

POTENCIAL GEOTECNOLÓGICO DE MENAS DOLOMÍTICAS, AGUAS MADRES DE SALINAS Y ESCORIAS DE FERRONÍQUEL PARA SU EMPLEO EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

GEOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF DOLOMITES, WATERS, MOTHERS OF SALINAS AND SCRIBES OF FERRONÍQUEL FOR HIS EMPLOYMENT IN THE NATIONAL INDUSTRY.

José A. Alonso Pérez ⁽¹⁾, Rolando Batista González ⁽²⁾, Miguel Anaya Alfonso ^(†), Anolan Díaz Fernández ⁽³⁾, Alejandra N. Hernández Martínez ⁽³⁾, Yaritza Ramírez Cruz ⁽⁴⁾

Con el objetivo de identificar las potencialidades geotecnológicas de las materias primas minerales, así como los desechos de las producciones geomíneras y salineras del país para la obtención de ecocementos magnesiales SOREL y NOVACEM, que permitan el posterior desarrollo y producción de paneles ligeros para la industria nacional, se evaluaron yacimientos y manifestaciones de dolomita, escorias de ferroníquel y aguas madres del desecho de la producción de sal. Los resultados obtenidos demuestran que las potenciales geológicas de la dolomita en Cuba son buenas desde el punto de vista geológico, principalmente para los macizos rocosos donde afloran las rocas del Grupo Remedios que se localizan al norte de las provincias de Villa Clara y Sancti Spiritus, en la Sierra de Cubitas al norte de Camagüey y en la Sierra Gibara al norte de Holguín, donde se localizan varias manifestaciones con buenas perspectivas. Para la Fm. Güines (fundamentalmente en la región Habana-Matanzas), las perspectivas son más limitadas ya que los afloramientos casi siempre se localizan en lugares con relieve llano donde el manto freático se encuentra muy cercano a la superficie, además la cavernosidad es alta y la dolomitización se considera irregular. Otras áreas o localidades perspectivas para las dolomitas son los afloramientos de la Fm. Guajaibón en Bahía Honda, provincia Artemisa; los mármoles dolomíticos de la Fm. Chafarina en Maisí, provincia Guantánamo y las formaciones marmóreas de la Isla de Juventud. Desde el punto de vista tecnológico, las aguas madres de desecho de la producción de sal constituyen la fuente más barata para la obtención de concentrados de óxido de magnesio, planteándose que para una producción de 350,000 t/año de NaCl se obtendrían 152,250 t/año. Para ello se propone la tecnología del CIPIMM con empleo de NaOH, NH₄OH y/o dolomita como agentes precipitantes del hidróxido de magnesio, utilizando para ello las aguas madres de la salina Bidos, señalándose como aspecto de interés que se evalúen las salmueras del yacimiento "Punta Alegre", dado por el menor volumen de agua a proceso en comparación con el de aguas madres de salinas por el mayor contenido de magnesio en las primeras, lo cual constituye una ventaja a tenerse en cuenta.

Por último, en el caso de las escorias de ferroníquel, se propone la tecnología de lixiviación ácida a presión con ácido carbónico en su variante para el procesamiento de serpentinas, patentada en el CIPIMM por Granda *et al.* (1979), sin embargo la misma debe validarse durante pruebas posteriores. Los concentrados que se logren pudieran emplearse además como neutralizantes de licores ácidos de (Ni + Co) del proceso HPAL en las planta de Moa Nickel S.A "Pedro Soto Moa".

Palabras clave: Dolomita, escorias de ferroníquel, aguas madres de salinas

With the objective of identifying the geotechnological potential of the mineral raw materials, as well as the waste of the geominera and salt production of the country to obtain SOREL and NOVACEM magnesium ecocements, which allow the later development and production of light panels for the national industry, reservoirs and manifestations of dolomite, ferronickel slag and mother liquor from the waste of salt production were evaluated. The results obtained show that the geological potentials of the dolomite in Cuba are good from the geological point of view, mainly for the rocky massifs where the Remedios Group rocks that are located north of the provinces of Villa Clara and Sancti Spiritus the Sierra de Cubitas north of Camagüey and the Sierra Gibara north of Holguín, where several demonstrations with good prospects are located. For the Fm. Güines (mainly in the Havana-Matanzas region), the perspectives are more limited since the outcrops are almost always located in places with flat relief where the water table is very close to the surface, in addition the cavernosity is high and the dolomitization is considered irregular. Other areas or perspectives for the dolomites are the outcrops of the Fm. Guajaibón in Bahía Honda, Artemisa province; the dolomitic marbles of the Fm. Chafarina in Maisí, Guantánamo province and the marble formations of Isla de Juventud. From the technological point of view, waste mother liquor from salt production is the cheapest source for obtaining magnesium oxide concentrates, considering that for a production of 350,000 t / year of NaCl, 152,250 t / year would be obtained. To do this, the CIPIMM

technology is proposed using NaOH, NH₄OH and / or dolomite as precipitating agents of magnesium hydroxide, using the mother liquor of the Bidos saline, indicating as an aspect of interest that the reservoir brines are evaluated " Punta Alegre ", given by the lower volume of water in process compared to that of saline mother waters due to the higher magnesium content in the former, which is an advantage to be taken into account.

Finally, in the case of ferronickel slags, the acid pressure leaching technology with carbonic acid is proposed in its variant for the processing of streamers, patented in the CIPIMM by Granda et al. (1979), however, it must be validated during subsequent tests. The concentrates that could be achieved could also be used as neutralizers of (Ni + Co) acid liquors of the HPAL process in the Moa Nickel S.A plant. "Pedro Soto Moa.

Keywords: Dolomite, dross ferronickel, saline mother waters

Recibido: 29 de abril del 2017

Aprobado en su forma original: 23 de noviembre de 2017

- (1) Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, MINEM; e-mail: josea@igp.minem.cu
- (2) Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, MICONSA; e-mail: rolando@enia.co.cu
- (3) Centro Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIMM, Carretera Varona No.12028, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, CP 10800, nayda@cipimm.minem.cu
- (4) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez". Las Coloradas s/n. Moa, Holguín, Cuba. e-mail: yramirez@ismm.edu.cu

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de magnesio son variadas en función de su origen geológico o natural, concentrándose en las rocas ultrabásicas (dunita, harzburgita), dolomita, magnesita, brucita, carnalita, agua de mar y salmueras entre otras.

En Cuba, tradicionalmente se utilizan materias primas magnesiales en la industria del vidrio, la agricultura, refractarios y fertilizantes, entre ellas se mencionan la dolomita, magnesita y dunita entre otras.

Los minerales de magnesita y dolomita se utilizan para producir magnesio y ladrillos refractarios básicos. También se utiliza en compuestos a prueba de fuego y extintores, cosméticos y dentífricos. Otras aplicaciones son como material de relleno, supresor de humo en plásticos, agente reforzante en goma de neopreno, como agente de secado, laxante y para retener el color en las comidas. Adicionalmente, el carbonato de magnesio de alta pureza se utiliza como antiácido y aditivo para la sal de mesa.

En nuestro país 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 ⁽¹⁾.

Existen usos que en la actualidad demandan del magnesio un mayor protagonismo, ya sea en forma metálica (Mg) o de sus compuestos, entre ellos sobresalen la fabricación de aleaciones ligeras para transportes aéreos, terrestres y marítimos, así como en equipos electrónicos y la formulación de cementos ecológicos con el fin de reducir los consumos de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂) de gran demanda en la industria de materiales para la construcción. Otro campo muy prometedor es la fabricación de acumuladores de energía -baterías- al ser el magnesio más abundante y barato que el litio. Es de destacar que el Mg metálico se valora además como combustible espacial ^(2, 3,4).

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que el magnesio es una materia mineral estratégica para el desarrollo de las nuevas tecnologías constructivas, principalmente como conglomerante o cemento (ecológico, verde o con baja huella de carbono), además de otros usos industriales y, a pesar de que el país cuenta con recursos potenciales de minerales magnesiales se plantea como problema de

investigación a resolver el siguiente: *¿Son capaces dichos recursos de soportar una producción estable para la fabricación de este tipo de ecocementos?*

OBJETIVO GENERAL: Valorar las potencialidades que presenta el territorio cubano para localizar y explotar menas de dolomita y residuales de la producción geominera y salinera.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Delimitar los sectores o depósitos minerales más perspectivas para efectuar trabajos de prospección, exploración y pruebas tecnológicas para dolomita.
- Proponer las tecnologías que se deben aplicar en Cuba para la obtención de concentrados de óxido de magnesio a partir de dolomita, aguas madres de desecho de salinas y escorias de ferroníquel.

Para dar respuesta al problema de investigación se plantea como hipótesis de trabajo la siguiente: "Si se evalúa el potencial del territorio cubano para localizar y explotar menas y residuales de magnesio (dolomita, salmueras de salinas y escorias de ferroníquel), se potenciará de que se realicen investigaciones geotecnológicas que correspondan con vistas a satisfacer el mercado interno y el de la exportación, ganándose con ello en calidad y competitividad".

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dolomita. Generalidades (Martínez Salcedo et al., 1997)

Las dolomitas (dolomías), son rocas en las que el carbonato doble dolomita; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ constituye la fase mayoritaria. Estos depósitos minerales se presentan dentro de los macizos

de rocas calcáreas y van desde las calizas puras hasta distintas variedades de calizas enriquecidas en Mg por procesos metamórficos. Como regla esta mineralización o dolomitización es irregular, formando bolsones, capas o lentes donde los contenidos de Mg varían profusamente. En estos depósitos los fenómenos cársicos se manifiestan en forma de cavernas y grietas muchas veces rellenas de sedimentos arcillosos de color rojo-ocre intenso (Shand,2006).

Por todo el país existen decenas de depósitos de esta materia mineral, siendo el yacimiento "Remedios" el único en explotación -aunque paralizado por más de una década- y concesionado a la Empresa Geominera Centro. El material extraído se utilizaba en la industria del vidrio, agricultura y como refractario entre otros usos.

Características mineragénicas de los yacimientos cubanos (Martínez Salcedo et al., 1994, 1997).

Los principales yacimientos de dolomita en Cuba se asocian a tres zonas estructuro-mineragénicas siguientes:

- Zona-Estructuro-Mineragénica (ZEM) de la Cobertura del Paleógeno Medio al Neógeno Tardío; Sub-zona- Estructuro-Mineragénica (SZEM): Carbonato-arcillosa (Güines).
- ZEM: Margen Continental; SZEM: Metacarbonatada (Chafarina).
- ZEM: Platafórmico; SZEM: Calcáreo-dolomítica (Remedios).

Tales yacimientos y manifestaciones se presentan fundamentalmente en las regiones de desarrollo de facies carbonatadas en la provincia de Matanzas y regiones aledañas a Remedios. Los objetos de dolomitas representan el 0,3% y los de dolomita calcárea el 0.8% del volumen total de las materias primas no-metálicas del país. Por sus

características geológicas y estructurales, los objetos de dolomitas se ubican en la Zona-Estructuro-Formacional (ZEF) Cobertura Paleógeno Medio al Neógeno Tardío en la Fm. Güines, en la ZEF Margen Continental en la Fm. Asunción. Su tipo genético es el sedimentario. Los objetos de dolomitas están asociados a elevaciones en forma de mogotes los que pueden estar aislados o en pequeñas cadenas. El contenido mineragénico de estas rocas es variable pues existen zonas donde predomina la dolomita, pero hacia otras disminuye el contenido de MgO, hallándose distintas variedades de calizas dolomíticas o de dolomita calcárea, lo que indica la irregularidad de la dolomitización. Estas rocas son organógenas, pelitomórficas y órgano-detriticas de textura sacaroidal o masiva con

estratificación gruesa a media y color blanco-gris a crema, duras y aporcelanadas, en ocasiones se pueden hallar intercaladas brechas dolomíticas y calizas dolomíticas. Los cuerpos tienen formas de capas extensas y espesores amplios, pero a menudo están afectados por el carso vacío o relleno por arcillas y por la tectónica la cual ha dejado en la roca innumerables grietas y fallas. Es característico la irregular recristalización lo que influye en las propiedades físico-mecánicas de la roca que por lo general son favorables. Otros tipos son los mármoles dolomíticos intercalados con esquistos. Poca extensión y espesor variable. En la figura 1 se presentan los principales yacimientos y manifestaciones de dolomita descubiertos en el archipiélago cubano.

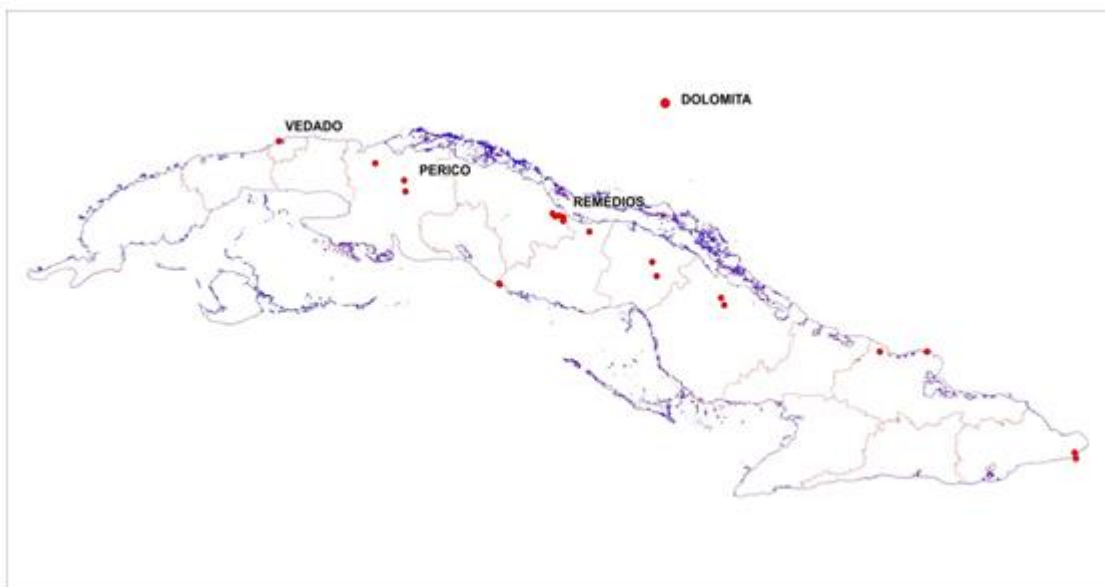


Figura 1. Principales yacimientos y manifestaciones de dolomita conocidos en el país (total 19).

Las dolomitas calcáreas están asociadas no solo a los depósitos de dolomitas sino también a las regiones con morfología llana y colinas de Matanzas. Estas rocas de color crema-amarillento a blanco-amarillento se pueden hallar interstratificadas con calizas dolomíticas y calizas muy puras formando cuerpos extensos de espesores amplios, pero afectados frecuentemente por el carso relleno con arcilla, aunque puede estar vacío y formar oquedades y cavernas de variable tamaño. Estas rocas no tienen grandes complicaciones

tectónicas, pero no todas las rocas del corte de los cuerpos tienen la misma estabilidad debido a que existen calizas blandas entre calizas duras.

Criterios genéticos.

- Por diagénesis marina
- En desembocaduras fluviales con aguas con $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ que reacciona con el MgSO_4 y MgCl_2 del mar.

- Por metamorfismo hidrotermal.
- A partir de arena dolomítica formada por procesos de meteorización de las acumulaciones pre-existentes.
- En relieve las dolomías forman como torretas mientras que las calizas forman terrazas y cornisas.

✓ Principales yacimientos en Cuba.

Yacimiento “Remedios”.

- Zona Estructuro-Formacional: Platafórmico (J₁-K₂)
- Formación Geológica: Calcáreo-dolomítica (complejo carbonatado hasta carbonatado-fragmentario).
- Facies: Calizas cristalinas y dolomitas a dolomitas calcáreas masivas (J₃-K₂^m)
- Tipo genético: Metasomático
- Ubicación geográfica: provincia Villa Clara; coordenadas: X: 649 000 Y: 294 150, hoja topográfica 4283- II.
- Acceso al yacimiento: Bueno a 2,5 km del pueblo Remedios en las inmediaciones de la carretera a Placetas.

Composición geólogo-estructural.

El yacimiento “Remedios” se localiza a unos 3km al sur de la ciudad Remedios, provincia Villa Clara, la materia mineral está conformada por rocas de la Fm. Palenque de edad Cretácico Inferior (Aptiano) al Cretácico Superior (Cenomaniano) del Grupo Remedios, donde predominan las dolomitas de color gris oscuro a gris pardo claro, grano medio, sin fósiles visibles, duras y densas; las calizas son pelitomórficas, organógenas, relícticas, color crema claro, cortadas por venillas de calcita con dolomitización irregular, además aparecen dolomitas calcáreas de color gris

claro. Todas estas rocas están muy agrietadas, estratificadas y carsificadas. En las grietas y oquedades cársicas abundan los sedimentos arcillosos de color rojo-ocre. La dolomitización en superficie es irregular, hacia el interior es más estable.

El cuerpo de dolomitas se formó por una potente falla en las calizas de la Fm. Remedios, las que son producto de una sedimentación en aguas poco profundas en un depósito semi o completamente cerrado.

La dolomitización se originó en una falla potente. Las rocas presentan granulometría media, no observándose fósiles en ellas. Macroscópicamente es posible distinguir 3 generaciones de dolomita:

1. Dolomita gris oscura que por lo general yacen en forma de fragmentos de hasta unos metros.
2. Dolomita gris parda.
3. Dolomita gris parduzca clara (dolomita calcárea)

Es posible que las dolomitas 2 y 3 tengan su origen en una recristalización causada por efecto de presiones locales que acompañaron los plegamientos.

La dolomita tiene su origen en procesos de metasomatismo, la que se certifica en el contacto entre las calizas y las dolomitas donde se observa como estas últimas sobresalen sobre las primeras.

Todo el yacimiento tiene el carso muy desarrollado con bastantes cavernas rellenas por arcillas rojas con fragmentos de rocas. Los factores negativos, cavernas, arcillas, impregnaciones de limonita son muy irregulares.

La materia prima dolomítica del yacimiento “Remedios”, tiene los siguientes parámetros de calidad (tabla 1).

Tabla 1. Composición química de la dolomita del yacimiento “Remedios” (Martínez Salcedo et al., 1994, 1997).

Muestra	% MgO	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% PPI
Remedios	16,9-18,2	0.1-1.0	0.05-0.25	0.04-0.13	33-35	40-47

✓ **Yacimientos de dolomita de la ZEM Cobertura del Paleógeno Medio al Neógeno Tardío (SZEM carbonatado-arcillosa).**

Yacimiento “Vedado”. Se localiza en el reparto Vedado, provincia La Habana, en las excavaciones que se efectúan para el futuro Metro capitalino. La materia mineral está conformada por rocas de la Fm. Güines de edad Mioceno Inferior (parte alta) a Mioceno Superior (parte baja), representadas por dolomitas de color blanco-beige, granulosas, poco densas, porosas y carsificadas, con yacencia horizontal, en enormes extensiones territoriales, aflorando diferentes tipos litológicos los cuales predominan indistintamente en superficie como en el corte; calizas dolomíticas, dolomitas, calcáreas, potencia suficiente para su extracción industrial, condiciones morfológicas muy

limitadas por localizarse en una zona urbanizada.

Yacimiento “Perico”. Se localiza a unos 10km al este de la ciudad Jovellanos, provincia Matanzas, en las rocas de la Fm. Güines de edad Mioceno Inferior (parte alta) a Mioceno Superior (parte baja). Está conformado por calizas dolomíticas de color gris y blanco-amarillo hasta rosadas, duras con frecuencia cavernosas y dolomitas calcáreas color gris crema, duras, algo fracturadas más calizas. En general la dolomitización es muy irregular. Todos los tipos litológicos forman una disposición alternada donde no se distinguen capas o paquetes. La composición petrográfica aproximada es de un 50% de caliza dolomítica, 30% de dolomita y 20% de calizas. En la tabla 2, se presenta la composición química típica de las menas de estos yacimientos.

Tabla 2. Composición química promedio de los yacimientos de dolomitas del yacimiento Vedado y Perico.

Depósito	% MgO	% CaO	% PPI
Vedado	20,36	34,2	45,55
Perico	17,00	33,5	43,80

✓ **Otros objetos geológicos de dolomita conocidos por provincias” (Martínez Salcedo et al., 1994, 1997).**

Región Habana-Matanzas (Fm. Güines)

Manifestación Cabagán. Lo constituyen dolomitas organógenas, de grano fino, textura

brechosa, de color blanco a crema. Forman la segunda terraza costera en la zona al oeste de Trinidad y tienen un espesor visible de unos 8-10m. Es el único lugar donde se han encontrado verdaderas dolomitas. El análisis de varias muestras puntuales arrojó la siguiente composición porcentual: SiO₂ (1.22-

1.85); TiO_2 (0.021-0.033); Al_2O_3 (0.39 - 0.50); Fe_2O_3 (0.22 - 0.29); CaO (29.99); MgO (21.15-21.26); Na_2O (> 0.01); K_2O (> 0.1); SO_3 (> 0.05); P_2O_5 (0.044 - 0.062). No tiene estudio geológico.

Un poco más al Este de la región de Cabagán (Manifestación Cabagán I), se encontraron además dolomitas que van desde las calcáreas hasta las dolomitas organógeno-detriticas, de color amarillento y rojizo, con acentuado diente de perro. Estas rocas se observan en dos terrazas de una altura de 5-6 metros. El análisis químico de algunas muestras puntuales arrojó la siguiente composición: SiO_2 (0.66-1.41%); TiO_2 (0.016 - 0.024%); Al_2O_3 (0.21 - 0.41%); Fe_2O_3 (0.14 - 0.30%); CaO (30.96 - 34.44%); MgO (17.49 - 20.61%); Na_2O (> 0.1%); K_2O (>0.1%); SO_3 (> 0.05); P_2O_5 (0.047 - 0.064%).

Manifestación Cabagán II. Dolomita calcárea, de color gris claro. Tiene el carso desarrollado. El análisis químico de algunas muestras puntuales arrojó la siguiente composición: SiO_2 (0.55-14.26%); TiO_2 (0.125-0.234%); Al_2O_3 (1.82-3.13%); Fe_2O_3 (0.47-0.85); CaO (26.03-34.59%); MgO (13.9-17.54%); Na_2O (> 0.20-0.54%); K_2O (> 0.1%); SO_3 (> 0.5%); P_2O_5 (0.056-0.013%); MnO (0.061-0.096%).

Manifestación Guanavara I. Dolomita calcárea de color gris con intercalaciones de caliza. La composición química de una muestra (en %) es la siguiente: SiO_2 (11.29); TiO_2 (0.107); Al_2O_3 (1.66); Fe_2O_3 (0.56); CaO (27.84); MgO (16.89); Na_2O (> 0.26); K_2O (0.15); SO_3 (> 0.5); P_2O_5 (0.141). No tiene estudio geológico.

Región Central (Fm. Remedios)

Manifestación "Palenque". Caliza intensamente dolomitizada hasta dolomita calcárea, con contenido de MgO desde 16,63 hasta 19,98%. Los recursos son muy pequeños por lo que resultan no-perspectivos.

Manifestación "Seibabo". Caliza intensamente dolomitizada, textura masiva, estructura cristalina idiomórfica. Sin estudio geológico.

Solo se dispone de datos químicos de una muestra puntual.

Manifestación "Seibabo I". Dolomita calcárea con intercalaciones de calizas, textura masiva, grano fino. Sin estudio geológico. Se tienen datos de una muestra puntual.

Manifestación "Mayajigua". Dolomita calcárea, de color gris, poco carso, con intercalaciones de calizas. Al sur del área, hacia la cima de la colina aparecen calizas de textura masiva, estructura cristalina idiomórfica, las cuales forman los estratos superiores del horizonte que aquí aflora. No hay estudios geológicos.

Región Ciego-Camagüey

Manifestación "Loma del Mirador de Limones". Situada a menos de 2km al SE del yacimiento de calizas para áridos "Sierra de Cubitas". La dolomita se vincula a una escama tectónica compuesta por calizas y dolomitas biodetriticas masivas. Se ubica en el declive SE de la loma. Se caracteriza por una franja estrecha de unos 100m y de un largo no determinado, compuesta de rocas dolomitizadas. La misma sigue en el rumbo NW quedándose en la falda del yacimiento "Sierra de Cubitas". La franja de dolomitas fue asegurada mediante algunas perforaciones. La dolomitización, según los análisis químicos realizados oscila en intervalos grandes desde 5 a 19% de MgO .

Manifestación "Navarro". Se sitúa en la llanura del nappe Lombillo por debajo de los 40m SNM, a 2 Km al Norte del pueblo Cubitas. Las dolomitas que afloran son porosas y cristalinas de grano medio, relacionándose a las calizas biógenas y pelitomórficas. Aparentemente se trata de una intercalación de dolomitas dentro de la secuencia de calizas.

Manifestación "SE de la Loma Prieto". En la ladera septentrional de la Sierra de Cubitas, a unos 1,5 Km al SE de la Loma Prieto. La misma se caracteriza por la aparición de cuerpos de dolomita porosa de color gris, dentro de una secuencia de calizas blancas cristalinas de grano fino a medio. La secuencia

está integrada por una escama tectónica. Constituyen dolomitas porosas entre calizas cristalinas las cuales pertenecen a la unidad C del grupo Remedios. Esta unidad es la que mejores propiedades físico-mecánicas presenta. El contenido de MgO es variable de 0-20% y varía irregularmente. El grado de conocimiento no permite evaluar bloques de calizas sin capas dolomíticas pero hay capas de calizas muy puras (CaO 56%).

Un rasgo característico y un problema a su vez en el Grupo Remedios lo constituye la dolomitización irregular con transiciones graduales y a veces con contactos bruscos.

Provincias Orientales.

Punto de mineralización “Cantillo” y “Los Llanos”. En los mármoles de Fm. Chafarina (Maisí, Guantánamo) se ubican ambos puntos. Los mismos fueron desechados como mármoles pero por el contenido dolomítico de los mismos representan objetos interesantes a tener en cuenta. Son dolomitas marmóreas, generalmente puras aunque hacia la serie de esquistos terrígenos se van transformando. Comúnmente tienen superficie cársica irregular con lapiez y arcillas. La variabilidad tectónica y litológica es frecuente, lo que unido a la poca extensión de los cuerpos, el replegamiento

tectónico y los efectos de los agentes del intemperismo le restan perspectivas.

Fm. Gibara (Manifestación “El Jobal”). Son dolomitas de textura sacaroidal color gris con estratificaciones gruesas y espesor promedio de 100m. Esta formación es muy perspectiva para el hallazgo de acumulaciones industriales de dolomita, atendiendo al hecho de que la misma se desarrolla en forma de franja alargada con carácter masivo en la cual no se presentan cambios faciales. Además, su composición litológica es muy favorable ya que está compuesta por dolomitas intercaladas de tamaño y extensión variable. A su vez la Fm. Gibara, presenta dolomitización en las calizas que la componen, cuestión esta que unido a las interstratificaciones de las dolomitas hacen buenos prospectos para el hallazgo de dolomitas y calizas dolomíticas.

Usos tradicionales de la dolomita en Cuba.

En el país se utilizan las dolomitas en las industrias del vidrio, la agricultura, en refractarios y fertilizantes. Para tales usos los índices tecnológicos de clasificación de las menas es el siguiente (tabla 3).

Tabla 3. Índices de clasificación de la materia prima dolomítica en función de sus principales usos en el país (Martínez Salcedo et al., 1994, 1997).

Tipo Tecnológico	% MgO	% Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	% SiO ₂
Tipo I (vidrio)	16,91-18,20	0.06-0.08	0.04-0.05	0.12-0.47
Tipo II (refract.)	16,00 -17,00	0.11-0.21	0.08-0.13	0.85-0.87
Tipo III (agricultura)	15,00	--	--	--

Las potencialidades de la dolomita del yacimiento “Remedios” son buenas, con las limitantes de una dolomitización irregular, abundante carso y presencia de arcillas rojas rellenando grietas y oquedades.

Aguas madres de desecho de la producción de sal

Cuba cuenta con varias salinas en explotación, las cuales utilizan el agua de mar para extraer principalmente el cloruro de sodio (NaCl) -sal común, sal gema, halita, sal de roca-, pero aportan también peloides que se utilizan en medicina terapéutica, bromuros, yoduros,

yeso, cloruros y sulfatos de magnesio (tabla 4)

García (1997).

Tabla 4. Composición química promedio de aniones y cationes contenidos en el agua de mar (en %) (García, 1977).

Aniones		Cationes	
Cloruro (Cl ⁻)	55,29	Sodio (Na ⁺)	30,75
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	7,75	Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,70
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0,41	Calcio (Ca ⁺⁺)	1,18
Bromuro (Br ⁻)	0,19	Potasio (K ⁺)	1,14
Flúor (F ⁻)	0,0037	Estroncio (Sr ⁺⁺)	0,022
Molécula no disociada		Ácido bórico (H ₃ BO ₃)	0,076

Las principales salinas cubanas son: “Bidos”, ubicada al norte de Matanzas; “El Real”, localizada al norte de Camagüey; “Puerto Padre” al norte de Las Tunas y “Caimanera”, al sur de Guantánamo.

Escorias de ferróníquel (Ramírez, 2013).

El uso de las escorias de fundición de ferróníquel que se generarán en la futura planta de Moa para una producción aproximada de 68, 000 t/año, permitirá que se obtengan más de 1 millón de toneladas de escorias ricas en silicatos de magnesio.

Las investigaciones efectuadas a escala piloto en Cuba para caracterizar las escorias del

mineral saprolítico del yacimiento “Moa Occidental”, concesionado para la futura producción de ferróníquel, muestran la siguiente composición química: SiO₂ 35-46%; MgO 34-38%; FeO 6-8%; NiO 0,04-0,2%; CoO 0,01- 0,02%; Cr₂O₃ 0,5-2,0%; Al₂O₃ 3-4%; CaO 2-3%; P 0,1-0,4%; S 0,08-0,1% y C 0,08 - 0,3%.

Los resultados mineralógicos demuestran que la escoria está compuesta principalmente por silicatos de magnesio y hierro (figura 2), presentes generalmente en forma de clinoenstatita (Mg, Fe) SiO₄, minerales del grupo del olivino, fundamentalmente forsterita (Mg₂SiO₄).

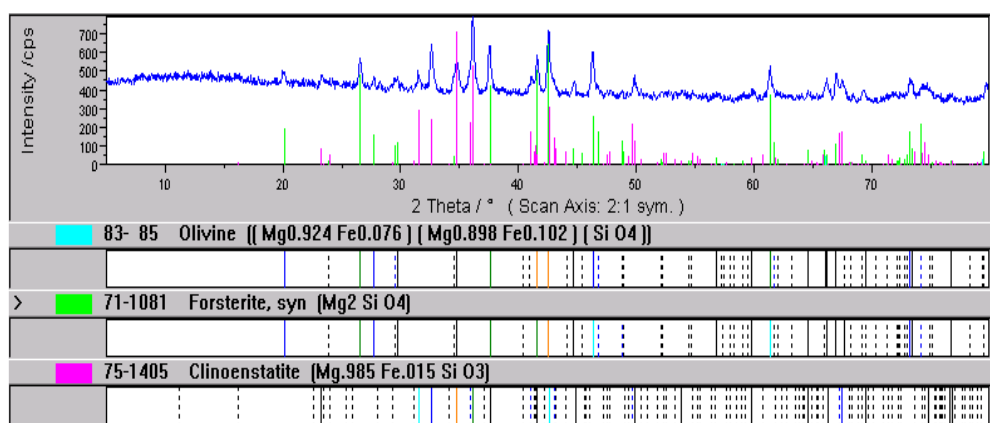


Figura 2. Difractograma de la muestra de escorias de fundición de ferróníquel.

Como fuente de magnesio, dichas escorias pudieran utilizarse en la obtención de concentrados de MgO para su uso en conglomerantes y/o en materiales refractarios

mediante el empleo de las tecnologías de lixiviación ácida a presión con ácido carbónico del CIPIMM, lo que permitirá el aprovechamiento integral de este subproducto

y reduciría el efecto negativo que sobre el ecosistema tendrá su vertimiento. Por otra parte, los contenidos de Cr₂O₃ al cual se asocian elementos y minerales del grupo del platino (EGP y MGP), incrementarían el valor agregado de esta tecnología lo cual posibilita la disminución del Capital Fijo de la Inversión si se decide utilizar dichos residuos ⁽¹⁰⁾.

✓ **Tecnologías desarrolladas en Cuba para la obtención de concentrados de MgO a partir de la dolomita y aguas madres de desecho de la producción de NaCl.**

Aguas madres de desecho de las salinas cubanas (Anaya, 1999, 2000, 2003, 2005) (Bobes, 2000) (Salfrán, 2006).

El CIPIMM valoró en Cuba tres variantes tecnológicas para la obtención de hidróxido de magnesio, para ello se ensayaron tres agentes de precipitación; soluciones de hidróxido de sodio y amonio -de producción nacional- al 50% (v/v) y el mineral dolomítico del yacimiento "Remedios", utilizando para ello

salmueras marinas con densidades de 26,6; 27,0 y 28^oBé que proceden de los cristalizadores de la salina "Bidos". La calcinación del producto se investigó mediante diseños estadísticos de experimentos y optimización.

Los resultados que se obtuvieron demostraron que la coprecipitación del calcio presente en las salmueras es del orden del 60%. Utilizando salmueras de 26,6 ^oBé y fijando el rendimiento en peso del hidróxido de magnesio al 80%, el contenido de calcio en el producto final calcinado (MgO) es menor que lo especificado para productos importados. En cuanto a los contenidos de SiO₂, se obtuvo que en ambos casos su concentración se mantenga en el orden del 0.38 g/L y por tanto es independiente de la densidad de la salmuera.

Se decidió realizar la investigación con las salmueras de 26,6 ^oBé, pues en aquella época eran las únicas disponibles durante la mayor parte del año y permitirían el suministro continuo de la materia prima al proceso productivo. En la tabla 5 se muestra la caracterización química y en la tabla VI la distribución de sales de las salmueras de Bidos.

Tabla 5. Caracterización química de las salmueras de "Bidos"

Densidad ^o Bé	Mg (g/L)	Ca (g/L)	SO ₄ ²⁻ (g/L)	Cl ⁻ (g/L)	Fe (g/L)	Si (g/L)	Al (g/L)
26,6	18,14	0,28	25,47	188,05	0,0036	0,38	< 0,01
27,0	20,56	0,12	28,26	187,50	0,0019	0,39	< 0,01
28,0	31,12	0,07	40,37	195,12	0,0038	0,39	< 0,01

Tabla 6. Distribución de las principales sales en las salmueras estudiadas.

Densidad ^o Bé	MgSO ₄ (g/L)	CaSO ₄ (g/L)	NaCl (g/L)	MgCl ₂ (g/L)
26,6	31,07	0,952	252,9	46,45
27,0	35,05	0,408	244,4	52,78

28,0	50,38	0,238	220,9	82,01
------	-------	-------	-------	-------

Los resultados que se logran durante la precipitación del hidróxido de magnesio se presentan en las tablas 7y 8 respectivamente.

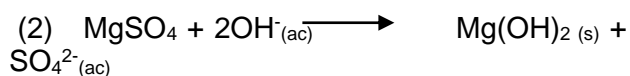
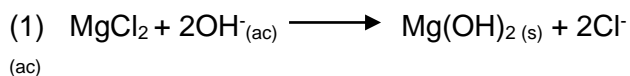
Tabla 7. Resultados de la precipitación con solución al 50% de NaOH.

Consumo (% del esteq.)	Grado de precipitación del magnesio (%)	pH	Velocidad de sedimentación (m/h)	Capacidad de filtración (t/m ² .h)
95	80,6	8,30	0,006	0,035
70	58,5	8,28	0,02	-
45	36,1	8,20	0,05	0,017

Tabla 8. Resultados de la precipitación con solución al 50% de NH₄OH.

Consumo (% del esteq.)	Grado de precipitación del magnesio (%)	pH	Velocidad de sedimentación (m/h)	Capacidad de filtración (t/m ² .h)
95	79,2	9,2	No sedimenta	0,036
70	63,5	8,9	IDEM	0,043
45	45,4	8,5	IDEM	0,032

El hidróxido de magnesio obtenido en ambos casos presenta un contenido de impurezas semejantes. Por lo anterior, se seleccionó la extracción de un 80% del Mg, que conlleva un 95% del consumo estequiométrico para las reacciones siguientes:



La capacidad de filtración como se observa es baja y requiere de filtros al vacío rotatorios de discos o discontinuos a presión. Los resultados en filtración no difieren al utilizar uno u otro agente precipitante, por lo que la decisión final será de tipo económico y de disponibilidad nacional de los reactivos.

La operación de lavado del precipitado requiere de filtración, pues las pulpas no se comprimen durante la sedimentación. Se precisan lavados del precipitado con relaciones 20/1 en 3 a 6 etapas de lavado para disminuir

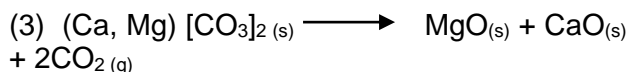
el contenido de cloruro a niveles de 0,2-0,8 % en el producto final. La composición química

del producto obtenido se presenta en la tabla 9.

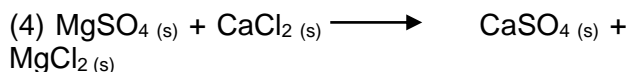
Tabla 9. Composición química del Mg(OH)₂ obtenido con tecnología CIPIMM.

Mg (%)	Cl ⁻ (%)	Ca (%)	SO ₄ ²⁻ (%)	Fe (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	PPI (%)
37-38	0,07	0,39	0,34	0,015	0,011	0,27	34

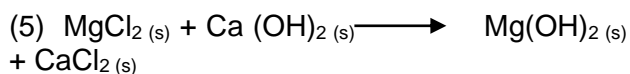
Ahora bien, cuando se emplea dolomita es necesaria la calcinación previa de la misma a una temperatura de 1000°C, donde tiene lugar la reacción siguiente:



Como una parte del Mg en la salmuera se encuentra en forma de sulfato, se precisa de la eliminación de este ión antes de la precipitación del magnesio, lo que se consigue reaccionando con el cloruro de calcio que procede de la reacción:



Posteriormente el óxido de calcio en medio acuoso forma el hidróxido y la reacción con el magnesio presente como cloruro en la salmuera es:



Como resultado de esta tecnología, se obtuvieron precipitados de hidróxido de magnesio con contenidos de Ca que oscilan entre 4 y 9% con relaciones máxicas (Mg/Ca) aproximadamente de 4/1.

Tabla 10. Contenidos químicos y propiedades físicas y químicas del MgO obtenido por la tecnología CIPIMM.

Propiedades y composición química	Valores obtenidos
Actividad química	7 seg

La recuperación del Mg fue del 90% del estequiométrico aportado por la dolomita, con un tiempo de reacción de 10 minutos y pH final de 9.1.

El contenido de Ca en el óxido de magnesio es de 9%. Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.123 m/h y una capacidad de filtración de 439 L/m².h. La calidad del hidróxido y óxido de magnesio obtenido con la dolomita (~70% en peso) es inferior a la que se alcanza con NaOH e NH₄OH (79-80% en peso MgO).

Durante las pruebas de calcinación de Mg(OH)₂ se decidieron como variantes óptimas las siguientes:

- a) Calcinación a T= 480°C, tiempo 60 min.
- b) Calcinación a T > 480°C y < 590°C, tiempo 30-45 min.

La decisión tecnológica final será aquella que permita el menor consumo energético según los cálculos que se realicen durante la etapa de elaboración de la Tarea Técnica si se decide implementar dicha tecnología.

La composición química y propiedades físicas del producto obtenido por la tecnología desarrollada en el CIPIMM son las siguientes (tabla 10).

Área Superficial	106 m ² /g
Densidad sin compactar	0,42 g/cc
Densidad compactado	0,52 g/cc
Tamaño de partícula	95% (325 mesh)
MgO	96,5%
CaO	1,0 %
Cl-	0,12%
Fe ₂ O ₃	0,02%
Al ₂ O ₃	0,02%
SiO ₂	0,35%
SO ₄	0,44%
PPI	2,0-7,5%

Otra variante para la obtención de Mg(OH)₂ es la que se conoce como proceso Steetley, cuyo flujograma se presenta en la figura 3. Las

reacciones químicas que rigen el proceso son las siguientes (Shand, 2006).

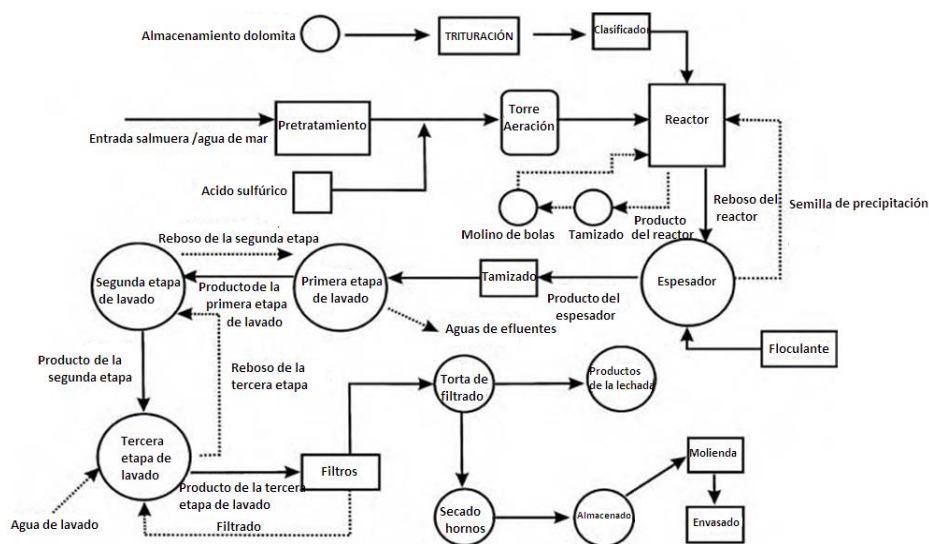
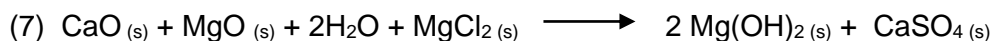
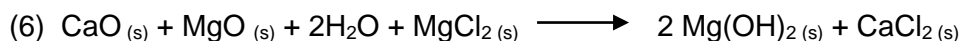
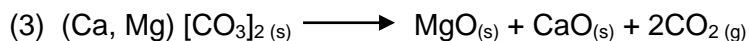


Figura 3. Flujoograma del proceso Steetley de obtención de $Mg(OH)_2$ (Tomado del libro: "The Chemistry and Technology of Magnesia", Shand M.A, 2006).

Cuando se utiliza dolomita se requiere aproximadamente 1.2 kg de mineral para producir 1.0 kg de MgO . Como aspecto de interés se señala que si se empleara salmuera del yacimiento "Punta Alegre" en el proceso, el volumen de agua a proceso debe reducirse en comparación con el de aguas madres de desecho de la producción de sal, y puesto que el contenido de magnesio en las primeras es mayor, pudiera constituir una ventaja a valorarse en posteriores pruebas.

CONCLUSIONES

1. Las potencialidades geológicas de las menas de dolomita se consideran favorables desde el punto de vista geológico, principalmente para los macizos rocosos donde afloran las rocas del Grupo Remedios que se localizan al norte de las provincias de Villa Clara y Sancti Spiritus, en la Sierra de Cubitas al norte de Camagüey y en la Sierra Gibara al norte de Holguín, donde se localizan varias manifestaciones con buenas perspectivas, sin embargo, para la Fm. Güines (fundamentalmente en la región Habana-Matanzas), las perspectivas son más limitadas ya que los afloramientos casi siempre se localizan en lugares con relieve llano donde el manto freático está muy cercano a la superficie, además la cavernosidad es alta y la dolomitización se considera como irregular.
2. Otras áreas o localidades perspectivas para las dolomitas son los afloramientos de la Fm. Guajaibón en Bahía Honda, provincia Artemisa; los mármoles dolomíticos de la Fm. Chafarina en Maisí, provincia Guantánamo y las formaciones marmóreas de la Isla de Juventud.
3. Al igual que para el caso de la magnesita, se disponen además de recursos Indicados de dolomita en el yacimiento "Perico", los cuales pudieran elevarse a la Categoría de Medidos, en caso de que la investigación tecnológica para la obtención de ecocementos arroje resultados positivos según el Estudio de Factibilidad Económica que se realice con tales objetivos. Para ello se prevé la ejecución de un nuevo proyecto geológico de Exploración Complementaria para el período (2025-2030) si las acciones pertinentes de investigación que se ejecuten así lo ameriten.
4. Las aguas madres de desecho de la producción de sal constituyen la fuente más económica para la obtención de concentrados de óxido de magnesio. Para una producción de 350,000 t/año de $NaCl$ se obtendrían 152,250 t/año. Para ello las aguas madres de la salina Bidos y las variantes tecnológicas del CIPIMM con empleo de $NaOH$, NH_4OH y/o dolomita como agentes precipitantes del hidróxido de magnesio son las se proponen. Se señala además que si se emplea salmuera del yacimiento "Punta Alegre" en el proceso, el volumen de agua a proceso debe reducirse en comparación con el de aguas madres de desecho de la producción de sal, dado que el contenido de magnesio en las primeras es mayor, lo cual constituye una ventaja que pudiera valorarse en futuras pruebas.
5. Para el caso de las escorias de ferroníquel, se propone la tecnología de lixiviación ácida a presión con ácido carbónico (variante para serpentinas patentada en el CIPIMM por Granda (1979), sin embargo la misma debe validarse a escalas de banco y planta piloto. Los concentrados obtenidos: carbonato básico de magnesio hidratado y MgO , pudieran emplearse además como

neutralizantes de licores ácidos de (Ni + Co) del proceso HPAL en las plantas de la región de Moa.

RECOMENDACIONES

Elaborar la ficha técnica para un futuro proyecto conjunto (I+D) entre las instituciones

CTDMC e ICIDCA para el periodo (2020-2025), con el objetivo de validar las tecnologías para (dolomita / aguas madres) y escorias de ferróniquel, mediante las tecnologías desarrolladas por el CIPIMM donde se incluyan además los Estudios de Factibilidad Económica que así correspondan.

BIBLIOGRAFÍA

Anaya Alfonso M.A. 1999. Evaluación de las pulpas de hidróxido de magnesio como floculante. Informe Técnico, CIPIMM.

Anaya Alfonso M. A., Valdés A., Díaz Fernández A. 2000. Tecnología de obtención de hidróxido de magnesio. Introducción de Operaciones Tecnológicas. Proyecto 219. Hidróxido de magnesio, CIPIMM.

Anaya Alfonso M.A., Díaz 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, CIPIMM.

Anaya Alfonso M. A., Díaz Fernández A., Sanabria A., Cañizares M. 2005. Estudio reológico de las dispersiones de hidróxido de magnesio como aditivo del petróleo. Informe Técnico, CIPIMM.

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, CIPIMM.

Argiz, C.; Menéndez, E.; Moragues, A.; Sanjuán, M.A. 2012. Análisis de nuevos conglomerantes para su utilización en infraestructuras civiles. Artículo Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 12(2) 245. España.

Batista González R. y otros. 2016. Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba. INFOYAC: Actualización 2016. Base de Datos. IGP

Bobes L., Valdés A., Hernández N. 2000. Óxido e Hidróxido de Magnesio para aditivos del Petróleo. Informe Técnico 429, CIPIMM.

Colectivo de autores. 2016. Balance Nacional de Recursos y Reservas Minerales. Estado al 1/01/2016. ONRM. La Habana. Cuba.

García Merlot, A. 1977. Tecnología de la sal marina. Ministerio de Minería y Geología. La Habana. 247-248p.

Granda O. 1982. Procedimiento hidrometalúrgico para la obtención de MgO a partir de materias primas de magnesita. Certificado de autor de Invención, No. 21037.

Martínez Salcedo J.; Pérez Nevot N.; Ponce Seoane N.; Batista Conzález 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. IGP.

Martínez Salcedo J.; Pantaleón Quintero G.; Coutín Correa D.P.; Pérez Nevot N.; Torres Zafra J. L.; Batista González R.; Rueda López G.; Sosa Sayas D. 1997. Reevaluación de las materias primas no-metálicas para la diversificación de la producción nacional. Informe final. Tema 206. IGP.

Muñoz, I.; Santos Akkari, A.C.; Santos, N.; Tomioka, J.; Santos, R.; Knupp, J.L.; Fukunaga, F.; Macedo, V.; Schiller, M.; Santos, T. 2014. Prospección Tecnológica de Baterías de Magnesio (en portugués).

Observatorio Tecnológico del metal, OTEA. Estado del arte de las aleaciones ligeras y sus aplicaciones 2007. Instituto Tecnológico Metalmecánico. Valencia. España. pág. 15-19.

Pons Herrera J.A.; Leyva Rodríguez C.A; Ramírez Pérez M.C.; Kulachkov L.V.; Salazar Moreno.; González Pontón R.; Alemán Trotman I. s.a. Perspectivas de Cuba en la producción de materiales refractarios básicos; [en línea] <http://www.monografias.com>. [consulta: 1 feb. 2017]

Ramírez-Cruz; Rojas-Purón, A.L.; Pons-Herrera, J.A. 2013. Caracterización físico-química y mineralógica de la escoria de fundición de ferróniquel Moa. Artículo, Revista Minería y Geología V.29 n.4.

Salfrán M., Bourzac E. 2006. Planta de hidróxido de magnesio. Proyecto de Tarea Técnica modificada para la producción de 100 t/año. PROYEST, Grupo GEOMINSAL, MINBAS.

Shand M.A. 2006. The chemistry and technology of
magnesia. A John Wiley & Sons, Inc.
Publication