaurita y menor de serpentinita total (75%).

Los resultados de caracterización en ambas muestras demuestran el alto grado de meteorización y reactividad química de las rocas (comparadas con el olivino y piroxenos de las rocas frescas), aspecto favorable para la obtención del MgO (tabla 1).

Tabla 5. Composición química promedio (% en peso) de las rocas de caja de los yacimientos cromíticos de Camagüey.

Depósito	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	Cr ₂ O ₃	PPI
Mamina*	39,43	37,21	1,78	8,08	0,3	0,08	0,45	14,8
Victoria*	41,81	33,83	0,87	8,13	0,1	0,08	0,55	15,96
Lolita	42,12	33,98	0,11	8,82	0,23	0,11	0,20	12,06

Nota: Los valores de TiO₂ son de < 0,01%; Na₂O de < 0,5% y K₂O de < 0,1%.

* Resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto actual a partir del muestreo que se realizó en las escombreras.

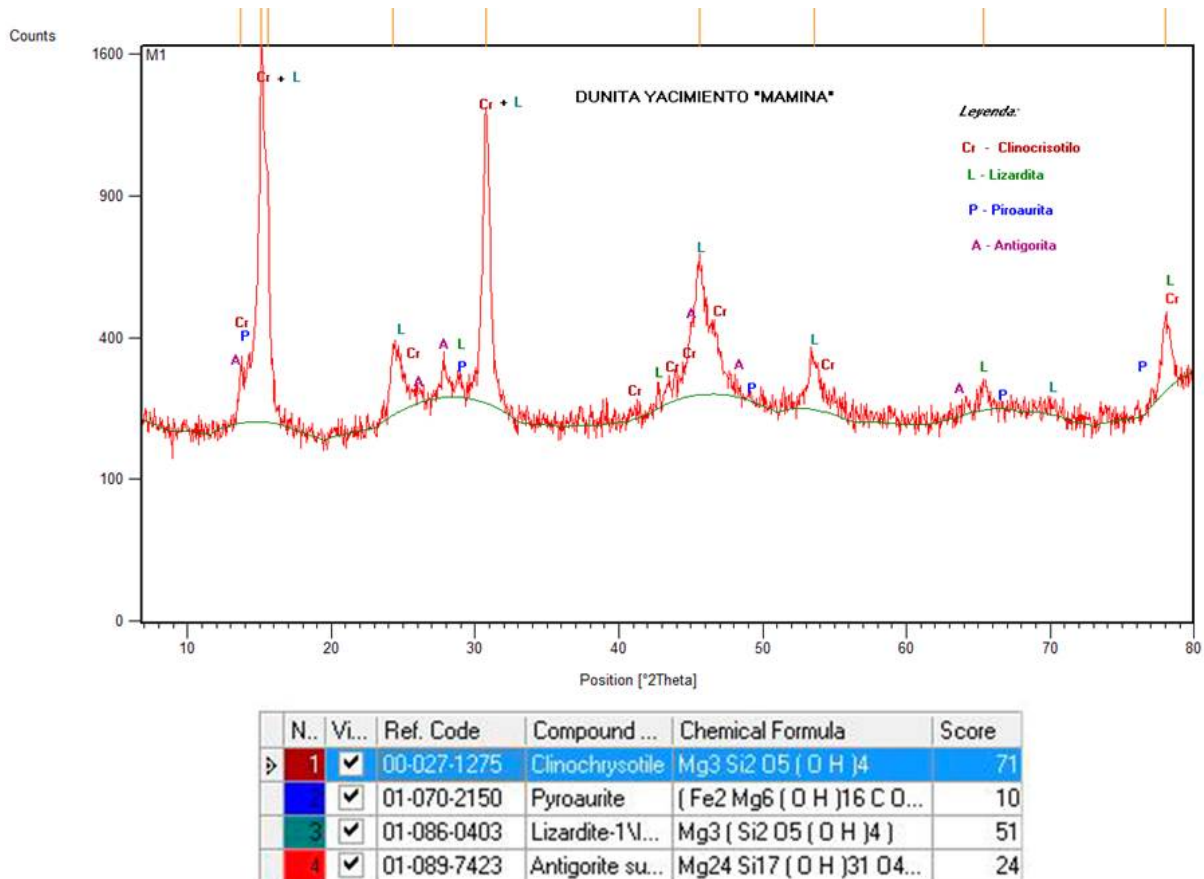


Figura 4. Difactograma de RX de la muestra de dunita “Mamina”.

Clasificación por tipos tecnológicos

A continuación se presenta la propuesta de clasificación de las dunitas por tipos tecnológicos (calidades), teniendo en cuenta la elaboración de ecocementos y recuperación paralela de elementos del grupo del platino (EGP) como subproductos del beneficio y que pudieran incidir en la disminución del capital fijo de la inversión tecnológica (Lazarenkov, *et al.*, 2005; Proenza, *et al.*, 1999, 2001). Para ello se consideraron entonces la relación (MgO/SiO₂), el contenido total de elementos portadores de EGP y el grado de serpentinitización y la PPI finalmente, aspecto clave a considerar dado el tipo de tecnología (vía

química) que se emplea para la obtención de concentrados de con este tipo de rocas (tabla 6).

Evaluación del potencial de dunitas que presentan mejores perspectivas geológico-mineras de explotación

Desde el punto de vista metodológico se estableció que las menas con más perspectivas y menos estudiadas en Cuba son las rocas ultrabásicas (dunitas y peridotitas). El potencial de las magnesitas y dolomitas ya se valoró en sus capítulos o epígrafes correspondientes. Por lo que en este capítulo se profundizará en la evaluación del potencial de las dunitas y peridotitas como menas de magnesio.

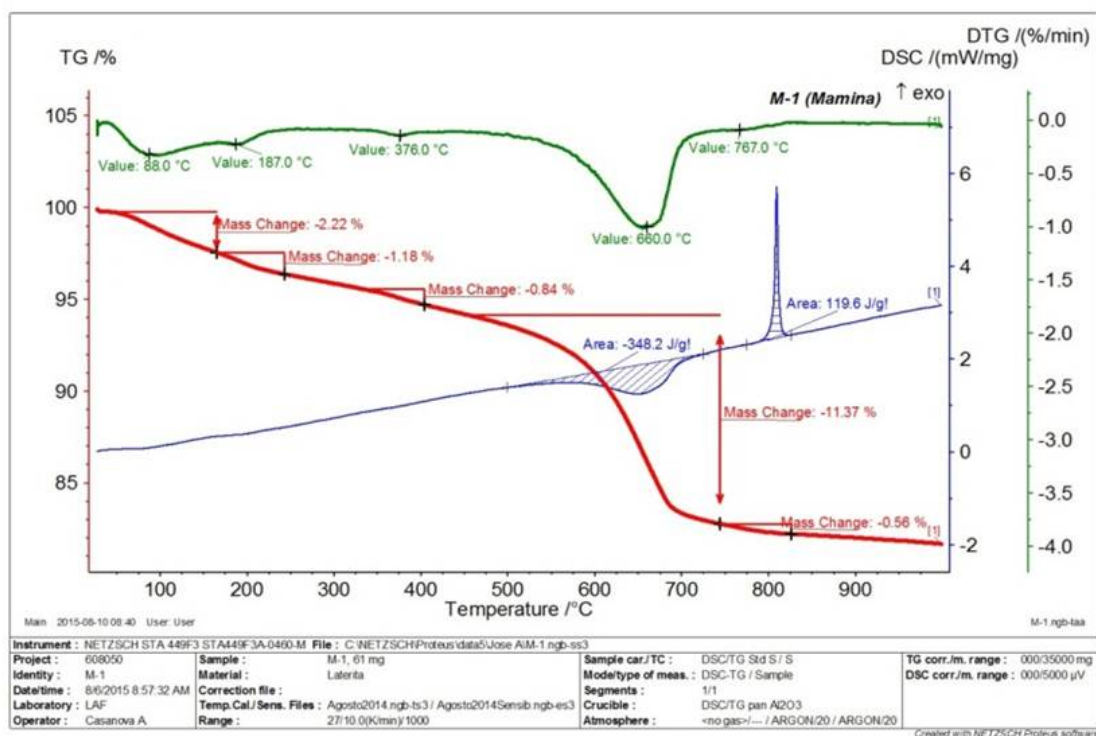


Figura 5. Termograma DSC de la muestra de dunita “Mamina”.

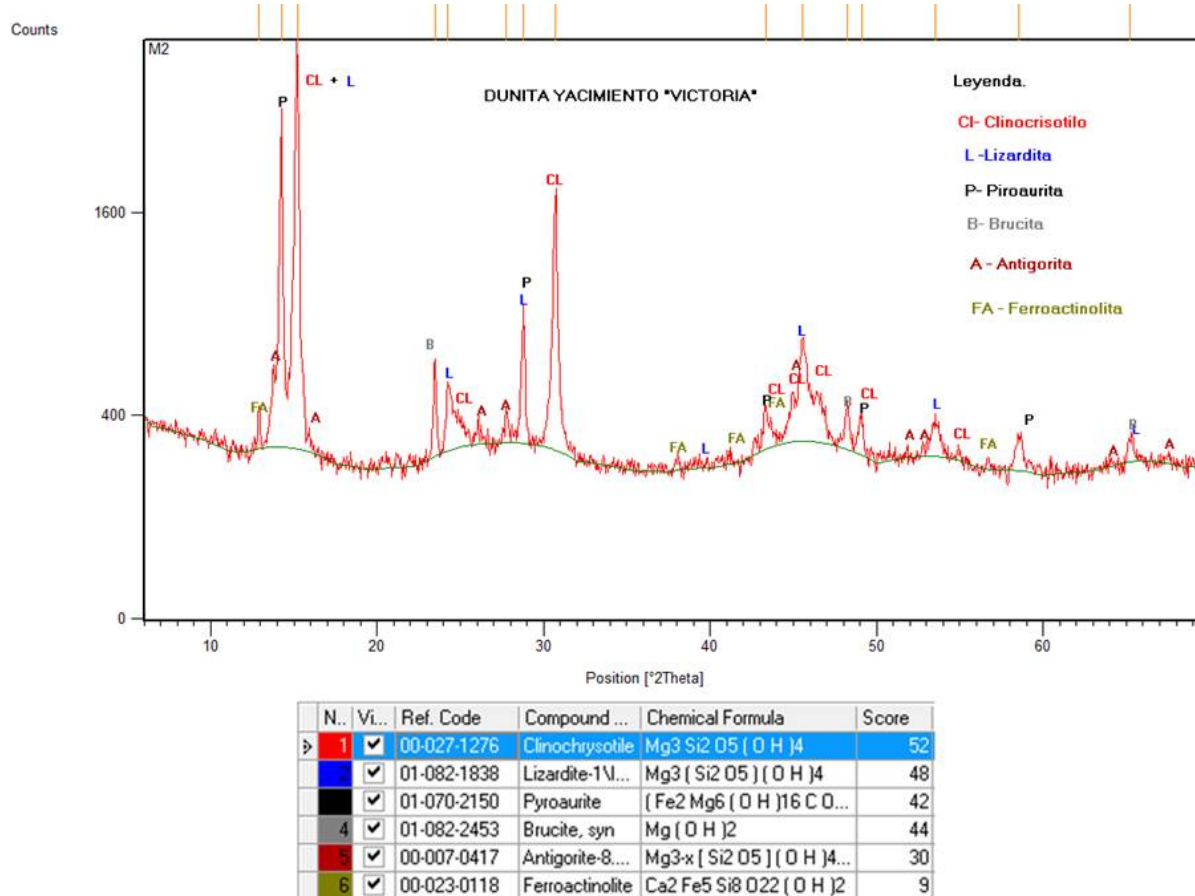


Figura 6. Difractograma de la muestra de dunita de “Victoria”.

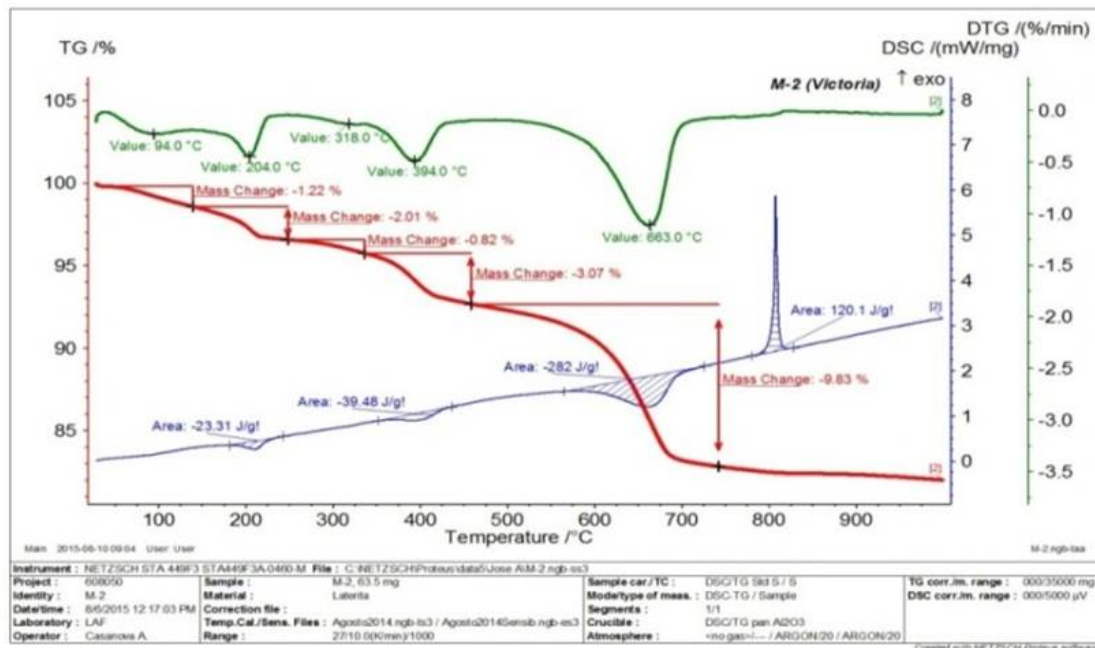


Figura 7. Termogramas DSC-TG-TGD de la dunita del yacimiento de cromita “Victoria”.

Tabla 6. Propuesta de clasificación por tipos tecnológicos de dunitas para la obtención de ecocementos.

Tipo tecnológico	MgO/SiO ₂	ΣCr ₂ O ₃ , NiO	Grado de serpentización (%)	PPI (%)
I	≥ 1,00	≤ 1,00	≥ 70	≥ 12,00
II	0.90-0.99	1,00- 2.99	30 - 60	10.00-11.99
III	0.80-0.89	3,00- 4.99	15 - 30	8.00 -8.99
IV	0.70-0.79	> 5,00	< 15	< 8.00

En el país existe un pequeño yacimiento de dunitas-olivino evaluadas principalmente para refractarios. Este yacimiento no-concesionado “Pinares de Mayarí”, también conocido como “La Estrella”, cuenta con recursos identificados de 714.494t. El mismo se ubica en el macizo ofiolítico Mayarí. En la [figura 8](#) se muestra el polígono del área donde se calcularon los recursos y en la [tabla 7](#) las coordenadas del área pronóstico en Sistema Lambert Cuba Sur.

Se toma esta área para hacer una evaluación del potencial por contar con excelentes condiciones de infraestructura y presentar un buen grado de estudio, principalmente para la prospección de cromita de donde se tomaron los datos para evaluación del olivino para su uso en refractarios.

Metodología

Los recursos calculados presentan la categoría de hipotéticos y se fundamentan en la presencia

en el área de un yacimiento de olivino evaluado principalmente para refractarios (ver [tabla 8](#) y [9](#)). En la evaluación de este depósito se tuvo en cuenta la información suministrada por unos 13 pozos, aunque solo se tomó la información de 7 de ellos en algunos intervalos.

La fórmula utilizada es la siguiente: $R = A * E * K$, donde: **R**, es el monto de los recursos dados en metros cúbicos; **A**, es el área dado en metros cuadrados calculada mediante un SIG sobre la base topográfica a escala 1:50000, teniendo en cuenta la aflorabilidad de las rocas útiles y las limitantes impuestas por la presencia de zonas protegidas, infraestructura y relieve; **E**, espesor útil en metros, dado por los espesores de roca útil cortado por los pozos; **K**, coeficiente de corrección dado por el grado de estudio y la complejidad del depósito según criterio de experto, dándole un rango de 1 a 5.

En realidad los recursos pronósticos son casi ilimitados desde el punto de vista geológico, las

Figura 8. Área del yacimiento “La Estrella” donde se estimaron los recursos en categoría de hipotéticos para dunitas.

Vértices	X	Y
1	601400	190000
2	603000	199000
3	603000	196000
4	601400	196000
1	601400	190000

Litología productiva	4
Grado de estudio	3
Coeficiente	7

Área (m²)	Espesor (m)	Volumen (m³)	Coef. (K)	Recursos (m³)
4.800.000	50	240.000.000	0,7	168.000.000

Dentro de estos macizos de rocas ofiolíticas se localizan decenas de depósitos de cromita en forma de vetas, los cuales como regla general están encapsulados en cuerpos de dunitas -rocas ultrabásicas con mayor contenido de Mg-, los que sirven como referencia o índice para prospeccionar depósitos de dunitas.

En los últimos 5 años se han desarrollado variantes tecnológicas por vía química para

La misma refiere un procedimiento de obtención de compuestos de magnesio de alta pureza (>97%) y otros subproductos valiosos

como lo son el SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , NiO y MnO a partir de dunitas, evitándose la formación de geles de sílice, opera además de manera continua y las dunitas no necesitan una calcinación previa, sólo molienda. De esta forma, el procedimiento reduce consumos energéticos en relación con métodos convencionales de generación de MgO como el de salmueras de MgCl_2 .

Las dunitas del yacimiento PASEK se encuentran serpentinizadas (15-75%), lo cual favorece su reactividad en medio ácido. Su composición química promedio es la siguiente: 32-36% MgO ; 38-40% SiO_2 ; 7-9% Fe_2O_3 y 2-4% Al_2O_3 .

La tecnología propuesta consiste en el proceso de lixiviación en un reactor con agitación continua a una temperatura que oscila entre 50 -150°C en presencia de un ácido mineral fuerte (clorhídrico, sulfúrico, nítrico), el cual se diluye al 20% (v/v) y el mineral se muele previamente a una granulometría entre 50 y 200 micras. Después del proceso de lixiviación (transcurre en un tiempo relativamente corto entre 10-30 minutos), la pulpa obtenida se filtra al vacío y se recupera un sub-producto rico en sílice que se puede reutilizar en la obtención de silicato de sodio. Como producto final se obtiene una salmuera ácida rica en MgCl_2 que se neutraliza y se descompone térmicamente dando lugar a la formación de MgO de 97% m/m, recuperándose parte del ácido el cual se reutiliza. La principal desventaja de dicha variante tecnológica consiste en los altos consumos energéticos que requiere la micronización de la dunita. En dependencia de la materia prima mineral, se tienen diferentes productos finales o grados de pureza.

Dunita: $\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 0,885$ (36,01% MgO ; 40,66% SiO_2 ; 8,86% Fe_2O_3 y 2,60% Al_2O_3).

Volumen de HCl (20%) = 20 ml

Subproducto-1 = 6,1g SiO_2 (80% pureza)

Volumen de agente oxidante (H_2O_2 17%) = 0,5 ml

Subproducto-2 = 1,2 g (0,47g Fe_2O_3 , 0,07g Al_2O_3 , 0,33g de pérdida por calcinación)

Recuperación de HCl = 33 ml

Rendimiento en peso MgO = 5,0g (97% pureza)

Serpentina: $\text{MgO} / \text{SiO}_2 = 0,784$ (32,22% MgO , 41,09% SiO_2 , 7,19% Fe_2O_3 y 3,73% Al_2O_3)

Volumen de HCl (20%) = 40 ml

Subproducto-1 = 5,5 g SiO_2 (80% pureza)

Subproducto-2 = 2,7 g (Fe_2O_3 + Al_2O_3)

Recuperación de HCl = 65% (26 ml)

Rendimiento en peso MgO = 4,6 g (97% pureza)

Olivino: $\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 1,12$ (46,75% MgO , 41,54% SiO_2 , 8,86% Fe_2O_3 y 0,66% Al_2O_3)

Volumen de HCl (20%) = 59 ml

Rendimiento en peso MgO = 4,6 gramos (97% pureza)

Subproducto-1 = 7,5 g SiO_2 (precipitado gelatinoso difícil de lavar)

Subproducto-2 = 1,0 g (Fe_2O_3 + Al_2O_3)

Recuperación de HCl = 20 ml

Para el caso de las rocas ultrabásicas cubanas las mismas se encuentran muy serpentinizadas por lo que la variante 2 entendemos que es la que mejor se ajustaría.

Por último en nuestro país [Granda \(1979\)](#), desarrolló durante su tesis doctoral la investigación tecnológica para la recuperación de valores metálicos de (Ni + Co) a partir de las serpentinas cobalto-niquelíferas mediante la lixiviación del mineral con ácido carbónico, la cual pudiera implementarse para el caso de las dunitas y harzburgitas dada la composición mineralógica eminentemente serpentiniticas que las mismas presentan, no obstante la misma debe validarse mediante la ejecución de un proyecto posterior I+D.

Tabla 10. Comportamiento de los índices tecnológicos de la tecnología PASEK MINERALS S.A.U ([Díaz, Caballero & Cuervo, 2014](#)).

Variante Tecnológica	Rend. MgO (g)	Rend. Subproducto1 (SiO_2) (g)	Rend. Subproducto2 (R_2O_3) (g)	Volum. HCl (20%) (mls)	Recuperación HCl (mls)
Dunita	5,0	6,1	1,2	20	33
Serpentina	4,6	5,5	2,7	40	26
Olivino	4,6	7,5	1,0	59	20

CONCLUSIONES

1. En el macizo ofiolítico de Camagüey las potencialidades para prospectar y explotar yacimientos de rocas ultrabásicas como fuente de magnesio son limitadas por las siguientes razones: (1) relieve llano, por dicho motivo las canteras se inundan, lo que redunda en el incremento de los costos de operaciones (bombeo continuo de agua de las canteras) y (2) los depósitos de cromititas son pequeños al igual que los cuerpos de dunitas en comparación con los del Macizo Mayarí-Sagua-Baracoa. Presentan como ventaja una buena infraestructura y se encuentran en explotación. Para una modesta producción anual de concentrados de magnesio -en el orden de mil toneladas- pudieran considerarse. Como aspecto de interés se señala la identificación del mineral piroaurita, el cual constituye el primer reporte de su tipo en rocas ultrabásicas.
2. Las potencialidades para localizar depósitos de dunitas en la región Mayarí-Sagua-Baracoa como menas de magnesio son altamente positivas para este macizo de rocas ofiolíticas. Se cuenta con un buen grado de estudio principalmente vinculado a la prospección de cromita. Las limitantes están dadas por la presencia de varias áreas protegidas que ocupan importantes regiones donde afloran estas rocas, otras áreas están ocupadas por los depósitos lateríticos de Ni, Co, Fe -algunos con más de 20m de espesor-, lo que limitan los sitios donde buscar y explotarlas.
3. Para el procesamiento de las rocas se proponen la tecnología de lixiviación ácida a presión con ácido carbónico del CIPIMM y/o la solicitada por PASEK S.A.U patentada por [Díaz-García et al. \(2014\)](#), sin embargo ambas deben validarse y evaluarse desde el punto de vista económico-ambiental. Los concentrados obtenidos pudieran emplearse para la obtención de ecocementos o como neutralizantes de licores ácidos de (Ni + Co) del proceso ácido de lixiviación a presión de las plantas cobalto-niquelíferas de la región de Moa. Se destaca además la asociación de elementos del grupo del platino (EGP) en las

cromititas asociadas a dunitas, hecho que pudiera incrementar el valor agregado de los subproductos que se logren.

RECOMENDACIONES

Elaborar la ficha técnica correspondiente para la ejecución de un nuevo proyecto de investigación (I+D) entre las instituciones IGP, CIPIMM y el CTDMC para el periodo (2020-2025) a través del Programa Nacional de la Geología, con el objetivo de validar las tecnologías LAPMAG en dunitas por la variante desarrollada por [Granda \(1979\)](#) para el procesamiento de las serpentinas y la de lixiviación ácida de PASEK, incluyéndose en ambos casos los Estudios de Factibilidad Económica pertinentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Argiz, C.; Menéndez, E.; Moragues, A. & Sanjuán, M.A. 2012. Análisis de nuevos conglomerantes para su utilización en infraestructuras civiles. Rev. int. de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil, Vol. 12(2) 245.
- Anaya Alfonso M.A. 1999. Evaluación de las pulpas de hidróxido de magnesio como floculante. Informe Técnico, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIMM.
- Anaya Alfonso M. A.; Valdés A. & Díaz Fernández A. 2000. Tecnología de obtención de hidróxido de magnesio. Introducción de operaciones tecnológicas. Informe de Investigación, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIMM.
- Anaya Alfonso M.A.; Días Fernández A. & Valdés A. 2003. Tarea técnica. Tecnología de obtención de hidróxido de magnesio para una planta de capacidad de 100 t/año. Proyecto 219. Hidróxido de magnesio, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIMM.
- Anaya Alfonso M. A. ; Días Fernández A. ; Sanabria A. & Cañizares M. 2005. Estudio reológico de las dispersiones de hidróxido de magnesio como aditivo del petróleo Informe Técnico, La Habana: Centro de

- Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIIMM.
- Anaya Alfonso M. A. ; Díaz Fernández A . & Sanabria A . 2005. Aprovechamiento de los productos precipitados y/o solubles de la salmuera madre o residual, Proyecto 221. Investigaciones tecnológicas para la introducción de mejoras en la producción y calidad de la sal en Cuba. Informe de Investigación, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIIMM.
- Barrabi, H.; Batista, F. L.; Guerra Piñeiro, M.; Navarrete López, M.; Regueiferos, M.; Lavaut Copa, W.; Batista, R. & Acosta Breal, J. 1996. Informe geológico final de los T.T.P. realizados en el macizo ofiolítico de Sierra de Nipe, durante los años 1995-1996. (Oro, platino, cromo, roca ornamental y asbesto) (Complemento al Tema 401-12). Inv. 4559, La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, IGP.
- Bobes I.; Valdés A . & Hernández N. 2000. Óxido e hidróxido de magnesio para aditivos del petróleo. Informe de Técnico 429, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica CIPIIMM.
- Colectivo de autores. 2016. Balance Nacional de Recursos y reservas minerales. Estado al 1/01/2016. La Habana. Cuba: ONRM.
- Díaz García, P; Caballero Carlón R. & Cuervo Arango Pire P. Procedimiento de obtención de óxido e hidróxido de magnesio de alta pureza a partir de dunitas. 2014, Número de Solicitud: P201231488, España: PASEK MINERALES, S.A.U. Available: Available: <https://patentados.com/2014/obtencion-de-oxido-e-hidroxido> , [Consulted: February 19, 2018].
- Fernández Montero, A.; Llull García, E. & Sosa Rojas, I. 1998. Informe T.T.P. Completamiento Base de Datos Digital Extremo de Cuba Oriental. (Grado de estudio de la digitalización). Inv. 4816, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM.
- Fernández Montero, A.; Sosa Rojas, I. . 1999. T.T.P. Completamiento Base Digital Cromitas Ofiolíticas (Base de Datos Cromitas Orientales). Inv. 4944, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM .
- Fernández Montero, A.; Sosa Rojas, I.; Hernández, A.; Lavaut Copa, W. & Rodríguez Pérez, Y. 2000. Informe T.T.P.: Evaluación de la perspectiva cromífera Región Nororiental de Cuba escala 1:100000. Inv. 5109, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM .
- García Merlot, A. 1977. Tecnología de la sal marina. La Habana: Ministerio de Minería y Geología. 247-248p.
- Granda, O. 1979. Hydrometalurgické Získávání cisteho MgO zo serpentitových rud a iných horčíkonasých Suvorcie za porzitia Kyslínnika uublicitcho. Tesis doctoral, Checoslovaquia: St Kosice.
- Hernández Martínez N., Navarrete Martínez C. & Otros. 2004. Producción de espinelas y cordierita a partir de fuentes nacionales. Informe final, La Habana: Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIIMM
- Hernández Martínez N. & Cárdenas Meralla R. 2016. "Materias primas, tecnología y productos de magnesio en Cuba". II Congreso Internacional de Minería y Metalurgia, MINEMETAL2016, (Sesión: Explotación Minera y Desarrollo de la Minería), Centro de Convenciones "Plaza América", Varadero, Cuba.
- Leyva Rodríguez, C.A.; Kulachkov, L.V.; Pons Herrera, J.A. & Salazar Moreno, A. 2000. Potencialidades de Cuba para la producción de ladrillos refractarios básicos.
- Martínez Salcedo J.; Pérez Nevot N.; Ponce Seoane N.; Batista González R.; González Rodríguez M.E.; Bravo Patterson F. & Delgado B. 1994. Pronóstico de materias primas no-metálicas no tradicionales de la República de Cuba, Informe final. Tema 2013, La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, IGP.
- Martínez Subirat, A. 1999. Reconocimiento Geólogo-Tecnológico de olivino en "Pinares de Mayarí". Inv. 4962, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM .

- Lazarenkov V.G; Tikhomirov I.N; Zhikov A. Ya & Talovina I.V. 2005. Platinum Group Metals and Gold Supergene Nickel Ores of the Moa and Nicaro Deposits Cuba. *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 40 (No.6): 521-527.
- Llull García, E.; Ramírez Ala, M.; Recouso Contreras, Y.; Méndez Calderón, I.; Guevara, T.; Aguller Martínez, M. C. & Rodríguez, M. 2003. Base de datos de los pozos provincias Orientales. Inv. 5395, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM .
- Oficina Nacional de Recursos Minerales. 1995. T.T.P. Informe sobre los resultados de generalización de la información geológica sobre cromitas refractarias de la región Moa-Baracoa y delimitación de áreas perspectivas en los flancos de yacimientos abandonados, Inv. 4416, La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales, ONRM .
- Pons Herrera, J.A.; Ramírez Pérez, M.C. & Leyva Rodríguez, C.A. 2001. "Fundamentos Científicos para la utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa". *IX Congreso Cubano de Geología*, La Habana
- Pons Herrera J.A.; Leyva Rodríguez C.A; Ramírez Pérez M.C.; Kulachkov L.V.; Salazar Moreno.; González Pontón R. & Alemán Trotman I. 2003. Perspectivas de Cuba en la producción de materiales refractarios básicos. Available: Available: <https://monografias.com/trabajos-pdf2/perspectivas-cuba-produccion-materiales-refractarios/perspectivas-cuba-produccion-materiales-refractarios.pdf> , [Consulted: January 9, 2018].
- Proenza, J.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C. & Bodinier, J.L. 1999. Al and Cr-Rich Chromitite from the Mayari-Baracoa Ophiolitic Belt (Eastern Cuba): Consequence of Interaction Between Volatile-Rich Melts and Peridotite in Suprasubduction Mantle, *Econ. Geol.*, Vol. 94 (No. 4): 547-566.
- Proenza, J.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C. & otros. 2001. Genesis of Sulphide-Rich Chromitite Ores by interaction between Chromitite and Pegmatitic Olivine-Norite Dikes in the Potosi Mine (Moa-Baracoa Ophiolitic Massif, Eastern Cuba), *Miner. Deposita*, Vol. 36 (No. 7): 658-670.
- Salfrán M. & Bourzac E. 2006. Planta de hidróxido de magnesio. Tarea técnica modificada para la producción de 100 t/año, La Habana: PROYEST, Grupo Empresarial GeoMinSal, MINBAS.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)