

IMPORTANCIA DE LA SERPENTINA COMO MINERAL INDUSTRIAL

Simón E Rodríguez M.

Caracas, 2001

	CONTENIDO	Pág.
RESUMEN		39
1. INTRODUCCIÓN		40
2. ORIGEN DE LA SERPENTINA		40
3. USOS DE LA SERPENTINA		42
3.1. Sector de los agregados		42
3.2. Sector de los fertilizantes		43
3.3 Sector de la Ornamentación		44
4. PRODUCCIÓN DE MAGNESIO METÁLICO		45
5. CONCLUSIONES		45
6. BIBLIOGRAFÍA		46

RESUMEN

La serpentina, con una formula química $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{SiO}_5(\text{OH})_4$, constituye en la actualidad un importantísimo mineral industrial; Caracterizada esencialmente como masas lenticulares en áreas muy tectonizadas, la serpentina es utilizada en la actualidad como materia prima básica en los sectores de agregados, rocas ornamentales, gránulos decorativos, fertilizantes y producción de magnesio metálico.

Debido a sus parámetros mineralógicos y físicos, la serpentina es utilizada ampliamente por el sector de los agregados, especialmente como balastro de asiento en vías férreas, tanto regionales como urbanas. Por otro lado tiene un uso importante como carga asfáltica en el sector de la construcción. En este sentido Venezuela ocupa uno de los principales lugares en América Latina como productor de serpentina para el sector de los agregados. Se estima que Venezuela produjo durante 1999 unas cien mil toneladas métricas de serpentina, procedente esencialmente del estado Carabobo, región central.

El intenso color verde y la compleja textura interna de la serpentina da base para la utilización como una de las rocas ornamentales más especiales y costosas. La serpentina pulida constituye el famoso VERDE ANTIGUO, una variedad ornamental, la cual es producida en pocos países, entre ellos USA., Guatemala, Italia, Grecia y China. Debido a que la mayoría de los grandes cuerpos de serpentina se localizan en áreas muy tectonizadas, como el caso de Venezuela es muy difícil la producción de bloques ornamentales libres de microfacciones, es por esta razón por lo cual se debe el alto valor del VERDE ANTIGUO como roca ornamental.

El sector de los gránulos decorativos, un material triturado ornamental a diversas granulometrías, consume un importante volumen de serpentina debido esencialmente a su dureza y a su llamativo color verde. Los gránulos son utilizados extensamente en la preparación de pisos, cubiertas exteriores y manufactura de baldosas rústicas. En Venezuela el sector de la producción de gránulos decorativos se encuentra en las ciudades de Villa de Cura y Cagua, Aragua Central.

Debido a su alto contenido de MgO , sobre 40%, la serpentina constituye un excelente fertilizante magnesiano de disolución lenta. El magnesio conforma un elemento básico para las plantas ya que constituye parte integral de la clorofila. En la actualidad, la región central del país esta utilizando la serpentina molida como fertilizante natural.

En la provincia de Québec, Canadá, en la actualidad se produce magnesio metálico a partir de la serpentina desechara, producto de la extracción de asbestos. El Magnesio es recuperado de la serpentinita a través de complejos procesos de disolución química y electrólisis. El proceso de obtención de magnesio metálico, a una tasa anual superior a los 200.000 toneladas métricas, hace del Canadá uno de los principales productores mundiales del metal.

1. INTRODUCCIÓN

La serpentina, un mineral que hasta recientemente no poseía relevancia económica alguna, en estos momentos tiene una enorme importancia como materia prima para sectores como la construcción, ornamentación, fertilizantes y metalurgia.

Debido a sus parámetros físicos, químicos y mineralógicos, la serpentina puede ser utilizada comercialmente a gran escala. Afortunadamente, la serpentina constituye en la actualidad una de las rocas más comunes en las cordilleras, lo cual avala su utilización en gran escala y bajo costos. Por lo regular, las zonas cordilleranas que presentan grandes masas de serpentina, tales como la Cordillera de la Costa venezolana, Taiwán, norte de Grecia, Québec, Canadá y la región de Vermont, USA; conforman áreas con alta densidad poblacional, excelentes vías de comunicación y zonas industriales de gran importancia. Todo ello significa que los cuerpos de serpentinas, dependiendo de sus parámetros mineralógicos, estructurales y morfológicos, pueden ser explotados económicamente por diversos sectores, algunos de ellos de enorme importancia comercial.

Algunos sectores, tales como los agregados y las rocas ornamentales, requieren serpentinitas con ciertos parámetros especiales. La serpentinita utilizada por los agregados de todo tipo debe presentar menos de 3% de asbestos, un mineral altamente contaminante, y no presentar fajas metasomáticas de contacto, enriquecidas en minerales aciculares sumamente problemáticos, tales como tremolita o actinolita. Estas fajas no deben estar afectadas por ningún tipo de extracción minera.

La serpentina utilizada como roca ornamental de gran valor económico, como lo es la variedad VERDE ANTIGUO, debe ser sumamente homogénea, libre de vetillas de asbestos y libre de cualquier tipo de microfractura o fallamiento. Rocas sumamente fracturadas, como las ubicadas en la Cordillera de la Costa venezolana, no pueden ser utilizadas como roca ornamental de gran valor. Contrariamente, el sector de los gránulos decorativos, solo requiere de una serpentina coherente, no importa el grado de fracturamiento o cizallamiento.

Debido a que los sectores de los fertilizantes y metalurgia, basan su utilización en el alto contenido de MgO en la roca, la serpentina requerida no guarda parámetros especiales, salvo la presencia de altos volúmenes comerciales y buena ubicación geográfica.

Afortunadamente para Venezuela, los mayores y más abundantes depósitos de serpentina se ubican a lo largo de los estados Aragua, Cojedes, Carabobo y Miranda, muy

cerca del sistema central de autopistas y de excelentes vías pavimentadas. Por otro lado, los yacimientos se ubican cerca de grandes centros urbanos, tales como Valencia, Maracay, La Victoria y Villa de Cura-Cagua. Estos centros urbanos requieren de una enorme volumen de agregados, así como de material decorativo. Debido a factores ambientales y geográficos, muchos de los grandes depósitos de calizas del centro del país, la cual es, la principal roca utilizada por el sector de los agregados, no pueden ser explotados comercialmente. Muchos de estos depósitos o se localizan en Áreas Bajo Régimen Ambiental especial (ABRAES), o muy cerca de zonas urbanas o carreteras, lo cual impide su extracción a cielo abierto. Esto ha significado que la mayoría de los grandes cuerpos de serpentina, ubicados en los estados Aragua, Carabobo y Cojedes, se encuentran bajo explotación minera, produciendo un importante volumen de materia prima para los sectores de los áridos naturales, vías de comunicación, gránulos decorativos y fertilizantes, de allí la gran importancia que tiene el uso de la serpentina para el país.(Fig. 1).

2. ORIGEN DE LA SERPENTINA

Los minerales serpentínicos usualmente se derivan de rocas ultrabásicas. Los procesos por los cuales la serpentinitización toma lugar en rocas como las dunitas, piroxenitas y peridotitas, han sido sujeto a mucha investigación (Deer et al, 1976). Estudios experimentales realizados sobre el sistema MgO-SiO₂-H₂O, han indicado que las serpentinas no pueden ser formadas a temperaturas superiores a los 500°C.

No hay duda que los minerales serpentínicos han sido formados a partir del olivino y el piroxeno (enstatita) a través del procesos de transición desde peridotitas hasta serpentinas. En Venezuela, Tinaquillo, estado Cojedes, muchas serpentinas pueden notarse que en el cuerpo ultrabásico existe un alto porcentaje de granos reliquias de olivino y piroxeno en la matriz de la roca.(Turner y Venhogen, 1951).

Muchas intrusiones ultrabásicas consisten parcialmente de peridotitas y parcialmente de serpentinas, y en ningún caso la distribución de las serpentinas se relaciona con procesos de meteorización. Tal y como subraya Hoss(1933) "la serpentinitización en la mayoría de los casos se distribuye a lo largo de todo el cuerpo ultrabásico". Estudios ejecutados todos en Venezuela, han indicado que la serpentinitización se incrementa hacia el exterior desde el núcleo de los complejos (MacKenzie, 1960).

El proceso de serpentinitización en complejos ultrabásicos viene acompañado de soluciones acuosas

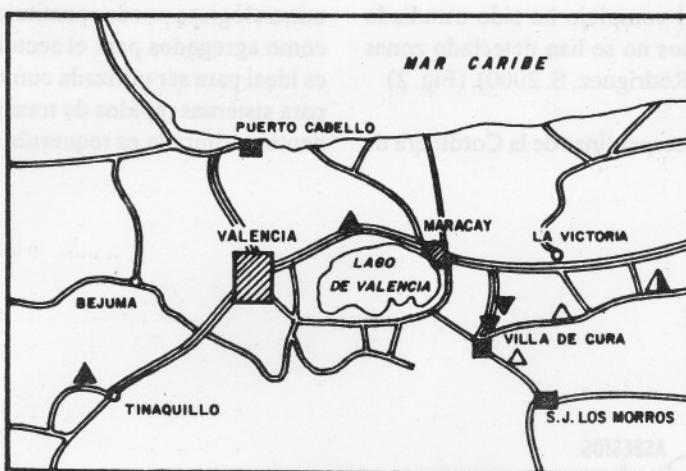
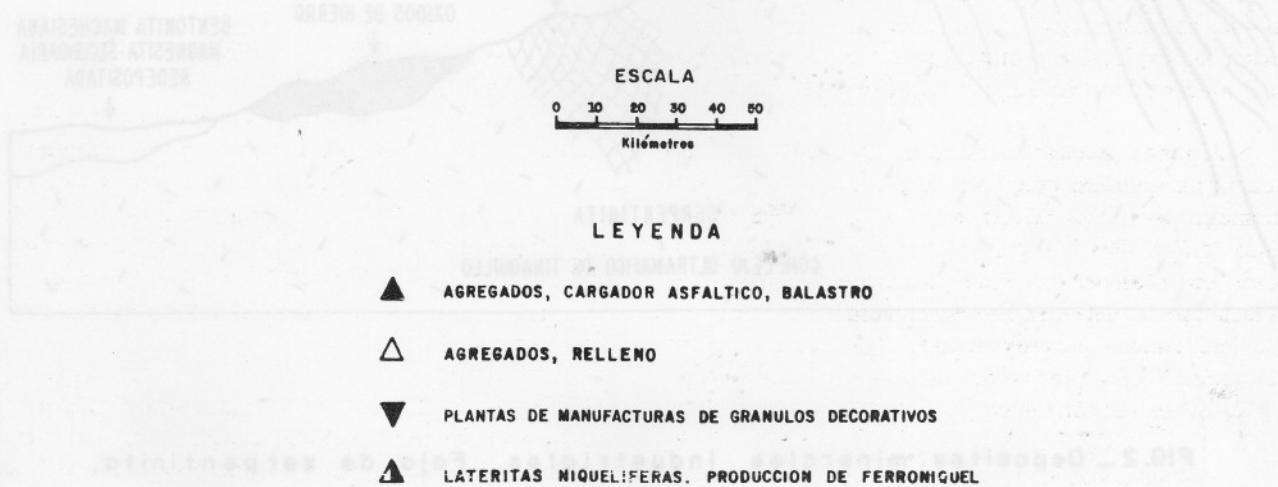


FIG.1.— Usos Convencionales. Depósitos de serpentinitas. Región Central.



magmáticas tardías actuando sobre la roca aún caliente. Este proceso se aplica también a cuerpos de serpentinas tipo alpino, tan importante en la Cordillera de la Costa venezolana.

El trabajo experimental realizado por Bowen y Tuttle (1949) soporta esta tesis general. Se ha demostrado que un material fundido enriquecido en olivino magnesiano y agua, enfriado a unos 1.000°C, podría suministrar una masa de cristales de olivino con vapor de agua ocupando los espacios intergranulares. Esta masa debería enfriarse sin cambio químico a los 400°C, cuando la serpentina y la brucita deberían comenzar a reemplazar al olivino mientras exista agua remanente. La serpentina puede formarse a temperaturas tan altas como 500°C, bien por la acción de agua pura sobre una mezcla de olivino-enstatita o del olivino solo si la solución es rica en CO₂, y así poder remover el MgO del sistema.

Se ha podido reconocer muy bien que el proceso de serpentinizaciòn puede ser debido a una introducción extraña de agua magmática, derivada, por ejemplo, de rocas graníticas intrusivas. Y este proceso de serpentinizaciòn puede incrementarse notablemente debido a la presencia de estructuras regionales responsables de un intenso fracturamiento. En Venezuela, esto es evidente en el caso del Complejo ultrabásico de Tinaquillo.

En Venezuela Septentrional, El Complejo de Tinaquillo conforma una muy importante masa de peridotita tipo alpino. Las rocas ultrabásicas están en contacto de falla con secuencias de la Formación Las Brisas y del Complejo de El Tinaco. El Complejo de Tinaquillo, donde la serpentina constituye más del 60% de la litología general, posee una gran importancia económica debido a los yacimientos de asbestos, magnesita, bentonita magnesiana y óxidos de hierro

que presenta. Aún cuando el complejo ha sido estudiado en detalle, hasta los momentos no se han detectado zonas metasomáticas de contacto. (Rodríguez, S. 2000). (Fig. 2)

Contrariamente, otras serpentinas de la Cordillera de

mineralógicas puede constituir una excelente materia prima como agregados para el sector de la construcción. La roca es ideal para ser utilizada como balastro en la base de rieles para sistemas rápidos de transporte. En este sentido, la serpentina triturada es requerida como balastro exclusivo por

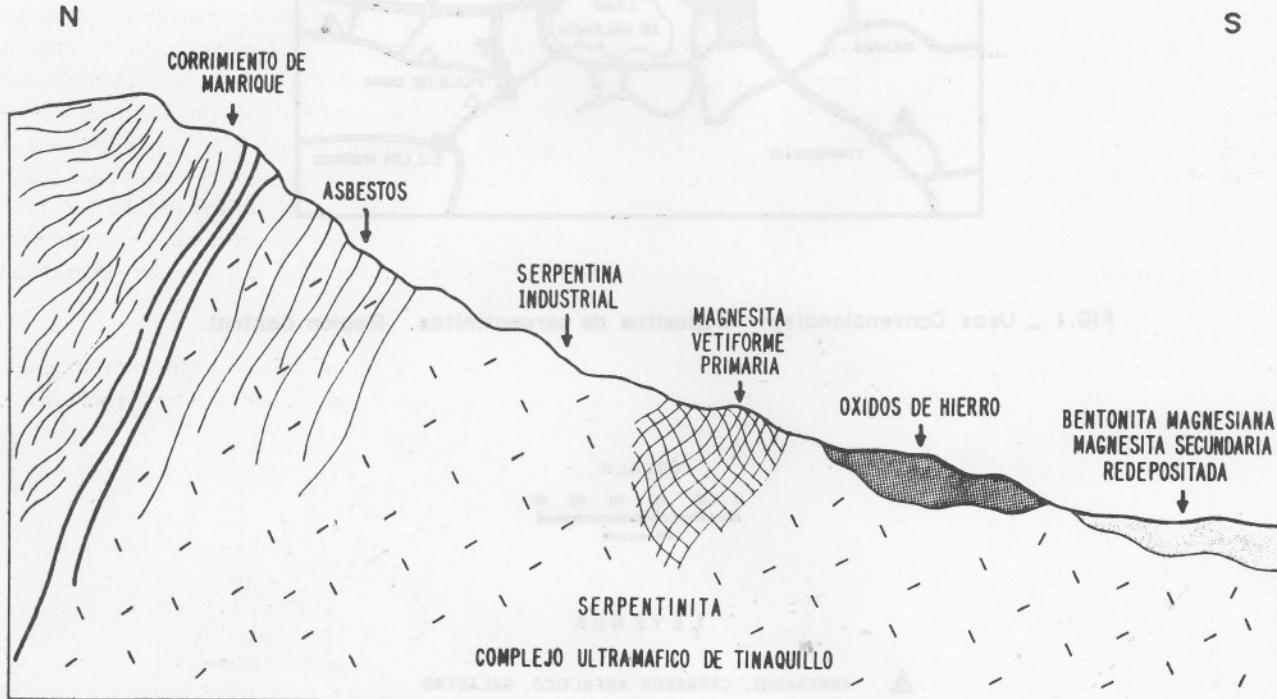


FIG. 2.. Depositos minerales industriales. Faja de serpentinita.

Complejo de Tinaquillo. Estado Cojedes.

la Costa, tales como aquellas ubicadas en la zona de Cabimba, estado Yaracuy y San Joaquín, estado Carabobo, presentan importantes zonas de contacto tipificando un importante metasomatismo magnesiano. Usualmente estas zonas de contacto presentan un gran enriquecimiento en tremolita y talco, lo cual significa que toda extracción minera debe ser cuidadosamente planificada de manera de no explotar minerales aciculares.

3. USOS DE LA SERPENTINA

3.1. Sector de los Agregados

La serpentina, debido a sus características

el Metro Caracas y eventualmente será el material utilizado con idénticos fines por el Metro de Valencia.

En áreas cercanas a Valencia y Maracay, la serpentina sustituye en muchos mercados del centro del país a la caliza, debido al agotamiento de esta roca. Ésta roca, está asociada con las formaciones Las Brisas y Las Mercedes. Referente a los depósitos de calizas, ubicados en las áreas de San Blas y Naguanagua y zona metropolitana de Valencia, presentan características de excelente calidad y por lo tanto no pueden ser afectadas por extracciones mineras.

Actualmente, una gran producción de serpentina, sobre 100.000 toneladas métricas anuales, es extraída a cielo

abierto en la zona de San Joaquín, estado Carabobo. La roca es utilizada por los sectores de los agregados, balastro y componentes asfálticos de la región central. La explotación se realiza a través de cinco bancos horizontales. Constituye en la actualidad uno de los mayores centros de extracción de serpentina de América Latina.

Debido a la presencia de una gruesa zona metasomática de contacto, asociada al cuerpo de serpentina de San Joaquín, rica en silicatos magnesianos tales como tremolita, actinolita y anfibolitas asbestiformes, todos ellos materiales potencialmente cancerígenos, la extracción minera se concentra en el núcleo no afectado por procesos metasomáticos de contacto de la serpentina. (Rodríguez, 1997) (Fig. 3).

Serpentininas presentando más de 5% de asbestos, como sucede en varias áreas del Complejo de Tinaquillo, estado Cojedes, no pueden ser utilizadas por ningún motivo como materia prima para los sectores de los agregados.

ubicados en áreas muy tectonizadas, tales como los localizados en las zonas de San Pedro de Los Altos, estado Miranda; Laya y Tamanaco, estado Cojedes; Tierra Negra, estado Yaracuy, los cuales no presentan fajas metasomáticas magnesianas de contacto, han sido explotados casi totalmente hasta agotamiento de reservas, con miras a su utilización comercial.

Cuando cuerpos mayores de serpentinas presentan un íntimo fracturamiento y cizallamiento, lo cual ha incrementado notablemente el perfil de meteorización, tal y como sucede con la masa serpentínica de Macuaya, Villa de Cura, (uno de los mayores de la Cordillera de la Costa) la roca es utilizada como material base en desarrollos viales, urbanísticos e industriales. Estudios detallados sobre mineralogía de la roca deben ser ejecutados con anterioridad a su utilización, de manera de conocer muy bien el contenido de minerales asbestiformes.

Afortunadamente, todos los cuerpos económicos se serpentina se localizan en la zona norcentral del país, el área

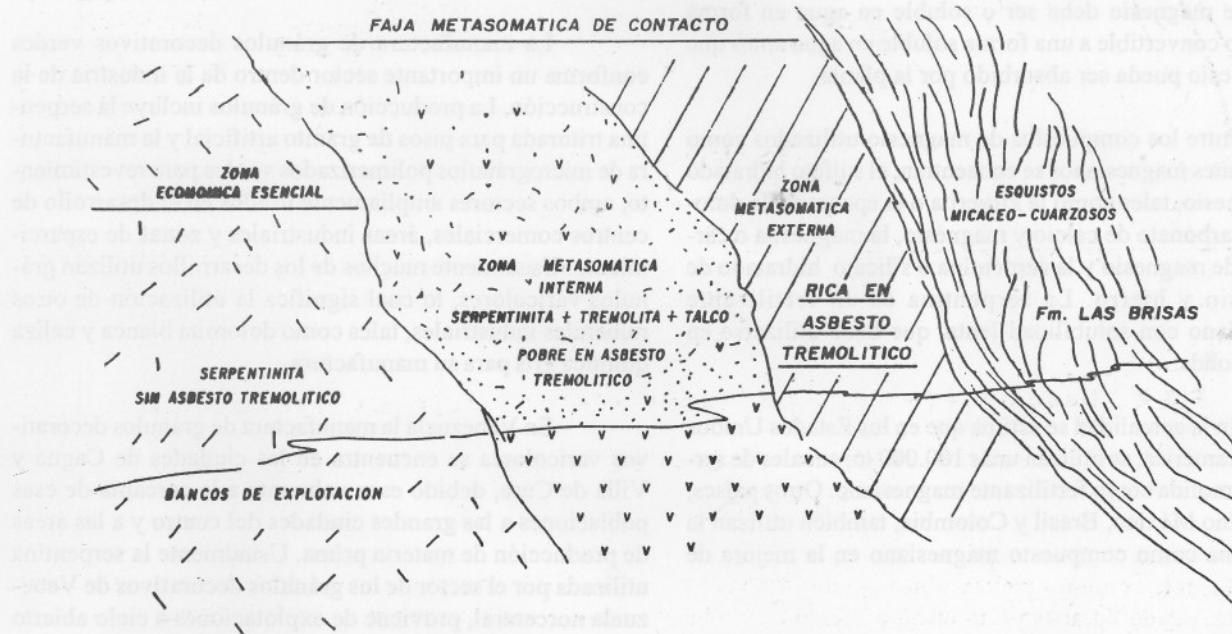


FIG.3... Ubicación detallada zona con Asbesto Tremolítico. Hacienda Cura. Carabobo central.

Todo ello significa, que los volúmenes acumulados actuales de serpentina, triturada, procedentes de las extracciones mineras para asbestos de las áreas de La Montaña y El Tigre, no deben ser utilizadas para la producción de áridos naturales.

Otros cuerpos de serpentina intrusionados en frío y

con mayores requerimientos de agregados, y la región que presenta mayores problemas relacionados con la utilización de yacimientos comerciales de calizas.

3.2. Sector de los Fertilizantes

En la actualidad un gran volumen de serpentina es

utilizado en diversos países del mundo como fertilizante con miras a proveer el magnesio requerido por las plantas. El magnesio, al igual que el calcio, es requerido tanto como nutriente de las plantas, como componente del suelo. El porcentaje intercambiable o el nivel disponible de magnesio en suelos es usualmente una décima del porcentaje del calcio. El uso de caliza con alto porcentaje de calcio y la tendencia natural de muchos suelos en ser bajo en magnesio ha estimulado la práctica de incluir compuestos de magnesio soluble en los fertilizantes, especialmente en muchas zonas tropicales. El uso de materiales de magnesio soluble ha incrementado la eficiencia en producción de cosechas de los mayores nutrientes (Bryant, 1975).

El magnesio es absorbido por las plantas como ion Mg⁺. Su papel dentro de la planta es de gran significancia, ya que es el único constituyente mineral de la molécula clorofila. También es muy importante en el metabolismo del fósforo. Los componentes de magnesio se añaden, bien a los fertilizantes o se aplican directamente al suelo. Estos componentes pueden ser clasificados, bien por su naturaleza química o por el grado de solubilidad en agua. El componente de magnesio debe ser o soluble en agua en forma directa o convertible a una forma soluble en agua antes que el magnesio pueda ser absorbido por la planta.

Entre los compuestos de magnesio utilizados como fertilizantes magnesianos se encuentran, el sulfato hidratado de magnesio, tales como la kieserita o la epsomita, la dolomita o carbonato de calcio y magnesio, la magnesita o carbonato de magnesio y la serpentina o silicato hidratado de magnesio y hierro. La serpentina es un fertilizante magnesiano con solubilidad lenta, que debe utilizarse en forma molida.

En la actualidad se estima que en los Estados Unidos de Norteamérica, se utilizan unas 100.000 tm anuales de serpentina molida como fertilizante magnesiano. Otros países, tales como México, Brasil y Colombia, también utilizan la serpentina como compuesto magnesiano en la mejora de suelos.

Debido al bajo precio de la serpentina, en comparación con la dolomita o magnesita (productos de solubilidad lenta) estos minerales están siendo sustituidos lentamente como fertilizantes magnesianos en países de América Latina y Asia. En Venezuela, el uso de la serpentina como mineral fertilizante magnesiano comenzó a tener importancia a partir de 1990, cuando la producción de la roca en la región central se hizo relevante. En la actualidad un importante volumen de serpentina molida, producida esencialmente en la zona central de Carabobo, es utilizada como fertilizante magnesiano de solubilidad lenta en áreas con cultivos de cítricos, localizadas a lo largo de la zona de Bejuma -Miranda-

Nirgua. Este mineral sustituye en parte a la dolomita, un mineral extraído del norte de Carabobo y Yaracuy meridional, el cual presenta un precio mayor, aún cuando su solubilidad en agua también es lenta.

Aún cuando en Venezuela norcentral, específicamente en la zona de Tamanaco-Cerrito Blanco, estado Cojedes, han sido delimitados y caracterizados importantes depósitos de magnesita vetiforme primaria asociados con el Complejo ultrabásico de Tinaquillo, hasta los momentos ese material no ha sido utilizado como fertilizante magnesiano. La magnesita es utilizada en muchos países como aditivo magnesiano a los suelos pobres en nutrientes.

3.3. Sector de la Ornamentación

Dos áreas en el sector de la ornamentación utilizan la serpentina como materia prima básica. Estas áreas son, la manufactura de gránulos decorativos y la producción de famoso Verde Antiguo, una de las rocas ornamentales pulidas más apreciadas debido a la variación de tonalidades que presenta.

La manufactura de gránulos decorativos verdes conforma un importante sector dentro de la industria de la construcción. La producción de gránulos incluye la serpentina triturada para pisos de granito artificial y la manufactura de microgránulos polimerizados verdes para revestimiento, ambos sectores ampliamente usados en el desarrollo de centros comerciales, áreas industriales y zonas de esparcimiento. Usualmente muchos de los desarrollos utilizan gránulos varicolores, lo cual significa la utilización de otros minerales industriales, tales como dolomita blanca y caliza química gris para su manufactura.

En Venezuela la manufactura de gránulos decorativos varicolores se encuentra en las ciudades de Cagua y Villa de Cura, debido esencialmente a la cercanía de esas poblaciones a las grandes ciudades del centro y a las áreas de producción de materia prima. Usualmente la serpentina utilizada por el sector de los gránulos decorativos de Venezuela norcentral, proviene de explotaciones a cielo abierto sobre cuerpos alóctonos de rocas ultrabásicas ubicadas en las áreas de Macuaya y Tucutunemo, estado Aragua y San Joaquín, estado Carabobo. Para ser utilizada como materia prima para la industria de los gránulos decorativos, la serpentina debe ser sumamente fresca y coherente. Las serpentinas meteorizadas producen gránulos de muy baja calidad, los cuales se desprenden fácilmente luego de colocados.

Otro uso de la serpentina en el sector de la decoración descansa en la producción de famoso Verde Antiguo, una de las rocas ornamentales pulidas más apreciadas, con

un enorme mercado y la cual posee altos precios internacionalmente. El Verde Antiguo, o serpentina oscura pulida, se encuentra conjuntamente con el Absolute Black, el Giallo Veneziano, el Blue Pearl, el Azul Bahía y los Galaxies Hindúes, entre los materiales ornamentales pulidos más requeridos por los mercados internacionales, especialmente por los mercados italianos, franceses, alemanes y estadounidenses.

Lo extraen y producen pocos países entre los cuales se encuentran Estados Unidos de América, Guatemala, China, Taiwán y Grecia. El Verde Antiguo griego, conocido en los mercados internacionales como Tinos Green es uno de los más apreciados (Stone World, 1998).

Desafortunadamente, las serpentinas sumamente fracturadas y cizalladas, características de las cordilleras tipo alpino, tales como la Cordillera de la Costa de Venezuela, no pueden ser utilizadas en la producción de bloques ornamentales. Por otro lado, la mayoría de los grandes cuerpos de serpentina de Venezuela norcentral, actualmente la casi totalidad de ellos bajo explotación, han sido afectados por microfracturamientos, consecuencia directa del uso de explosivos. Todos los intentos hechos por el sector privado venezolano de las rocas ornamentales por producir bloques de color Verde Antiguo en nuestro país han sido infructuosos.

4. PRODUCCIÓN DE MAGNESIO METÁLICO

La compañía canadiense Noranda Inc., una muy importante empresa minera, comenzó en 1996 investigaciones muy serias con miras a la producción de magnesio metálico a partir de la serpentina. En vista del alto porcentaje de magnesio, 24%, que posee la serpentina, y en vista del inmenso volumen de serpentina molida existente en la región oriental de la provincia de Québec.

Inicialmente el proceso para obtención de magnesio metálico a partir de la serpentina, conocido en Canadá como Proceso Magnolia, fue inicialmente concebido en el Centro Tecnológico de Noranda en 1986, y desde entonces el proceso ha sido excelentemente mejorado. Eventualmente la finalidad del proceso era producir magnesio metálico a partir de la serpentina, un silicato hidratado de hierro y magnesio con un porcentaje de MgO de 43-44%, capaz de competir en precio con el magnesio metálico obtenido a partir del agua de mar y salmueras fósiles.

Lo primero fue ubicar volúmenes de serpentina ya tratada donde los aspectos relacionados con extracción minera y trituración fueran obviados. Posteriormente estos

volumenes fueron caracterizados en la zona asbestífera de Québec, Canadá, ubicada entre Asbestos y Tring Junction. Esta zona conforma en la actualidad una de las principales áreas productoras de asbestos en el mundo, la cual ha significado la acumulación de serpentina molida, en los últimos 5 años, de unos ochenta millones de toneladas métricas. Debido a problemas ambientales, y debido a factores económicos de mantenimiento, todas las empresas mineras envueltas en la extracción de asbestos de la región, así como el Gobierno Regional de Québec, vieron de manera muy positiva la utilización económica de estos residuos, altamente contaminantes.

El proceso de obtención de magnesio metálico, el cual involucra disolución de la serpentina y procesos electrolíticos posteriores, comenzó a cristalizar en 1996, con la instalación y puesta en marcha de una planta piloto de 200 toneladas métricas por año. Entre 1996 y 1998, la planta implementó los procesos de producción, mejorando los aspectos relacionados con el diseño de ingeniería, aspectos químicos y reducción de costos.

El proceso de producción comienza con la disolución de la serpentina, conteniendo un promedio de 24% de magnesia por peso, utilizando ácido clorhídrico concentrado. Posteriormente se ejecutan filtraciones continuas para producir un residuo de hierro y silice, y una salmuera de MgCl₂. Esta salmuera es purificada antes de ser enviada a una cámara fluidizada de secado de manera de producir un concentrado de cloruro de magnesio y agua. El producto es enviado posteriormente a un super-clorinador donde es completamente deshidratado. El MgCl₂ anhídrido alimenta a células ALCAN Multipolares para producir un magnesio metálico con una pureza de 99.99%, por métodos electrolíticos. El cloro de las células es utilizado para generar HCl, el cual es reciclado para la disolución de la serpentina en la planta actual (Ficara, et al, 1978).

En la actualidad, ya se encuentra en plena producción la planta de Magnolia Co, en Canadá, la cual posee una capacidad instalada, en este momento, de 58.500 tm anuales de magnesia metálico. Es bueno indicar que el costo de producción de magnesio metálico a partir de la serpentina es mucho menor que el producido a partir de agua marina y salmueras magnesianas.

5. CONCLUSIONES

La serpentina, un silicato hidratado de hierro y magnesio, constituye un importantísimo mineral industrial, materia prima de sectores tales como agregados, fertilizantes, gránulos, roca ornamental y producción de magnesio metálico. Igualmente, es utilizada en estado fresco, como excelente fuente para la producción de agregados, especial-

mente en el sector del balastro, y como carga asfáltica. En la actualidad Venezuela es líder en América Latina en estos sectores de producción.

El sector de los gránulos decorativos, un campo muy desarrollado en Venezuela norcentral, utiliza la serpentina como una de sus principales materias primas. La serpentina cortada y pulida sin presentar microfracturas, constituye el famoso Verde Antiguo, una de las rocas ornamentales más apreciada a nivel internacional, y la cual se cotiza a precios muy altos por metro cúbico. Asimismo, la serpentina molida conforma un importante fertilizante magnesiano de disolución lenta, material que comienza a ser utilizado en nuestro país como suplidor de magnesio en cultivos de cítricos.

A partir del año 1999 la serpentina se ha convertido, específicamente en Canadá, en la materia prima para la producción de magnesio metálico, a través de procesos complejos de disolución y electrólisis. La producción de magnesio por estos procesos es uno de los menos costosos a nivel internacional.

6. BIBLIOGRAFÍA

BELLIZZIA, A. y RODRIGUEZ, D. Geología del estado Yaracuy. Cong. Geol. Venez., 4. Caracas, 1969. Bol. Geol. Pub. Esp. 5. MMH. Caracas, 6:3317-3417, 1976.

BOWEN, A y TUTTLE, O. The System MgO SiO₂ H₂O Bull. Geol. Soc. Amer. 60:439, USA, 1949.

BRYANT, J. Fertilizer Minerals in Industrial an Rocks. The

American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. Stanley J. Laford. pp. 225-235, 1975.

DEER, W.; HOWIE, L. y ZUSSMAN, J. Rocks Forming Minerls. Sheets Silicates. London , Logman Publishers. 3:270, 1976.

PICARA, P.; CHUM, E.; WALKER, T.; LARUCHE, P.; PALUMBO, E.; CELEK, C. y AVEDESIAM, M. Magnola: A Novel Comercial Process for the Primary Production of Magnesium. Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 91(1019):75-80, 1978.

MACKENZIE, D. La Peridotita de Tinaquillo. Cong. Geol. Venez., 3. Caracas, 1959. Bol. Geol. Pub. Esp. 3. MMH. Caracas, 2:761-826, 1961.

RODRIGUEZ, S. Minerales metasomáticos Magnesianos Asociados con Serpentinas Intrusivas, San Joa quín, Carabobo. Cong. Geol. Venez., 8. Porlamar, 1997. SVG. Caracas, 2:327-330, 1997.

..... Genetic Parameters of the Industrial Minerals Deposits Associated with the Tinaquillo Ultrabasic Complex, Northern Venezuela, Minerals Deposits: Processes to Processing. Rotterdam: Balkemar Publishers. 2: (1145-1148), 1999.

STONE WORLD. Greek Stone Paves the World. Stone World. 15(4):124-139, 1998.

TURNER, F. y VERHOOGEN, J. Igneous and Metamorphic Petrology. New York: McGraw-Hill Book Company. 601p, 1951.