

# PERSPECTIVAS DE CUBA EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES REFRACTARIOS BÁSICOS

José A. Pons Herrera<sup>(1)</sup>, Carlos A. Leyva Rodríguez<sup>(1)</sup>, María Caridad Ramírez Pérez<sup>(1)</sup>  
Leonid V. Kulachkov<sup>(2)</sup>, Andres Salazar Moreno<sup>(1)</sup>, Rubén Gonzáles Pontón<sup>(3)</sup>, Israel Aleman Trotman<sup>(3)</sup>

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba, CP: 83329. Telef: 6-7876, E-mail: mramirezp@ismm.edu.cu

(2) Universidad Técnica de Sant Petersburg, Rusia.

(3) Empresa Geólogo Minera de Camaguey, Cuba.

## RESUMEN

Se destaca la existencia en nuestro país de perspectivas muy alentadoras para el desarrollo de la industria de productos refractarios no tradicionales, entre los que ocupan un lugar especial los refractarios básicos, y dentro de estos, los que se producen a partir de dunitas (olivino), serpentinitas, magnesita y cromita.

En Cuba, y especialmente en las regiones de Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí y Moa-Baracoa existen abundantes reservas de rocas duniticas, portadoras de mineral de olivino, que posibilitarían ser empleadas como arena de fundición, en la preparación de pinturas antiadherentes contra la penetración metálica, y en la obtención de productos refractarios conformados.

En el caso de las cromitas estas se explotan y exportan tradicionalmente en la región de Moa – Baracoa, consumiéndose un pequeño volumen en la industria nacional como arenas de moldeo. En la provincia de Camaguey existen más de 300 manifestaciones de cromitas, algunas de ellas con un elevado grado de estudio. Se expone la caracterización de las magnesitas de la provincia de Camaguey, donde se concentran los recursos de mayores perspectivas de esta materia prima en el país (yacimientos Redención, Olalla, y Sin Reposo). Se presentan los resultados que se han obtenido en las investigaciones geólogo -tecnológicas con las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, especialmente como arenas de moldeo y pinturas antiadherentes, así como la caracterización de los principales yacimientos de cromitas y magnesitas de nuestro país y su comparación con exigencias técnicas internacionales.

La investigación conjunta de estos recursos orientada hacia sus aplicaciones como materiales refractarios, puede determinar una futura explotación integrada de los mismos, permitiendo una mayor factibilidad técnico- económica y pueden llevar a Cuba a pasar a ser un productor importante de materiales refractarios básicos y sus combinaciones, como mínimo a nivel regional.

## ABSTRACT

The existence in our country of very encouraging perspectives for the development of the industry of refractory products not traditional is outstanding, among those that occupy a special place there are the basic refractory ones, and inside these, those that are produced from dunites (olivine), serpentines, magnesite and chromite.

In Cuba, and especially in the regions of Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí and Moa-Baracoa exist abundant reserves of dunitic rocks, hosts of olivine mineral that would be employed as foundry sand, in the preparation of non- stick paints against the metallic penetration, and in the obtention of conformed refractory products.

In the case of the chromites these are exploited and exported traditionally in the region of Moa - Baracoa, wasting away a small volume in the national industry as molding sands. In the region of Camagüey exist more than 300 chromite manifestations, some of them with a high study grade. The characterization of the magnesites of the region of Camagüey is exposed, where there are concentration of resources of bigger perspectives of this raw material in the country (Redención, Olalla, and sin Reposo). The results obtained

in the geological -technological investigations with the dunites serpentinized of the region of Moa are presented especially as molding sands and non -stick paints, as well as the characterization of the main chromite and magnesite locations of our country and their comparison with international technical demands.

The combined investigation of these resources oriented toward their applications as refractory materials, can determine a future integrated exploitation of these resources, allowing a bigger technical -economic feasibility, and they can make Cuba an important producer of basic refractory materials and their combinations, at least at regional level.

## **INTRODUCCIÓN.**

Los materiales refractarios se clasifican por su composición sustancial, capacidad refractaria, porosidad y de acuerdo a su esfera de utilización. Las materias primas minerales empleadas para su fabricación se eligen basándose en las propiedades requeridas por la industria. Entre las variedades litológicas pueden ser destacadas: arcillas, caolines, bauxitas, arenas cuarzosas, cuarcitas, dolomitas, dunitas, rocas talcosas y serpentinitas y entre las variedades minerales: magnesita, cromita, cianita, sillimanita, andalucita, circón y grafito.

Una gran parte de las materias primas nombradas se localizan en nuestro país existiendo un empleo ya tradicional de algunas de ellas (arcillas, caolines, arenas cuarzosas, cromitas y magnesitas) aunque sus potencialidades de desarrollo en cuanto a la fabricación y diversificación de los productos refractarios es aún insuficiente.

En Cuba y específicamente en las regiones de Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí, Sagua de Tanamo y Moa-Baracoa existen abundantes reservas de rocas duníticas, portadoras de mineral de olivino, con importantes propiedades refractarias que garantizan su utilización como arena de fundición y en la preparación de pinturas contra la penetración metálica. Sin embargo no existen antecedentes del uso oficial de estos materiales en los talleres de fundición y demás empresas del país, solo se han realizado investigaciones que se exponen más adelante en este trabajo.

En el caso de las cromitas refractarias estas se explotan tradicionalmente en la región de Moa – Baracoa y existen más de 300 manifestaciones en la provincia de Camaguey, algunas de ellas con un elevado grado de estudio, que hacen que esta región tenga la ventaja de contar integralmente con el espectro de materias primas que justifica esta investigación, así como con una planta de materiales refractarios en la que se han fabricado experimentalmente ladrillos de cromita y de magnesitas.

## **INVESTIGACIONES REALIZADAS CON LAS ULTRABASITAS**

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) ha realizado investigaciones con las ultrabasitas de la región de Moa – Baracoa para la industria de materiales refractarios para la fundición durante más de una década. Entre estos trabajos se pueden destacar Leyva y Pons 1996, Pons y Leyva 1997, Pons y Leyva 1999, Salazar 1999, Pons 2000.

Durante la ejecución de estas investigaciones se han priorizado las litologías que proceden de la explotación de los yacimientos de cromitas de esta región. Entre los principales resultados podemos resumir los siguientes:

### **Características petrográficas y químicas de las ultrabasitas de los sectores Merceditas y Amores.**

Se pudieron establecer como las variedades más representativas (Salazar, 1999) a las siguientes litologías: dunitas serpentinizadas, harzburgitas serpentinizadas y en menor proporción serpentinitas. Entre los minerales identificados se destaca la presencia de relictos, alterados y corroídos de olivino y piroxeno ortorrómbico (enstatita), los minerales productos del proceso de serpentinización con predominio de la antigorita y en menor cuantía crisotilo y lizardita; como minerales accesorios (menos de un 3 %) magnetita, cromoespínelas, clorita, talco, carbonato y trazas de sulfuros de níquel.

La principal característica petrológica de las dunitas es su elevado grado de serpentinización, el cual es generalmente superior al que existe en las harzburgitas. Esto provoca que en muchas ocasiones sea muy difícil identificar adecuadamente la textura y composición modal primaria de estas rocas, Proenza, 1997; Pons, y otros, 1998, Pons y Leyva 1999. La composición química promedio (24 determinaciones) de las dunitas serpentinizadas presentes en los sectores de Merceditas y Amores se presentan en la tabla No. I.

**Tabla I. Composición química promedio de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, sectores Merceditas y Amores. (Tomado de Pons, J 2000).**

Compuestos (%)	Dunitas serpentinizadas de la zona Merceditas	Dunitas serpentinizadas de la zona Amores.
SiO <sub>2</sub>	38,86	36,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,81	0,85
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,025
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	0,05	0,05
K <sub>2</sub> O	0,05	0,05
CoO	0,010	0,010
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,02
P.P.I.	12,30	14,40
Total	101,35	100,04
Relación : MgO/SiO <sub>2</sub>	1,04	1,08
Relación : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	1,20	1,97

Los análisis de microsonda electrónica efectuados a cristales de olivino presentes en las dunitas (ver tabla No. II), permitieron establecer valores de forsterita (Fo) y fayalita (Fa) entre: Fo = 91,62 - 92,48 % y Fa = 8,37 - 5,31 %, respectivamente.

**Tabla IV. Resultados promedio de los análisis de microsonda electrónica realizados a cristales de olivino presentes en las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, sectores Merceditas y Amores. (Pons, J. 2000)**

Comp. (%)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Total
Mercedita	40,89	0,001	0,020	0,015	53,19	0,000	0,097	5,357	0,430	100
Amores	41,65	0,015	0,023	0,013	52,84	0,009	0,055	4,945	0,478	100

### Características térmicas y mineralógicas de las dunitas serpentizadas de los sectores Merceditas y Amores.

En los registros gráficos de estos ensayos, se destaca el comportamiento uniforme de las dunitas serpentizadas 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, los cuales se muestran en la tabla III.

Tabla III. Pérdida de masa en las diferentes etapas del proceso de descomposición térmica de las dunitas serpentizadas de la región de Moa, (Pons, J. 1999)

Muestras	$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Pérdida de masa		Fases principales
		mg	%	
Merceditas	25 - 220	8, 24	2, 16	An.
	220 - 550	9, 8	2, 58	An.
	550 - 760	19, 4	5, 10	An. y Fo.
	760 - 900	2, 8	0, 74	Fo.
<b>Total</b>		<b>40, 24</b>	<b>10, 6</b>	<b>An. y Fo.</b>
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.
<b>Total</b>		<b>69,2</b>	<b>14,1</b>	<b>An. y Fo.</b>

An : Antigorita. Fo : Forsterita.

A partir de las curvas TG y A.T.D, se tomaron los valores del grado de transformación ( $\alpha$ ) a cada temperatura, para los efectos endotérmicos (550 - 760  $^{\circ}C$ ) y exotérmico (760 - 850  $^{\circ}C$ ), lo que permitió procesar no menos de 20 pares de valores para cada uno de ellos. El cuadro general de la descomposición térmica de las dunitas puede resumirse 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.

Hasta la temperatura de aproximadamente 235  $^{\circ}C$ , ocurre la eliminación de la humedad higroscópica que acompaña al material, donde se mantiene como fase principal la antigorita. Entre 200 – 700  $^{\circ}C$  se verifica un largo proceso de eliminación del agua estructural presente en este material donde se destacan como fase principal la antigorita y como fase secundaria la forsterita, cuya presencia está asociada en lo fundamental, a la descomposición térmica del olivino. Esencialmente en el intervalo de temperatura entre 700 – 850  $^{\circ}C$  ocurren dos procesos fundamentales: el desprendimiento de los grupos oxidrilos con un máximo, aproximadamente, entre 670 y 700  $^{\circ}C$  y la reorganización estructural del olivino, que se verifica entre 800 y 850  $^{\circ}C$ , con un pico agudo alrededor de 830  $^{\circ}C$ . A partir de los 750  $^{\circ}C$  la fase principal presente en el material es la forsterita .

En el intervalo de temperatura comprendido entre 900 - 1200  $^{\circ}C$  se mantiene estable la forsterita como fase principal, Pons, et al, 1999, mientras que a 1200  $^{\circ}C$ , se verifica, según los análisis de difracción de rayos X, la presencia de la periclasa (MgO) como fase secundaria, acompañando a la forsterita. En el rango de temperatura entre, 1200 – 1600  $^{\circ}C$ , se mantiene la reacción anterior, la cual se ve favorecida por la estabilidad de las fases forsterita y periclasa. Los estudios realizados por: Sahama, T., 1955; Muan, A. y otros, 1966; Nafzinger, R. y otros,

1967, 1970; Roy, D., y otros, 1970; Robie, R., y otros, 1988; Helgeson, H., y otros, 1990, empleando diferentes muestras de olivino sintético y natural, confirman este comportamiento.

Como resultado de los análisis termodinámicos y roentgenofásicos se obtiene como principal regularidad, que como consecuencia del calentamiento de los productos refractarios obtenidos a partir de las dunitas, en el rango de temperatura entre 1200 y 1600 °C, al ponerse en contacto el metal líquido en el molde, se produce la estabilización de las fases forsterita y periclasa.

### **Aplicación de las dunitas serpentinizadas de la región Moa Baracoa en los talleres de fundición.**

#### ***Empleo de las dunitas serpentinizadas como pinturas antiadherentes.***

Teniendo en cuenta las diferentes recetas de pinturas reflejadas en la literatura (Enríquez, F.G, 1986; Enríquez, F.G. 1990; Salcines, C.M. 1985), así como tomando en consideración la experiencia acumulada en nuestros talleres en el empleo de estos productos, se elaboraron las pinturas autosecantes a base de dunita como componente principal o relleno.

Las pinturas obtenidas con una densidad que oscila entre 1,8 - 2,0 g/cm<sup>3</sup> poseen gran poder de fijación, elevada estabilidad térmica, buena viscosidad y fluidez, así como no sufren agrietamientos durante el secado de los moldes y machos. Las mismas fueron empleadas en la fundición de más de 40 piezas de aleaciones de hierro, aceros aleados y al carbono, aluminio, y aceros al manganeso, observándose en todos los casos que las superficies de las piezas no contenían incrustaciones y se observaron escasos defectos superficiales.

#### ***Empleo de las dunitas en la elaboración de mezclas de moldeo.***

Para la preparación de las mezclas de moldeo (de cara y de relleno) se utilizó la fracción +0,2 - 0,63 mm, con la cual se confeccionó la receta que se muestra en la tabla siguiente, con la cual se han obtenido los mejores resultados, según Pons y Leyva, 1997.

**Tabla IV. Receta utilizada para la preparación de las mezclas de moldeo (de cara y de relleno) a partir de dunitas serpentinizadas.**

<b>Componentes</b>	<b>Proporciones (%)</b>
Dunita	90
Bentonita	6
Melaza	4

Los ensayos mecánicos realizados a la mezcla de cara obtenida, mostraron sus buenas propiedades, todas dentro de los rangos permisibles como se puede apreciar en la tabla V.

**Tabla V. Resultados de los ensayos mecánicos realizados a las mezclas de cara obtenidas.**

<b>Mezclas</b>	<b>Muestras</b>	<b>Permeabilidad (U)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Resistencia a la compresión . (Kg/cm<sup>2</sup>).</b>
1	1	440	5,3	0,45
	2	467	5,1	0,50
	3	492	4,9	0,47
2	1	467	4,7	0,53
	2	440	5,0	0,42
	3	460	4,3	0,45
3	1	440	4,5	0,43
	2	467	4,7	0,55
	3	467	4,6	0,50

Con estas mezclas se moldearon diferentes tipos de piezas, fundidas posteriormente con aleaciones de hierro, aceros y aluminio. Las piezas obtenidas presentaron buen acabado superficial con contornos correctos y bajos porcentos de incrustaciones. Durante el proceso de moldeo se pudieron comprobar otras propiedades de la mezcla empleada como fueron: homogeneidad, plasticidad, compactabilidad y moldeabilidad.

Las mezclas desmoldeadas fueron preparadas para su utilización como arena de relleno, teniendo en cuenta la pérdida de humedad y cierta dilatación del material durante su empleo. Las mezclas de relleno preparadas con dunitas fueron sometidas a ensayos mecánicos, cuyos resultados demuestran que sus propiedades están dentro de las exigidas en los talleres de fundición, tanto para piezas de hierro, como para piezas acero.

**Empleo en la elaboración de mezclas para machos.**

Las mezclas para machos se prepararon a partir de dunita serpentizada como material principal, mezclándose con melaza o con silicato de sodio; teniendo en cuenta las recetas recogidas en las literaturas consultadas (Enríquez, F.G, 1986; Enríquez, F.G. 1990; Salcines, C.M. 1985) así como las experiencias acumuladas en los talleres de fundición de la Unión del Níquel.

Las principales propiedades mecánicas de las mezclas obtenidas a base de dunita y melaza se comportan acorde con los requisitos exigidos, como son: Humedad: 4-5 %; Permeabilidad: mayor de 30 unidades y Resistencia a la Compresión en verde: mayor de 0,10 Kg/cm<sup>2</sup>. Durante las pruebas realizadas con los machos preparados a base de melaza se pudo comprobar su gran desmoldeabilidad, propiedad esta de gran significación para este tipo de producto.

**Ultrabasitas de Pinares de Mayari.**

Las ultrabasitas de Pinares de Mayari se estudiaron para fines refractarios en el trabajo Reconocimiento Geólogo Tecnológico de Olivino Pinares de Mayari, 1999, (Martínez, 1999) reportándose en el sector La Estrella los resultados de composición química siguientes:

**Tabla VI. Datos de composición química de las dunitas serpentizadas del sector La Estrella, Pinares de Mayari.**

N o de pozo	Si O <sub>2</sub> , (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)	Mg O, (%)	PPI, (%)
E-2	35,99	4, 44	41, 20	14, 79
E-3	35,38	4, 28	42, 12	14,90
E-4	37, 68	5,90	39, 65	11,72
E- 5	35,18	4, 40	42, 31	15, 35
E- 9	37, 57	5,47	37, 93	14, 52
E- 10	33, 16	5,23	41, 47	14, 33

Se tomo una muestra tecnológica de 300 Kg entre los pozos E-3 y E-4, evaluándose como arena de moldeo en la Empresa de Equipos Industriales Marcel Bravo obteniéndose resultados satisfactorios. Se destaca además, como conclusiones de este trabajo que las rocas estudiadas están representadas realmente por harzburgitas y dunitas con diferentes grados de serpentización.

**Ultrabasitas de Camaguey:**

En el caso de las ultrabasitas de Camaguey, aunque no se han realizado investigaciones especiales como materiales refractarios, es posible pronosticar las perspectivas que también se posee en esta dirección, pues como se puede apreciar más adelante, durante la exposición de la caracterización de las cromitas de este territorio, existe una marcada presencia de estas litologías, especialmente de las dunitas serpentinizadas, así como una caracterización de las mismas como parte de su relación genética y espacial con las cromitas. Presentamos a modo de referencia la composición química de rocas ultrabásicas asociadas a la mineralización cromífera en la tabla VII.

**Tabla VII. Datos de composición química de ultrabasitas de los sectores de prospección de cromitas de Camaguey, en %. (Tomado de Gonzáles, 2002).**

No. Mtra	Tipo de Roca	Si O <sub>2</sub>	Ti O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	PPI
2891	Lherzolita serpentizada	37.9	0.002	0.67	9.8	6.35	0.121	38.83	1.04	7.7
3192	Serpentinita por Harzburgita	36.86	0.025	0.85	8.38	5.53	0.107	38.6	0.65	12.88
2882	Serpentinita por Harzburgita	36.42	0.025	0.58	8.11	4.04	0.116	39.1	0.33	12.58
2925	Serpentinita por Dunita	41.59	0.025	0.42	9.8	1.37	0.118	34.07	0.1	11.36
3186	Harzburgita serpentizada	36.93	0.025	0.97	9.26	6.39	0.122	37.37	0.78	12.54
2889	Harzburgita serpentizada	38.72	0.025	0.87	9.35	5.71	0.116	39.09	1.01	6.61
2746	Serpentinita	38.4	0.02	0.53	6.95	2.47	0.096	37.55	0.98	13.76
2815	Harzburgita serpentizada	37.37	0.02	1.53	7.9	5.1	0.117	38.36	0.47	10.46
2859	Harzburgita serpentizada	38.21	0.01	0.51	8.43	5.74	0.12	38.79	0.64	9.34
2604	Dunita serpentizada	33.98	0.03	0.11	8.82	6.11	0.106	42.12	0.23	12.06

#### **Perspectivas de las ultrabasitas en la fabricación de productos refractarios para la fundición.**

Como ha quedado demostrado en las investigaciones realizadas para arenas de moldeo y pinturas antiadherentes, se pueden obtener productos de calidad con las ultrabasitas de la región de Moa- Baracoa; igualmente las investigaciones desarrolladas con las dunitas serpentizadas de Pinares de Mayari avalan estas perspectivas. Comparando las ultrabasitas de Camaguey con las empleadas de Moa- Baracoa y Pinares de Mayari se destaca que el % de Mg O es algo menor en las de Camaguey y que presentan mayores perspectivas las Harzburgitas y Dunitas, aún cuando tengan determinado grado de serpentización. En el caso de Camaguey destaca el hecho de no haberse realizado trabajos especiales dirigidos a este objetivo; somos del criterio que deben existir sectores mucho más favorables y actualmente se trabaja en investigaciones en esta dirección con especialistas de la EGMC.

#### **Perspectivas para el empleo de las ultrabasitas en la fabricación de refractarios conformados.**

En relación con estos productos y por ser hasta cierto punto novedoso para nuestro país se ofrece información básica sobre sus posibilidades de aprovechamiento desde el punto de vista geólogo- tecnológico.

Los materiales refractarios forsteríticos conformados poseen una alta estabilidad bajo la influencia de escorias básicas y con elevado contenido de hierro, también pueden soportar una alta carga de presión hasta temperaturas de 1 700 ° C. Generalmente para la fabricación de estos productos a la materia prima magnesio – silicatada se añade de un 10 a un 30 % de polvo de magnesita calcinada (periclasa).

Además de los propios artículos refractarios forsteríticos es bastante común la preparación de materiales forsterítico- cromíticos añadiendo junto a la periclasa hasta un 15 a 25 % de concentrado de cromita para aumentar la longevidad de los productos. Debido a su carácter eminentemente básico pueden colocarse ladrillos de forsterita combinados con ladrillos de magnesita y cromita sin que se produzcan reacciones de contacto (Didier, 1993).

Como materia prima para la elaboración de los artículos refractarios forsteríticos se pueden emplear dunitas, serpentinitas y rocas talcosas. Las principales exigencias industriales a la materia prima para la fabricación de los artículos refractarios forsteríticos son:

- Contenido de  $Al_2O_3$  menor de 2, 3 %.
- Contenido de  $Fe_2O_3$  menor de 6%.
- Contenido de Ca O menor de 1, 5%.
- Relación  $MgO/SiO_2$  entre 0,94 y 1,33.

Los compuestos más dañinos para estos productos son los óxidos de calcio y de aluminio, su presencia provoca la formación de combinaciones fusibles en el curso del tratamiento térmico. Con la presencia del oxido de calcio surge la monticellita y con la del oxido de aluminio se forma la cordierita. El oxido de hierro contribuye a la formación de la magnetita.

Para el caso de nuestras ultrabasitas el modulo  $Mg O/Si O_2$  de las dunitas serpentinizadas es generalmente mayor de uno, no obstante, como se señala anteriormente a estos productos es común añadirle magnesita calcinada para mejorar sus indicadores de refractariedad. En el caso de las demás exigencias, contenido de  $Al_2O_3$  menor de 2, 3 %, contenido de  $Fe_2O_3$  menor de 6 %, contenido de Ca O menor de 1, 5 % se cumplen sin dificultad.

Actualmente existen investigaciones en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en coordinación con la Empresa Geólogo Minera de Camaguey y la Planta de Refractarios de esta provincia dirigidos a estos fines, pero aún no se tienen los resultados finales de las mismas.

## **YACIMIENTOS DE CROMITA.**

En Cuba, todos los yacimientos cromíticos se localizan en la provincia de Holguín y Camagüey, los yacimiento y manifestaciones están asociados al complejo ofiolítico, lo que constituye una particularidad de la geología de Cuba. En nuestro país se explotan las menas de cromo desde 1916, fecha en la que se embarcaron unas 34 toneladas métricas a Estados Unidos. En la actualidad se explotan los yacimientos Mercedita y Amores, en Moa y Baracoa respectivamente.

### **Yacimientos de cromitas de la región de Moa- Baracoa.**

### Yacimiento Merceditas.

La región donde se ubica el yacimiento se encuentra en el macizo montañoso Moa -Baracoa, localmente situado en las cuchillas de Moa. El relieve de la región es variado, alrededor del 80 % es desarticulado y encontramos montañas de laderas abruptas, el resto está ocupado por altiplanos. Las cotas absolutas van de 180 a 900 m con diferencia promedio de 500. Los cuerpos cromíticos se relacionan espacialmente con las rocas duníticas y dunito-enstatíticas y hasta con algunas variedades de gabróides. Los cuerpos minerales tienen forma lenticular y yacen en su mayoría de forma concordante con las rocas de caja, con buzamientos suaves.

Las estructuras que presentan las menas en esta región son masivas, densamente diseminadas y diseminadas. Los puntos de mineralización se relacionan con los cúmulos ultramáficos, en este complejo aparece intensamente tectonizado, formando bloques irregulares limitados por fallas de diferente intensidad y edad. Macroscópicamente en el yacimiento Merceditas podemos encontrar según la estructura tres tipos de menas: masivas, densamente diseminadas y diseminadas.

Mineralógicamente las menas están compuestas por cromita fundamentalmente, además se encuentran en ella óxido e hidróxido de hierro y minerales de la serpentina en las grietas. Raramente diseminados en el mineral se pueden observar algunos minerales meníferos como la pirita, millerita y marcasita.

Las especies minerales más importantes que aparecen son la cromita (como mineral formador de menas y contenidos entre 80 – 95%) y la cromohercinita. Esta última en forma de agregados granulares sustituyendo parcialmente a la cromita. En la tabla VIII se ofrecen datos sobre la composición química del yacimiento Mercedita.

**Tabla VIII. Datos de análisis químico de cromitas del yacimiento Mercedita.**

No de muestras	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	FeO (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)
MP-1	29.40	7.01	9.95	0.03	24.60	20.39
MP-2	29.03	6.65	9.30	0.39	24.63	20.15
MP-3	31.14	4.32	9.96	0.46	26.05	18.55
MP-7	33.15	3.41	10.71	0.01	27.44	17.92
MP-9	31.75	5.07	10.21	0.01	26.12	18.97
MP-10	30.78	6.06	10.05	0.21	25.30	19.86
MP-11	30.80	6.71	10.05	0.01	25.34	19.42
MP-14	30.81	5.45	9.88	0.03	25.50	18.99
MP-15	28.27	8.41	9.23	0.12	25.15	19.82
MP-16	29.39	5.98	9.34	0.31	25.34	18.73
MP-17	31.95	4.17	9.60	0.03	26.60	18.09
MP-18	32.39	4.19	9.71	0.01	26.87	18.34
MP-19	32.27	4.45	9.48	0.04	27.00	17.91
MP-20	33.39	2.43	10.19	0.16	27.55	16.77
MP-54	34.28	2.55	10.87	0.27	26.26	17.03
MP-55	32.68	2.86	11.02	0.70	24.99	15.99
MP-57	31.92	4.64	10.39	0.01	26.13	17.97
MP-60	27.55	6.65	11.24	0.01	24.04	18.53
MP-61	31.60	5.62	11.98	0.02	25.30	18.11
MP-66	30.17	6.53	10.11	0.09	25.28	19.06
MP-67	21.26	14.58	8.66	0.01	16.88	25.93
MP-68	31.66	4.96	10.23	0.16	25.30	19.34

## Yacimiento Amores:

El yacimiento Amores se encuentra ubicado en el Municipio de Baracoa, Provincia Guantánamo. El mismo está situado en la parte Norte del macizo montañoso Sagua-Baracoa. Los cuerpos minerales cromíticos del yacimiento se caracterizan por tener forma de lentes pequeños y alargados. La mayoría de ellos se caracterizan por presentar variaciones bruscas tanto por el rumbo como por el buzamiento. Estos cuerpos se inclinan ligeramente hacia el N- E, con un buzamiento suave ( $30^{\circ} - 40^{\circ}$ ).

La siguiente tabla relaciona a modo de referencia datos de composición química de las cromitas del yacimiento Amores..

**Tabla IX. Datos de composición química de las cromitas del yacimiento Amores.**

Muestras	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)	SiO <sub>2</sub> , (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)
M- 1	28.80	8.50	22, 44
M- 2	26.17	10.36	23, 68
M- 3	26.08	10.79	22, 46
M- 4	30.47	6.77	22, 32
M- 5	28.63	8.79	21, 53
<b>Promedio</b>	<b>27.93</b>	<b>9.12</b>	<b>22,49</b>

## Yacimientos de cromitas de la región de Camagüey.

En el distrito cromífero de Camagüey se conocen más de 350 yacimientos y manifestaciones de cromita. La mayoría de ellos fue explotada, al menos parcialmente antes de 1959. Las menas fueron utilizadas al parecer en la industria refractaria. Se conocen cinco yacimientos con reservas extraídas superiores a las 100 000 t.: Camagüey, Victoria, Rafael, Aventura y Lolita (González, 2002). En la actualidad son canteras inundadas con reservas abandonadas. El yacimiento más grande es Camagüey-II con reservas superiores a las 750 000 t., el cual no ha sido explotado aún a causa de su profundidad de yacencia. Existen muchas canteras inundadas que carecen de datos de archivo y de trabajos de evaluación recientes, que pueden tener volúmenes de mineral significativos. Un ejemplo de esto es Mamina, cantera en la cual se encontraron unas 100 000 toneladas de mineral de buena ley, que pueden ser aprovechadas con un mínimo de trabajos mineros.

A continuación se da la descripción a modo de ejemplo de dos de los principales yacimientos desde el punto de vista económico Camagüey - II y Victoria - I.

### Yacimiento Camagüey- II.

El yacimiento Camagüey-II se encuentra en la parte este de la asociación ofiolítica de Camagüey, al noreste de la ciudad del mismo nombre. Como parte del complejo peridotítico al que pertenece la variedad litológica predominante es la harzburgita. De forma subordinada aparecen las lherzolitas y werlitas así como las dunitas. Todas las rocas están serpentinizadas en mayor o menor grado.

Este yacimiento forma parte de un campo mineral junto con Camagüey-I y Nuevo Camagüey. Fue descubierto en 1942 Existe una pequeña cantera de donde se extrajo ese cuerpo, pero el yacimiento nunca fue explotado, posiblemente a causa de su profundidad de yacencia. Desde

1942 hasta 1987 se efectuó la prospección y exploración del yacimiento en varias etapas con más de 100 pozos y 14 300 metros.

**Tabla X. Contenido químico promedio de algunos pozos en Camagüey – II.**

Pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %
822	93.90	110.70	16.80	29.97	6.65	27.71	1.45
828	69.45	76.10	6.65	31.48	7.94	27.51	1.25

La composición química promedio de los principales elementos para el yacimiento es: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 29.50 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 26.55 %; SiO<sub>2</sub>: 6.80 %; CaO: 1.72 %.

El buzamiento de los cuerpos es abrupto con ángulo de 60°-80° Las menas son de grano fino a grueso, compuestas por espinela cromífera (70-94%) y minerales del grupo serpentínico (4-28%). Las menas tienen textura masiva y densamente diseminada.

Varias muestras tecnológicas corridas en el país y en el extranjero confirman que la mena cromítica es idónea para su uso en la fabricación de ladrillos refractarios que se usan en los hornos rotatorios de la industria del cemento. Un estudio de factibilidad realizado en 1986 recomienda la extracción subterránea como la más económica.

#### **Yacimiento Victoria – I.**

Yace en la zona de transición hacia el complejo cumulativo por debajo de los gabros bandeados, donde se desarrollan ampliamente las dunitas. El cuerpo mineral original fue separado en bloques por la tectónica. La potencia alcanza 10 – 15 m. Su extensión por el rumbo es de 90 m. y por el buzamiento 80 m. Las menas están constituidas por cromopicotita. Son de textura masiva y densamente diseminada.

**Tabla XI. Contenido promedio de algunos pozos del yacimiento Victoria – I, en %.**

Pozo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>
V-4-4	30.78	5.33	27.42	0.75	13.88	1.60	17.41	0.42
4-80	28.50	6.55	27.98	0.72	11.30	0.28	18.80	0.28
4-81	30.15	5.64	28.19	0.74	11.80	1.37	17.58	0.28

La exploración detallada se realizó en 1988. Posee 150 000 toneladas de mena cromítica con contenidos promedios de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 29.30 %; SiO<sub>2</sub> - 6.60 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 26.91 % y CaO - 0.98 %.

Según González, 2002 un importante indicador metalogenético para la presencia de mineralizaciones de cromita, pueden presentar las anomalías geofísicas de cuerpos minerales y rocas. La diferencia relativamente grande de la densidad entre la cromita y la roca contigua ultrabásica permite que los cuerpos minerales aparezcan como un máximo gravimétrico local.

Es de interés además la conclusión a que llega este mismo autor al plantear que "en el nivel actual del perfil, la mayoría de los yacimientos y manifestaciones de cromitas en Camagüey se localizan en la parte superior del Complejo Peridotítico o en la parte inferior (Parte ultrabásica) del Complejo Cumulativo. Los minerales de cromita, que saturan discordantemente los gabroides del Complejo Cumulativo presentan posiblemente un desarrollo especial y no son de importancia económica. Las cromitas, tanto del Complejo Peridotítico como también del Cumulativo, presentan características sustanciales y mineralógicas similares, quiere decir, que

se caracterizan por tipos de espínelas similares y por una composición geoquímica similar. En general las cromitas de ambos complejos se destacan por contenidos relativamente altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (25- 30 %) y contenidos relativamente bajos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Plantea además que "los cuerpos de cromita ricos en Al se encuentran contenidos en peridotitas, mientras que los cuerpos minerales ricos en cromo se encuentran posiblemente en relación con peridotitas más profundas.

### **Perspectivas para la producción de refractarios a partir de las cromitas**

En el caso de los yacimientos Mercedita y Amores, como se ha indicado anteriormente, ellos se exportan desde hace varias décadas para su empleo por parte de productores extranjeros en la fabricación de materiales refractarios y un pequeño volumen se comercializa como arenas de moldeo en el mercado nacional.

Realizando una comparación de los yacimientos cubanos empleados para la industria de refractarios, y las exigencias técnicas a estos productos (Muñoz, 1999):  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  mayor de 60,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mayor de 25,0 % y FeO máximo 15,0% respecto a los de Camaguey encontramos que la suma de los contenidos  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  (mínimo) – 60,0 %, aun cuando no se llega a este valor en la mayor parte de las manifestaciones, si esta muy cerca, por encima del 56 % en los yacimientos más importantes. Es de destacar que el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (mínimo) – 25,0% se cumple en la mayor parte de las manifestaciones y el FeO (máximo) – 15,0 % se cumple sin dificultad.

Es importante también tomar como referencia las solicitudes de los clientes de la Empresa Cromo Moa, donde generalmente los concentrados de cromita para ser utilizados en la industria refractaria están en el siguiente orden:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : mínimo 31, 40 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : mínimo 26, 0 %,  $\text{SiO}_2$ : máximo 6. 40 %, Mg O: 18 % (promedio), Ca O: máximo 1 %, Fe O: 15 % máximo. En relación a estas exigencias excepto para el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  algo inferior, los demás óxidos se pueden cumplir, más si tenemos en cuenta que para lograr estas exigencias la Empresa Cromo Moa obtiene concentrados de su planta de beneficio y a la vez prepara mezclas del mineral para lograr responder a las solicitudes.

Investigaciones realizadas en el yacimiento Victoria I a una muestra tecnológica por el laboratorio "José Isaac del Corral" señalan que la mena está representada por espinela cromífera del tipo cromopicotita en un 84 a 92 % y que los minerales de rara presencia en cantidades menores a 1 % son: pentlandita, melnicowita, pirita, magnetita, millerita, calcopirita y bornita. Como principales minerales formadores de roca están: serpentina, olivino, piroxenos, enstatita, clorita y carbonatos, los cuales alcanzan el 7 –15 %. El estudio plantea que el relativamente alto contenido de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (29 – 30 %), de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (27- 28 %) y MgO (18 – 19 %) así como bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  (5 - 8 %) permiten utilizar las menas como materia prima idónea para la fabricación de refractarios de cromomagnesita.

De un peso no despreciable esta el hecho histórico de que fueron explotados varios yacimientos en la etapa anterior a la revolución como fueron: Camagüey, Victoria, Rafael, Aventura y Lolita.

Tenemos además conocimiento (comunicación oral del Tecnólogo Pablo Fernández, Planta de Refractarios de Camaguey) de que se han realizado producciones semiindustriales de ladrillos de cromita con materias primas de Camaguey y de Moa, con resultados alentadores, que lamentablemente no están bien documentados.

En este sentido urge la necesidad de elaborar estudios tecnológicos de mayor nivel de profundidad que permitan realizar estudios de factibilidad y proceder a la presentación de estas oportunidades de inversión; esto puede resultar mucho más atractivo si se integran también las potencialidades de las ultrabasitas y de las magnesitas y se evalúan integradamente estas materias primas y sus posibles producciones.

## **YACIMIENTOS DE MAGNESITA.**

Con el triunfo de la revolución en el año 1959 se intensificaron los trabajos de prospección geológica para la búsqueda de esta materia prima, para su uso en la producción de fertilizantes para la agricultura, refractarios y otros usos.

En la región de Camaguey encontramos importantes acumulaciones de sedimentos magnesiales (Redención, Olalla y Sin Reposo), estos yacimientos han sido explotados desde la primera mitad del siglo XX. (Aleman 2002). La producción del yacimiento Redención es utilizada fundamentalmente en la agricultura del tabaco, calcinándose a temperatura de 700°- 1000 °C; los contenidos medios obtenidos después de calcinada la magnesita son de: MgO: 55%, CaO: 7-9 %, SiO<sub>2</sub>: 15-16 %.

### **Yacimiento Redención**

En la zona de desarrollo de los sedimentos magnesiales se describen tres cuerpos minerales (Koliusky,1966).

Cuerpo principal: Se extiende desde el noreste hacia el sureste, tiene una longitud de aproximada de 4 km y un ancho medio de 2.6 km. (Mikita,1981, Koliustky,1966). El espesor medio es de 3 metros. Está situado a una profundidad de 36.1 metros en el suroeste y hasta la profundidad de 76 metros en el noreste.

El cuerpo mineral está compuesto por magnesita blanca, menos frecuente blanco-grisáceo con la presencia de dolomitas, paligorskita y minerales del grupo del cuarzo, se caracteriza por una composición química variable. Según los resultados obtenidos por G. Mikita, 1981 y Koliustky,1966, el comportamiento de los principales elementos es el siguiente: MgO: 40. 40-42.90 %, SiO<sub>2</sub>: 4.22- 6.25% y CaO: 2.15 – 4.43 %

Cuerpo superficial: Espacialmente ocupa el área actual y sus alrededores, aparece entre los 0.2 – 7.7 metros, la potencia promedio de los lentes de sedimentos magnesiales es de 6.77 metros, con potencias de hasta 28.2 metros. Los contenidos de MgO varían entre 32.43 – 42.13%.

Los sedimentos magnesiales están representados por arcillas blancas, muy blancas y blancuzcas redepositadas lixiviadas en paleocausas, con ancho desde varios centímetros hasta decenas de metros, en dependencia del relieve geomorfológico de la cuenca, por lo que su forma es irregular, con cambios litofaciales en espesor y calidad de la materia prima.

De acuerdo a los resultados químicos utilizados para el cálculo de reserva (M. Martínez, M. Nápoles, C. Valle, O. Pereda, 2002) el contenido promedio del cuerpo superficial es de MgO: 33.22%, SiO<sub>2</sub>: 10.22%, CaO: 4.16%.

Cantera Redención: Se refiere a la cantera en la que se iniciaron las explotaciones mineras en la década de los 40. En 1961 Koliutky realizo trabajos de exploración mediante pozos criollos en red 50 x 50 metros. Debido a los cambios bruscos de potencia y calidad se densifico la red

hasta 50 x 25 metros, la calidad de la materia prima es poco conocida, solamente se realizaron análisis para determinar el contenido de Mg O: 36.52 %.

### Yacimiento Olalla

El yacimiento Olalla se encuentra dentro de la asociación ofiolítica, en una zona del valle de inundación del vaso de la presa Pontezuela, casi en la base de la Meseta de San Felipe.

**Tabla XII. Datos de composición química del yacimiento Olalla, expresado en %.**

Lugar de muestreo	No. muestras	MgO	CaO	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Borde Este de la cantera	1001	46.81	0.73	98.30	1.30
Borde Oeste de la cantera	1002	46.42	1.10	97.50	1.96
Nódulo en la trinchera No. 4	1003	45.90	0.98	96.40	1.76
Pozo criollo No.1	9776	45.65	2.51	95.41	4.46
Pozo criollo No.2	9777	46.28	1.67	96.73	2.97
Pozo criollo No.3	9778	44.61	3.59	93.23	6.39

### Yacimiento Sin Reposo.

El yacimiento de magnesita Sin Reposo se encuentra dentro de la Asociación Ofiolítica de Camaguey en el complejo Cumulativo, compuesto por gabros con una textura masiva y cumulativa y serpentinitas duniticas y peridotitas. Se encuentra asociado al yacimiento de cromo del mismo nombre.

El yacimiento cuenta con una cantera de 600 m<sup>2</sup> de área y profundidad de 1 a 1.6 metros. La magnesita esta representada por una roca porcelanada, muy blanca y por una variedad blanda y porosa de color gris a crema.

**Tabla XIII. Datos de composición química del yacimiento Sin Reposo, en (%).**

Lugar de muestreo	Intervalo de mntreo	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pozo criollo No.21	0.5 - 1.5	41.05	1.18	9.32	1.05	2.36
Pozo criollo No.19	0.5 - 1.5	39.84	1.34	11.85	1.33	2.99
Pozo criollo No.18	0.5 - 1.4	39.20	1.47	14.10	0.87	1.66
Pozo criollo No.17	0.5 - 1.0	39.87	1.36	12.26	1.50	1.53
Pozo criollo No.15	0.3 - 0.9	42.41	1.36	8.01	0.60	1.16
Pozo criollo No.12	0.5 - 0.9	41.88	1.34	7.94	0.44	1.31
Pozo criollo No.9	0.5 - 1.0	39.20	1.35	13.14	1.15	2.73
Pozo criollo No.8	0.2 - 1.4	39.50	1.17	12.40	1.39	2.53
Pozo criollo No.6	0.2 - 1.3	38.95	1.18	13.96	1.04	2.50
Pozo criollo No.4	0.5 - 1.4	36.50	0.52	19.05	1.22	2.60
Pozo criollo No.3	0.5 - 1.8	35.15	0.71	21.40	1.48	3.33
Pozo criollo No.2	0.3 - 1.3	37.95	0.79	17.40	0.70	2.13
Pozo criollo No 1	0.3 - 1.3	41.57	0.59	9.40	0.59	2.53
Pozo criollo No1	1.3 - 1.9	42.24	0.59	6.35	0.58	2.00

Como resultado de los estudios anteriores se establecen como criterios e índices de prospección para las magnesitas de la región de Camaguey los siguientes (Aleman, 2002):

Criterios estratigráficos: Los sedimentos magnesiales se hayan dentro de la cuenca Magantilla en la Fm Vázquez de edad Mioceno inferior y medio, en el miembro arcillosos magnesiano en la litología de arcilla magnesianas.

Criterio estructural: Por la documentaciones de los pozos estructurales realizados por Koliutsky,1996, las capas más productivas de sedimentos magnesiales no sobrepasan la profundidad de los 210 m .

#### Índices directos

Los sedimentos magnesiales más productivos se distinguen por ser rocas de color blanco que pueden contener mezclas de arcilla de color verde y las acumulaciones de sedimentos magnesiales generalmente tienen rumbo Noroeste (25°-30°) –Suroeste (209°-210°), y aparecen en forma de lentes o capas de gran extensión.

#### **Perspectivas para el empleo de las magnesitas.**

En el grupo de los refractarios básicos los de mayor importancia, sin lugar a dudas, son los de Magnesita y se emplean en sus distintos tipos.

La calidad química y tecnológica de la magnesita del yacimiento Redención ha sido estudiada a través de varias investigaciones geológicas (Mastko,1962, Mikita,1981, Morell,1991, entre otros) los que atendiendo a los contenidos de óxidos de magnesio (MgO), la clasifican por clases, las que se pueden resumir en la tabla XIV.

**Tabla XIV. Clasificación por clases de la magnesita del yacimiento Redención.**

<b>Clase</b>	<b>Contenido de Mg O, %</b>
Clase No.1	> 40 %
Clase No.2	39.99 – 35,0 %
Clase No.3	34.99 – 30,0 %
Clase No.4	29.99 – 19,0 %
Clase No.5	< 18.99 %

Se han realizado varias investigaciones tecnológicas a escala de laboratorio del yacimiento Redención; durante los trabajos de Matsko,1962, se enviaron a la antigua Unión Soviética tres toneladas de magnesita del denominado Cuerpo Cantera Redención, La composición química de la muestra fue la siguiente: MgO (31.59 – 45.47 %), SiO<sub>2</sub> (1.52 – 12.40 %), CaO (0.52 – 8.45 %). Como resultado de esta investigación se plantea lo siguiente:

Los minerales principales que constituyen la roca útil son: magnesita, dolomita, paligorskita y minerales del grupo del cuarzo. La textura es brechiforme y amorfa, el cemento lo constituye un cuerpo pelítico de magnesita y paligorskita. La dolomita está impregnada en la magnesita. Debido al intercrecimiento de la magnesita con los otros minerales es difícil enriquecer la magnesita.

En 1997 el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, realiza investigaciones para determinar el método de beneficio para la magnesita (Informe Técnico No.7), de los denominados cuerpos Superficiales y Principal.

**Tabla XV. Caracterización química de la muestra de cabeza de los cuerpos Superficial y Principal, en %.**

Muestra	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PPI
C. Superficial	33.94	42.26	15.96	1.68	1.44	0.89	0.15	39.69
C. Principal	36.13	4.26	12.23	1.29	1.08	-	-	41.39
C. Principal	38.46	4.35	9.26	1.19	1.04	-	-	43.40

A cada una de las tres muestras se le realizó análisis químicos por fracción granulométrica, con el objetivo de obtener concentrados de polvos metalúrgicos.

De los resultados del informe técnico referido los autores concluyen lo siguiente:

1. En las menas estudiadas se encuentran minerales carbonatados y arcillosos como minerales predominantes y como accesorios modificaciones de sílice y sulfatos de calcio y magnesio.
2. Las tres muestras están representadas por rocas sedimentarias con variables porciones de magnesita- dolomitas- arcillas. La muestra del cuerpo superficial tiene magnesitas (52%), dolomita (14%), arcillas (31%), modificaciones de óxidos de silicio (3%). Las otras dos muestras son muy semejantes en su composición teniendo: magnesitas (65 – 66%), dolomitas (14%), arcillas (20%).
3. En el análisis granulométrico de mineral molido bajo 9 mm, no hay concentración significativa de óxido de magnesio en ninguna fracción, mientras que las concentraciones de óxidos de silicio se distribuyen en todas las fracciones al igual que las restantes impurezas de (CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Para analizar las perspectivas de las magnesitas de la región de Camaguey es imprescindible remitirnos a los resultados expuestos en el trabajo "Informe sobre la obtención de Óxido de Magnesio de las Magnesitas nacionales con el empleo de ácidos carbónicos" (CIPIMM, 1996); el cual llega a las siguientes conclusiones:

- 1- El procesamiento con ácido carbónico permite obtener más del 98 % de eficiencia de disolución del magnesio, con determinadas condiciones experimentales.
- 2- La calidad del óxido de magnesio obtenido a partir de la calcinación del carbonato básico a 1100 °C, satisface los requisitos de pureza establecidos para diferentes calidades (MgO > 98%, CaO < 1%, SiO<sub>2</sub> < 1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mucho menor de 0.001 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mucho menor 0.001 %, PPI del 5%).
- 3- La tecnología del procesamiento con ácido carbónico permite por su alta selectividad y eficiencia, la explotación de las distintas menas presentes en el yacimiento mediante un mismo esquema tecnológico.

Se plantea en este estudio que "analizando los resultados de los ensayos tecnológicos observamos que el beneficio de las magnesitas por métodos químicos es el más óptimo, pues a partir de las magnesitas de baja calidad se obtuvieron calidades especiales de alta pureza de óxido de magnesio".

## CONCLUSIONES

1. Cuba posee perspectivas fundamentadas para la producción en nuestro país de materiales refractarios básicos, especialmente vinculados a las materias primas procedentes de las ultrabasitas de los complejos ofiolíticos, cromitas y magnesitas, lo cual permite pronosticar a mediano plazo que se pueda alcanzar una posición destacada en estas producciones. Entre estos productos, presentan mayores potencialidades de desarrollo aquellos a base de forsterita, magnesita y cromita (a partir de dunitas, serpentinitas, magnesitas y cromitas).

2. Las ultrabasitas de la región de Moa – Baracoa asociadas a los yacimientos de cromita, especialmente las dunitas serpentinizadas y harsburgitas, presentan un alto grado de serpentización, las pruebas realizadas con rocas similares en las investigaciones en el ISMM y EGMO permiten avalar las mismas para obtener productos de calidad como arena de moldeo y pinturas antiadherentes para la fundición. Comparando las ultrabasitas de Camaguey con las investigadas de Moa- Baracoa y Pinares de Mayari se destaca que el % de Mg O es algo menor en las de Camaguey y que presentan mayores perspectivas las Harsburgitas y Dunitas serpentinizadas, en el caso de Camaguey destaca el hecho de no haberse realizado trabajos especiales dirigidos a este objetivo.

El empleo de las arenas de dunitas serpentinizadas en los talleres de fundición contribuirá a mejorar la calidad de vida de los obreros y prolongar la vida útil de los equipos, en comparación con el uso de la arena sílice, que es el producto que para estos fines se emplea en casi todo el país.

En el caso de los refractarios conformados, para el caso de las ultrabasitas de Moa Baracoa el modulo Mg O/Si O<sub>2</sub> de las dunitas serpentinizadas es generalmente mayor de uno, aunque se debe considerar que a estos productos es común añadirle magnesita calcinada para mejorar sus indicadores de refractariedad. En el caso de las demás exigencias contenido de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menor de 2, 3 %, contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menor de 6%, contenido de Ca O menor de 1, 5% se cumplen sin dificultad.

3. Las características y grado de estudio que presentan los yacimientos de cromitas de Moa- Baracoa avalan su potencialidad para ser empleadas como material refractario básico. En el caso de Camaguey su composición química esta muy cerca de las establecidas, solo en el caso del Cr<sub>2</sub> O<sub>3</sub> se encuentran ligeramente por debajo del mismo, no obstante es necesario realizar una valoración integral de estas menas, pues en el caso de los yacimientos de Moa- Baracoa es común mezclar las menas de diferentes yacimientos para cumplimentar las exigencias de los clientes. Es importante considerar la recomendación realizada durante el estudio de la muestra tecnológica del yacimiento Victoria I en consideración a que el relativamente alto contenido de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (29 – 30 %), de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (27- 28 %) y MgO (18 – 19 %) así como bajo contenido de SiO<sub>2</sub> (5 - 8 %) permiten utilizar las menas como materia prima idónea para la fabricación de refractarios de cromomagnesita.

4. El grado de estudio y caracterización de los depósitos magnesiales de Camaguey es un elemento favorable en relación con esta materia prima. Si bien es cierto que las impurezas de nuestras magnesitas son algo elevadas, es importante destacar las investigaciones realizadas para el beneficio de las mismas, especialmente con ácido carbónico al obtener más del 98 % de eficiencia de disolución del magnesio, con determinadas condiciones experimentales.

5. La investigación integrada de estas materias primas, ultrabasitas, cromitas y magnesitas orientadas hacia la producción de refractarios básicos, puede derivar en una explotación integrada de las mismos, ejemplo, durante la explotación de los yacimientos de cromitas se planificaría la misma tomando en consideración el uso además de las ultrabasitas. Mucho más peso posee esta valoración, si consideramos que existen en la provincia de Camaguey manifestaciones de magnesitas relacionadas espacialmente con las cromitas y ultrabasitas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Aleman T. I. 2002. Caracterización genética de los depósitos magnesiales de la provincia de Camaguey. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. Cuba.
- Blanco, F., L. Ibañez. 1998. Ensayos de reblandecimiento y fusión realizados a dunitas serpentinizadas de la región de Moa, Cuba. Informe Técnico. Universidad de Oviedo. España.
- Blanco, D., 1996. Informe Exploración de Explotación del flanco SSE de Magnesita Redención. Provincia de Camaguey. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Colectivo de autores. 1999 "Petrología y mineralización de la Asociación Ofiolítica en la región de Camagüey." I.G.P. La Habana.
- Didier, 1993. Técnica Refractaria Didier. Materiales refractarios y sus características, Ed. Didier-Werke AG, Alemania.
- Enríquez, F.G. 1990. Mezclas de moldeo y pinturas antiadherentes. Edit. Científico-técnica. Ciudad Habana. Cuba.
- Escobar, E. 1998 "Informe geológico y cálculo de reservas de la exploración detallada del yacimiento cromífero Camagüey II." O.N.R.M.
- Fonseca E., Zelepuguin, V. M., Heredia, M. 1984. "Particularidades de la estructura de la Asociación Ofiolítica de Cuba. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio (9)p.p. 31-46.
- Formoso, A. P., M. Sirgado, L. García, y otros. 1994. La dunita como agente de eliminación de alcalinos en el horno alto. Revista de Metalurgia. CENIM. Vol. 30. No.4. Madrid.
- Formoso, A.P., C.P. Cubillo, J. Ortíz. 1988. Caracterización completa de una muestra de serpentina cubana denominada "Si". Informe técnico. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid.
- González, P. R. 2002. Metalogenia de la Asociación Ofiolítica de Camaguey, Cuba. Tesis de maestría. EGMC- ISMM.
- González, P. R. 1998. "Mineralizaciones cromíticas de la Asociación Ofiolítica de Camagüey, Cuba". Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. p.p. 281- 283. La Habana.
- González, P. R.; Chang, A. y otros. 1998. "Banco de Datos Geológicos sobre las cromitas de Camagüey". La Habana. O. N. R. M.
- González, P.R.; Richter, J. 1990. "Informe final de la Exploración en el yacimiento de cromita Victoria-I." La Habana. O. N. R. M.
- Hanig, D.; Richter, J.; R. González Pontón. 1989. "Metodología para la prospección de cromitas refractarias a escala 1: 10 000 en la provincia de Camagüey". Memorias del I Congreso Cubano de Geología y Minería. La Habana.
- Hernández N.1997. Informe técnico No.7 Preliminar del Beneficio de tres muestra de magnesita de los Cuerpos Superficial y Principal del yacimiento. CIPIMM La Habana
- Hernández N. 1986. Informe Técnico No.39. Obtención de óxido de magnesio de las magnesitas nacionales con el empleo de ácido carbónico. CIPIMM. La Habana.
- Hernández N.1985. Informe técnico No.15. Estudio del beneficio de una muestra de magnesita correspondiente al bloque 1C del yacimiento Redención, Cuerpo Superficial. CIPIMM. La Habana.
- Iturralde-Vinent, M. 1994. Geología de las ofiolitas. En ofiolitas y arcos de islas volcánicos de Cuba. I. U. G. S. \UNESCO. International Geological Correlation Program. Project 364. Ciudad de la Habana pp 83-120.
- Koliutki.V.N. et al:1966. Informe sobre los Trabajos de Búsqueda y Explotación del yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos minerales. Camaguey.
- Labrada G. J., y otros. 1989. Informe sobre los resultados de la exploración del yacimiento Amores (cuerpo 1,2,5,10). Oficina Territorial del Fondo geológico. Santiago de Cuba.
- Leyva R.C., J. Pons. 1996. 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 -75.
- Leyva R.C., y otros. 1998. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera. Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. Vol I, pp 350-354. La Habana.
- Martínez M; Nápoles M; Valle C; Pereda O, 2002 Resumen integral de las investigaciones realizadas hasta la actualidad en los sedimentos magnesiales en la provincia Camagüey. Inédito.
- Martínez S. A. et al. 1999. Reconocimiento Geólogo - Tecnológico de Olivino Pinares de Mayari. Empresa Geominera de Oriente.

- Matsko. E. et al :1961 Informe sobre los resultado de la Explotación del Yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Camaguey .
- Matsko E. et al. 1963. Informe sobre los trabajos de búsqueda de Magnesita en los Yacimientos Olalla y Sin Reposo. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Camaguey.
- May, Peter; Jäckel, R. 1987. Instituto para materias Primas Minerales y Economía de Yacimientos de Dresden. "Informe sobre las investigaciones tecnológicas a 5 muestras de cromo para evaluar su idoneidad para la producción de materiales refractarios básicos." Dresden, Alemania.
- Méndez Garcés Julian A. 2000. "Caracterización tecnológica de los depósitos de cromita de la provincia de Camagüey, República de Cuba". Disertación presentada a la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, para la obtención del grado de Maestro en Geología. Sao Paulo. O.T.R.M.
- Metallurgiya, 1991. Ogneupornie izdeliya, material i sirio. Spravochnik. (en ruso).
- Mikita G; Hrinko V., Iraola N.1980. Pasaporte de la muestra tecnológica del cuerpo principal del yacimiento Magnesita Redención. Geominera Camaguey.
- Mikita G; Hrinko V. et al. 1981. Informe Final de la Exploración Orientativa y Detallada del cuerpo superficial de Magnesita Redención. Provincia de Camaguey. Archivo Técnico Geominera, Camaguey.
- Mikita G; Hrinko V. et a. 1981. Informe Preliminar de la 1<sup>era</sup> sub – etapa de la Explotación complementaria del Cuerpo Principal de magnesita Redención. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Muñoz Gómez, J. N. 1997. "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. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Facultad de Minería y Geología. Moa. Holguín, Cuba.
- Nápoles. M, C. Valle. 1995. Informe Exploración orientativa y detallada de Sedimentos Magnesiales en el flanco Sureste de la Cantera y Sectores del Cuerpo Superficial del yacimiento. Provincia Camaguey. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Pons, H.J. 2000. Obtención de productos refractarios para la fundición a partir de las dunitas serpentizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Moa.
- Pons, H.J. 1999. Caracterización de las dunitas serpentizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores, para su uso como material refractario. Tesis en opción al grado master en Metalurgia extractiva. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva, A. Fiol. 1998. Características generales de las dunitas serpentizadas de la región de Moa. (zona Merceditas). Revista Minería y Geología. No.2. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva. 1997. Aplicación de las dunitas serpentizadas en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología. Moa. Vol. 14. No.1. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva. 1999. Características generales de las dunitas serpentizadas de la región de Moa. (zona Amores y Miraflores). Revista Minería y Geología. Moa.
- Proenza, J.F. 1997. 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.
- Puchol, R.Q. 1999. Estudio termodinámico de las dunitas serpentizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Informe Técnico. Universidad McGill, Montreal. Canadá.
- Rodríguez, G. y otros 2000. Proyecto Exploración Flanco Suroccidental Merceditas. Empresa Cromo Moa. Año 2000.
- Rodríguez E. y otros. 2004. Proyecto de Explotación Amores. Año 2004.
- Salazar, M. A. 1999. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la región Moa-Baracoa. Tesis de maestría. ISMM.
- Salcines, C.M. 1985. Tecnología de fundición. Tomo I. Edit. Pueblo y Educación. Ciudad Habana. Cuba.
- Semionov, Y. L. 1968. "Yacimientos cromíticos de Cuba". Revista Tecnológica. Vol. VI. No. 3 - 4. pp. 17 -30. La Habana.