

MINISTERIO DE INDUSTRIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

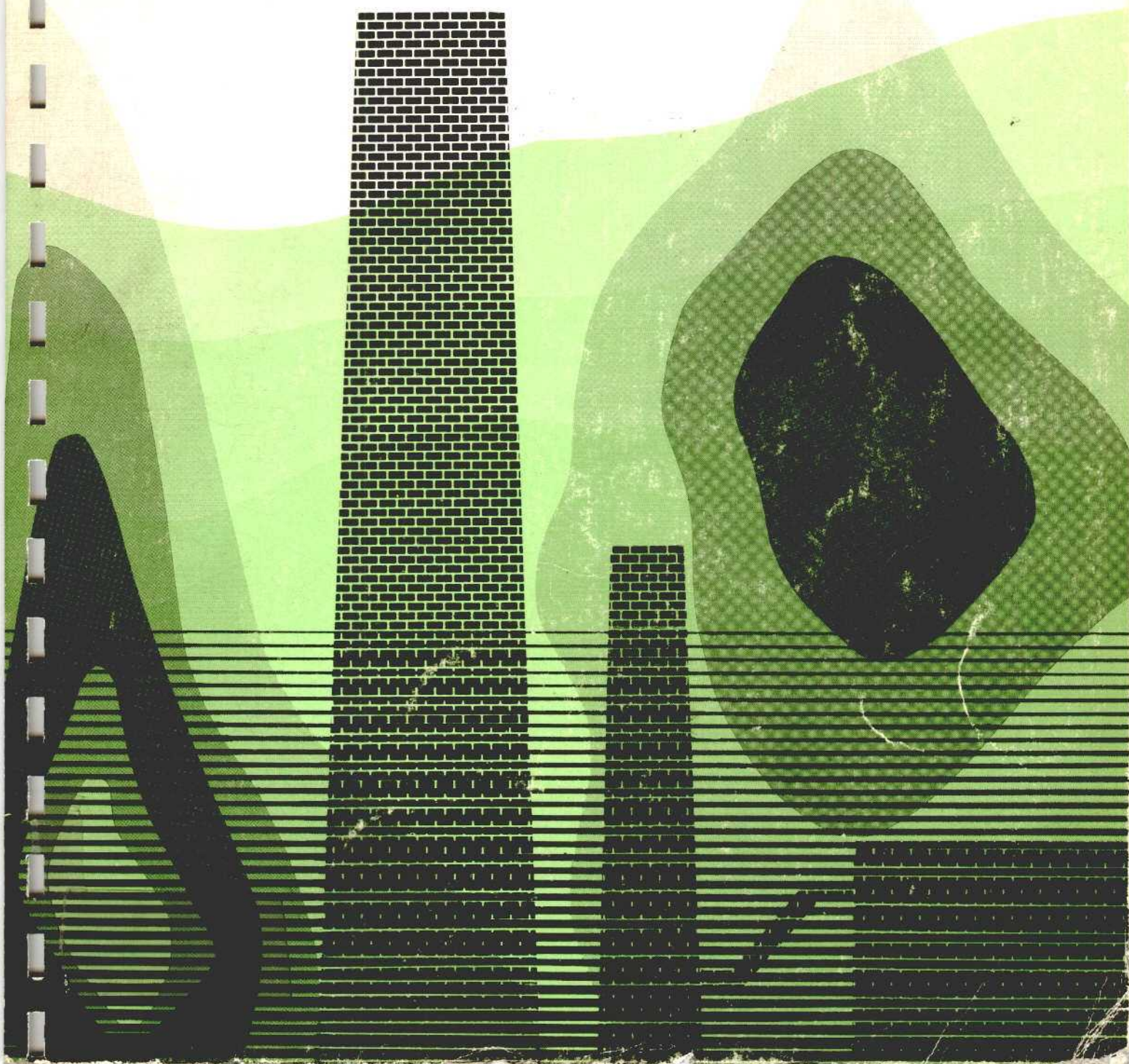
PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION MINERA

ESTUDIO ECONOMICO Y TECNOLOGICO PARA EXPLOTACION Y APROVECHAMIENTO DE LAS ROCAS INDUSTRIALES

ESPECIFICACIONES Y CLASIFICACION DE LAS ROCAS INDUSTRIALES

Tomo XII

MAGNESITA



000469

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PROGRAMA NACIONAL DE INVES
TIGACION MINERA.

ESTUDIO ECONOMICO Y TECNOLOGICO PARA
EXPLOTACION Y APROVECHAMIENTO DE -
LAS ROCAS INDUSTRIALES

Especificaciones y clasificación de las Rocas -
Industriales.

TOMO XII

Diciembre, 1975

El presente estudio ha sido realizado por la empresa
FRASER ESPAÑOLA, S.A., en régimen de contrata-
ción con el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE -
ESPAÑA

MAGNESITA

INDICE

	<u>Pág.</u>
0. <u>INTRODUCCION</u>	1.
1. <u>ESTUDIO GEOLOGICO</u>	2.
1.1. Yacimientos de reemplazamiento o sustitución	2.
1.1.1. Génesis	2.
1.1.2. Morfología	3.
1.1.3. Distribución geográfica. Características.	4.
1.2. Yacimientos filonianos	7.
1.2.1. Génesis y morfología	7.
1.2.2. Distribución geográfica. Características.	9.
1.3. Yacimientos sedimentarios	11.
1.3.1. Génesis	11.
1.3.2. Distribución geográfica. Morfología y características.	11.
1.4. Yacimientos españoles	14.
1.4.1. Yacimiento de Asturreta (Eugui, Navarra)	14.
1.4.1.1. Génesis	15.
1.4.2. Yacimientos del Noroeste	19.
1.4.3. Yacimientos de Santander	20.
1.4.3.1. Características de los yacimientos.	20.
1.4.3.2. Génesis	22.
1.4.4. Otros yacimientos	23.

	<u>Pág.</u>
2. <u>ESTUDIO MINERO. TRATAMIENTOS Y PROCESOS INDUSTRIALES.</u>	25.
2.1. Introducción	25.
2.2. Estudio minero	27.
2.2.1. Concentración de la producción	27.
2.2.2. Reservas	30.
2.2.3. Prospección y exploración	31.
2.2.4. Explotación	32.
2.3. Tratamientos y procesos industriales	34.
2.3.1. Concentración de los minerales	34.
2.3.2. Calcinación	38.
2.3.3. Obtención de magnesio	39.
2.3.4. Obtención del cloruro de magnesio	40.
2.3.5. Proceso seguido en la fabricación de ladrillos refractarios de magnesita	43.
2.3.6. Proceso de fabricación de refractarios de cromo-magnesita	46.
3. <u>COMPOSICION Y PROPIEDADES GENERALES</u>	49.
3.1. Composición	49.
3.2. Propiedades ópticas y cristalográficas	52.
3.3. Propiedades físicas	53.
3.4. Propiedades térmicas	54.
3.5. Características distintivas	55.
3.6. Textura	57.

	<u>Pág.</u>
4. <u>USOS</u>	
4.1. Introducción	59.
4.2. Magnesita calcinada caústica	60.
4.2.1. Fabricación de cemento Sorel	60.
4.2.2. Agricultura y ganadería	61.
4.2.3. Otros usos	62.
4.3. Magnesita calcinada a muerte	64.
4.3.1. Industria de los refractarios	64.
4.3.1.1. Refractarios de magnesita	65.
4.3.1.2. Ladrillos de magnesita	68.
4.3.1.3. Refractarios de magnesita- óxido de cromo y de óxido de cromo-magnesita	70.
5. <u>CALIDADES Y ESPECIFICACIONES</u>	73.
6. <u>PRODUCTOS SUSTITUTIVOS</u>	77.
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	80.

INDICE DE CUADROS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1.	Análisis químico medio de los concentrados	36.
2.	Composición granulométrica de los concen- trados.	36.
3.	Composición de algunas magnesitas	50.

INDICE DE FIGURAS

1.	Yacimientos griegos (Eubea Central)	21.
2.	Yacimiento de Pacios de Villa de Moros - (Monforte, Lugo)	21.
3.	Corte geológico de la mina "Fontoria"	24.
4.	Corte geológico de la zona de magnesita cana- ria.	24.
5.	Industria de la magnesita	26.

0. INTRODUCCION

En la presente monografía se va a realizar el estudio general de la magnesita, analizando fundamentalmente los aspectos que más estrechamente están ligados con la tecnología y la utilización de dicha roca.

Dado que suele haber algún confucionismo sobre el significado de la denominación de magnesita, se hace necesario aclarar en primer término este concepto. Se denomina magnesita o giobertita al carbonato magnésico natural, que se presenta bajo las formas cristalina y criptocristalina o compacta.

La utilización industrial de la magnesita va precedida de un proceso de calcinación, que origina el óxido magnésico. Según la temperatura alcanzada en dicho proceso se obtiene la magnesita cáustica u óxido magnésico cáustico (temperaturas bajas), o bien magnesita sintetizada o calcinada a muerte (temperaturas altas).

Después de analizar los diversos métodos de concentración y procesos industriales a los que se somete la magnesita, se describen las principales utilidades de la misma, cuya demanda general para todas sus calidades se encuentra en el punto máximo de su historia, a pesar de los aumentos de producción.

1. ESTUDIO GEOLOGICO

Existen dos tipos de magnesita: la magnesita compacta o criptocristalina y la magnesita cristalina, denominada así debido a su contenido en cristales, distribuidos en una gama que comprende desde los más finos a los de un relativo grosor. Ambos tipos se presentan en la naturaleza en tres formas diferentes de yacimientos, que se van a describir en este apartado:

- 1) Yacimientos de reemplazamiento o sustitución
- 2) Yacimientos filonianos
- 3) Yacimientos sedimentarios

1.1. Yacimientos de reemplazamiento o sustitución.

1.1.1. Génesis

Los yacimientos de reemplazamiento o sustitución son el resultado del cambio progresivo de caliza o dolomía por magnesita cristalina, mediante disoluciones hidrotermales. La magnesita se presenta de manera casi análoga a los yacimientos metasomáticos de siderita. En Austria, como en otros diversos países, constituyen un eslabón de la sucesión hidrotermal procedente de focos más profundos. En todos los yacimientos aparecen gran cantidad de transiciones a la dolomía que, en su mayoría, se ha originado simultáneamente con la magnesita a partir de aportaciones hidrotermales de magnesita.

sia. Al mismo tiempo que ésta, se realiza también una pequeña --
aportación de carbonato de hierro. Una parte del hierro aparece --
formando minúsculos cristalitos de pirita.

El metasomatismo puede apreciarse claramente en las zonas mar-
ginales de los yacimientos, en las que es incompleto y donde, de las
fisuras o grietas, sobresalen las largas puntas cristalinas de los --
romboedros de magnesita, muy planos, que se han engendrado en la
dolomía.

Durante la sustitución se origina en primer lugar una roca con nu-
merosas drusas, que luego se rellenaron por dolomía más recien-
te, blanca y pobre en hierro, que también puede rellenar grietas --
en forma de filón, más jóvenes todavía. A veces, como ocurre en --
los yacimientos de Veitsch (Austria), se pueden observar sobre --
ellas vetas de cuarzo aún más joven, que contienen tetraedrita. En
la dolomía de la roca de caja pueden verse también crinoides, que
en parte se dolomitizaron y en parte fueron transformados en mag-
nesita parda.

1.1.2. Morfología

Los yacimientos de remplazamiento o sustitución se presentan de
manera estratiforme, lenticular y en ocasiones con formas irregu-
lares de gran importancia.

Los contenidos en hierro en este tipo de depósitos son variables y corresponden a términos intermedios de la serie magnesita-siderita.

Las potencias de estos yacimientos son muy variables. En los Alpes y Checoslovaquia, aparecen yacimientos con potencias explotables de 40 m. llegando incluso hasta los 70 m. Hay informes sobre la existencia de espesores superiores a 100 m. en los Urales.

En aquellos puntos donde la caliza metasomatizada contiene arcillas apizarradas grafitosas, se forman granos de magnesita hasta de 1 ó 2 cm. de longitud, que recuerdan por su configuración a los piñones, conociéndose esta estructura con el nombre de magnesita pinolítica. (Denominación ésta muy generalizada en Austria).

Los granos de magnesita pueden formar también rosetas radiales, como por ejemplo la magnesita en estrella de Semmering.

1.1.3. Distribución geográfica. Características

Los yacimientos más importantes de este tipo se encuentran en China, Austria y Checoslovaquia.

En los Alpes Orientales, la zona septentrional de grauwackas es una región de numerosos yacimientos de magnesita. En parte, se puede distinguir una zona más meridional, de magnesita más po -

bre en hierro, y otra septentrional con más hierro; no obstante, esta división en zonas puede haber sido duplicada o reducida por una tectónica más reciente. Veitsch y Trieben son las minas más importantes y conocidas de la zona septentrional de grauwackas. - Ambos yacimientos están enclavados en una zona de tectónica com
plicada.

En los Alpes Centrales existen algunos yacimientos en el Carboní
fero del Stangalpe, sobre los que se encuentra el gran yacimiento del Millstätteralpe, cerca de Radenthein (Carintia). El yacimiento está encajado en potentes series de capas de una micacita con gra
nates y anfíboles y se beneficia en una gran corta.

En la parte más occidental de los Alpes Centrales, como en Stai
nach, Brennero y en Ötztal, se encuentra magnesita revuelta con capas del Carbonífero que encierran antracita. En las dolomías - del Triásico Inferior de la fosa de Kaswasser, en la región de --
Ennstal, aparece también magnesita metasomática.

Las magnesitas de Checoslovaquia son análogas a las de la zona - alpina de grauwackas. Los yacimientos de magnesita, con más o menos contenido en hierro, comienzan en las proximidades de - Kosice y se prolongan por las labores a cielo abierto de Selsava y Ratko Szucha hasta Lonyobanga, paralelamente a una serie de ya-
cimientos de siderita, también importantes.

En los Urales, se explota la magnesita de Satka en las grandes - cortas de Karagay. El contenido en hierro es moderado. Sus po - tentes lentejones forman una serie de 8 km. de longitud en dolo - mías devonianas.

Los yacimientos de Manchuria, según Niinomy, reposan sobre un grupo de sedimentos, discordantes a su vez sobre un Algónquico muy metamórfico. La magnesita es pobre en hierro y está mez - clada a menudo con talco.

La alternancia de magnesita, dolomía y pizarras talcosas alcanza potencias de 900 m. También en Corea se conocen yacimientos - lenticulares del mismo tipo.

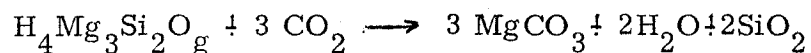
1.2. Yacimientos filonianos

1.2.1. Génesis y morfología

En este segundo tipo de yacimientos, la magnesita dura y compacta (magnesita criptocristalina) es el resultado de la descomposición de la serpentina por el paso de soluciones hidrotermales carbonatadas, acompañada por la liberación de la sílice.

La magnesita compacta de estos filones se denomina a menudo, aunque de modo inadecuado, gel de magnesita. Los filones constituyen el relleno de fisuras en rocas eruptivas básicas, peridotitas, dunitas y herzolitas, cuando las rocas indicadas están serpentinizadas. Los filones forman "stockwerks" y lentejones.

Esta magnesita se ha formado de acuerdo con la ecuación:



Antes se pensaba que esta formación de magnesita se debía a las aguas cargadas de ácido carbónico que descendían por el subsuelo, es decir, a la meteorización. Actualmente se sabe que esto sólo es válido para las vetas de magnesita próximas a la superficie encajadas en rocas básicas; los filones y masas de magnesita que alcanzan mayor profundidad han sido originados por aguas ascendentes cargadas de CO_2 .

Las pruebas de ello son:

- 1.) La extensión en profundidad de la mineralización (en Kraubath llega a 140 m. y en Eubea a 250 m).
- 2.) La gran potencia de los filones (hasta 20 m).
- 3.) La frecuente disposición de los filones a lo largo de líneas tectónicas de fractura.

La serpentina arrancada por los filones de magnesita, y cuyos fragmentos yacen en los niveles más profundos, es completamente fresca y sin meteorizar. Esto permite sacar la conclusión de que la anterior reacción del ácido carbónico con la roca de caja no ha debido realizarse en el punto de deposición de la magnesita, sino en focos de descomposición más profundos. Esta descomposición, según las observaciones recogidas en Zobten (Silesia), consiste en la forma oción de silicatos hidratados de Mg-Fe (bowlingita y otros).

La magnesita muestra con frecuencia estructuras en forma de coliflor y grietas de contracción, lo que permite sacar la conclusión de una naturaleza coloidal concentrada de las disoluciones ascendentes.

Según G. Hiessleitner, también los filones ascendentes de magnesita son siempre formaciones relativamente próximas a la superficie. En los Balcanes y en Kraubath están definidas por terrenos terciarios recientes o bien debidas a la caída de presión y temperatura relacionadas con los mismos.

1.2.2. Distribución geográfica. Características

Este tipo de yacimientos de magnesita es de difusión mundial, siendo el más frecuente de todos. Destacan los yacimientos de la Unión Soviética, Yugoslavia e India. Comenzando por Bosnia, se suceden dichos yacimientos a través de Servia, Macedonia y Grecia.

Particularmente valiosos y extensos son los filones continuos de Eubea (Grecia) (fig. nº 1), hasta de 40 m. de potencia y que han sido reconocidos hasta profundidades de 250 m.

También en Turquía se conocen magnesitas de esta clase. Rusia posee yacimientos análogos en las cercanías de Orsk, en los Urales. Alemania poseía un pequeño yacimiento en el macizo de Zobten, en Silesia. Italia las obtiene de las regiones serpentínicas de Toscana.

En la India, esta magnesita es suministrada principalmente por la comarca de Mysore. Grande es el número de yacimientos en explotación en California y Nevada. Se trata sobre todo de una magnesita blanca, compacta, que apenas requiere preparación debido a su pureza y que se puede calcinar en hornos simples, parecidos a las caleras, sin requerir condiciones especiales, transformándose en magnesita cáustica. La impureza más frecuente es el ácido silícico, fácil de reconocer. El contenido en carbonato de magnesio es del 95 - al 99%, siendo el de hierro muy bajo, lo que favorece su empleo en la industria de la construcción.

También aparece magnesita cristalina, de grano muy fino, en zonas filonianas de 50 a 60 m. de potencia, en las dolomías triásicas de la Paradise Range en Nevada, Estados Unidos. Son magnesitas pobres en hierro, conteniendo en cambio un poco de sílice y óxido de calcio.

1.3. Yacimientos sedimentarios

1.3.1. Génesis

Los yacimientos sedimentarios de magnesita, tanto cristalina como compacta, aparecen en formaciones lagunares continentales de salinidad media, con condiciones de clima desértico. En su formación pueden colaborar agentes externos hidrotermales y procesos derivados del volcanismo. Los yacimientos sedimentarios de magnesita compacta de la península de los Balcanes proceden, según Donath, de aguas termales ricas en CO_2 que han lixiviado el Mg de las serpentinas infrayacentes y lo han precipitado en cuencas terciarias entre macizos de serpentina, no pudiéndose apenas diferenciar de las margas compactas.

1.3.2. Distribución geográfica. Morfología y características

Generalmente las magnesitas de los yacimientos sedimentarios son de textura muy fina y desprovistas de hierro.

Los depósitos más característicos se hallan ubicados en California y Nevada (Estados Unidos), y Atli (Canadá), conociéndose igualmente otros yacimientos en el resto del mundo. Los dos yacimientos españoles más importantes son también de tipo sedimentario.

Diversos autores rusos al estudiar la sedimentación reciente en el Mar Negro, Mar Caspio y en el Mar de Aral han llegado, entre otros,

a los resultados siguientes: la composición y distribución de los sedimentos muestran una gran semejanza en las tres cuencas. Destaca la estricta disposición zonar de los distintos tipos de sedimentos, la formación del lodo calcáreo en las áreas más hondas y el rápido decrecimiento de la sedimentación a medida que se aleja la costa.

Han dedicado un interés especial a las leyes que deben existir sobre la distribución de los carbonatos en los sedimentos.

En el Mar Negro la formación de carbonato magnésico es apenas sensible, mientras que en el Caspio es de gran importancia, sobre todo en el golfo de Karabogas, donde el carbonato magnésico llega a ser el 51 por ciento del total de carbonatos.

La relación $\text{CO}_3\text{Mg}/\text{CO}_3\text{Ca}$ está comprendida entre 2,85 y 4,96 según los lugares de la cuenca.

Los sedimentos ricos en CO_3Mg forman un estrato superficial de hasta 12 cm. de espesor, por debajo de los cuales se halla un sedimento rico en CO_3Ca .

En el Mar de Aral vuelve a ser escasa la formación de magnesita.

En el lago Balkhash ocurre algo semejante. Aquí la salinidad varía de Oeste a Este, al pasar de depósito a depósito en el lago. Las lagunas orientales tienen mayores temperaturas, pH y alcalinidad, y los barros del fondo contienen mayor cantidad de materiales orgánicos.

cos en forma coloidal, más Fe, Mg y B que las occidentales, presentándose magnesita además de dolomía. Estos materiales ricos en Mg pueden alternar con otros ricos en Ca, y que se deben a variaciones -seculares de la salinidad de la cuenca. Los niveles pobres en Mg están casi totalmente constituídos por esqueletos de diatomeas y ostrá-codos.

En la región de Breitneau (Estiria), aparecen magnesitas cristalinas en bandas o franjas, que han dado motivo para pensar en un origen -sedimentario; sin embargo, las franjas son a veces oblicuas a la es-tratificación principal y se interpretan por esta razón como el equiva-lente metasomático de una pizarrosidad mecánica.

Se conocen banquitos delgados de magnesita cristalina sedimentaria -en puntos aislados de la parte superior de las capas potásicas, en las series salinas de la región del Golfo y del Condado de York.

En la anhidrita del Triásico del yacimiento de sal de Hall, en el Ti-rol, existe magnesita cristalina oscura, considerada como de origen sedimentario.

Yacimientos sedimentarios de magnesita compacta se encuentran en Bela Stena, cerca de Raska, en el Sur de Servia y en Ajani, próximo a Kozani en Grecia. Ajani muestra 8 capas de 0,5-2 m. de potencia, algunas son magnesita compacta, otras, nódulos de magnesita en mar-gas arcillosas.

1.4. Yacimientos Españoles

Los más importantes yacimientos de magnesita españoles están situados en Eugui (Navarra) y en Incio (Lugo), ambos de origen sedimentario. Otros yacimientos de menor importancia se hallan ubicados en Madrid, Avila, Granada y Santander.

1.4.1. Yacimiento de Asturreta (Eugui, Navarra)

Se denomina magnesita tipo Asturreta a la que se presenta en estratos constituidos por cristales normales al plano de sedimentación y provistos, cada uno de aquellos, de una banda negra central.

El yacimiento está situado en la cuenca del Arga, próximo a la confluencia de este río con el Urcel, en la rama Oeste de un gran anticlinal de flancos muy desiguales, correspondiendo la mayor potencia a la rama del lado occidental, puesta al descubierto por la cantera.

Dentro del yacimiento cabe distinguir la llamada "magnesita de primera calidad", mineral extraído en la zona próxima al muro del anticlinal, y la "magnesita de segunda calidad" en donde son frecuentes los bancos, nódulos y brechas de sílex negro y los estratos toman un carácter de geodas, los cuales, compuestos sobre todo, de dolomía, rebajan la ley general.

1.4.1.1. Génesis

Existen teorías que intentan demostrar que algunas formaciones de magnesita y dolomía, tanto de la Península Ibérica como en los grandes depósitos "tipo Veitsch" de Austria, en contra de la clásica hipótesis del origen de estos minerales por transformación metasomática de la caliza, tienen un origen sedimentario.

En España, la génesis de estos minerales se puede estudiar perfectamente en el yacimiento de Asturreta (Navarra), que comprende una serie de depósitos de magnesita situados en la cuenca del Arga, a 25 km. al NNE de Pamplona.

Los estudios realizados sobre el origen de este yacimiento llevan a suponer que la magnesita (y la dolomía) se han formado por vía directa, por precipitación química, cristalina, en un medio lagunar marino, sin que en su génesis hayan intervenido agentes exteriores al mismo medio marino, sino mediante reacciones entre las sales del mar y las que resultaban de la descomposición de los seres orgánicos que en éste vivían.

El estudio mineralógico de las rocas que constituyen el yacimiento demuestra la evidencia del régimen sedimentario en el cual se han formado, y señala, en cambio, las dificultades que existen para admitir la génesis metasomática de la magnesita.

Los análisis efectuados con la magnesita de Asturreta, encaminados a la demostración de su origen sedimentario, se resumen a continuación.

Análisis efectuados con magnesita Asturreta

1. Estudio microscópico en sección delgada.

Se preparan secciones delgadas de las diversas muestras estudiándolas a continuación con un microscopio. (Standard Pol -- (Zeiss).

Para la toma de muestras se sigue el criterio de recoger de todas aquellas zonas que aparentemente presentan distintas características.

2. Estudio roentgenográfico.

Se efectúa un análisis por difracción de rayos X de las muestras elegidas en el punto anterior.

3. Ensayos analíticos de la materia colorante.

Discusión de los resultados:

- a) En el estudio microscópico destaca claramente la presencia de dos tipos de cristales, unos pequeños, sucios, con materia or-

gánica en el interior, orientada exteriormente formando ban -
das, y otros grandes, generalmente limpios, de forma estilolí
tica, que se han originado por un proceso diagenético a partir
de los primeros, eliminando en su crecimiento gran parte de la
materia orgánica del interior del cristal, que se sitúa entre los
huecos de los cristales.

El estudio de las pizarras, de pequeño tamaño de grano, consti
tuidas en su mayor parte por minerales de la arcilla (clorita e -
illita) y pequeña cantidad de cuarzo, sericita y moscovita, prue
ba las condiciones diagenéticas o de metamorfismo muy suave
en que se han formado.

La presencia de restos fósiles es otro dato a favor de la ausen
cia de un proceso metamórfico intenso.

- b) Del análisis por rayos X, se deduce que la magnesita predomi
na en las zonas blancas de grandes fenocristales, siendo me
nos abundantes en las zonas con estructura pizarrosa, zonas -
que presentan un grado de recristalización poco marcado.

Destaca en el estudio la presencia de niveles, donde se han ob
servado minerales de la arcilla, teñidos de materia orgánica,
que están interestratificados con los de magnesita.

Es significativo el hecho de que estas capas de apenas un milímetro de espesor se repiten periódicamente como elemento de separación de la magnesita antipolar, en intervalos de 2 a 4 cm., y que en menor proporción también aparece incluido dentro de los cristales y en las suturas de los mismos.

Todo esto hace suponer que la deposición de carbonato fué simultánea con la materia orgánica arcillosa en las zonas donde se observa la típica estructura antipolar, que representa más del 90% del yacimiento.

Posteriormente todo el yacimiento, debido a los efectos de P y T, sufrió un intenso proceso de diagénesis que ha dado lugar a la morfología actual del mismo, donde se observan dos tipos de magnesita:

1. Magnesita antipolar: de cristales orientados, cuya recristalización comienza en las bases de las capas pelíticas, dando cristales grandes y bien formados de color blanco. Los grandes fenocristales blancos se componen exclusivamente de magnesita y calcita. La zona intermedia es negra, rellena con materia orgánica y una cierta proporción de cuarzo.
2. La magnesita rosa: de cristales desordenados, que aparece en los niveles iniciales del yacimiento, presenta un claro proceso de recristalización, ya que las zonas blancas de

grandes cristales se componen exclusivamente de magnesita y calcita, y en la zona negra microcristalina circundante - aparecen además dolomita, siderita, cuarzo y clorita. Esta estructura desordenada parece ser originada por un efecto - tectónico.

Todos estos resultados suponen un serio impedimento para adjudicar un origen metasomático a la formación de la totalidad del yacimiento.

La constancia de los minerales arcillosos interestratificados entre la magnesita, así como la presencia de magnesita en el interior de las - pizarras impermeabilizadas por la acción de la materia orgánica, es un claro exponente del proceso sedimentario y diagenético.

1.4.2. Yacimientos del Noroeste

Es ya conocida desde hace tiempo la existencia de magnesita y dolomía por distintos puntos de Galicia.

Entre Incio y Villa de Moros se hallan varios asomos de bancos de dolomita, que han pasado en parte a magnesita. El terreno en donde se encuentran estas formaciones calco-magnesianas pertenece al Silúrico. Dominan las pizarras arcillosas, compactas y tenaces cuando - son recién extraídas, pero que una vez alteradas se convierten en - arcilla y barro.

En gran parte, estas pizarras azoicas, con motas constituídas por finos cristalitos de mica, indican un ligero dinamometamorfismo de carácter general, en ausencia de toda roca hipogénica.

En la proximidad de Pacios de Villa de Moros (Monforte, Lugo) se encuentran los bancos de magnesita. La estructura sacaroidea domina en esta magnesita, que se compone de finos estratos, claramente delimitados por hiatos sedimentarios. En la figura nº 2, se observa la base de este banco, cuya potencia llega a ser de 20 m. Entre las pizarras mosqueadas de la base y la magnesita se intercala un estrato de cuarcita dura gris-azulada. Sigue la magnesita, cuyo contacto con la cuarcita es limpio, sin transiciones. Esta misma disposición se halla en la parte superior, en el techo de la magnesita, en donde la cuarcita la separa de las pizarras mosqueadas, que ocultan el banco de este mineral para aflorar más allá, en el valle contiguo.

En varios de estos afloramientos la magnesita toma la disposición en empalizada, o "tipo Asturreta", en estratos finos, de uno o varios centímetros de espesor.

1. 4. 3. Yacimientos de Santander

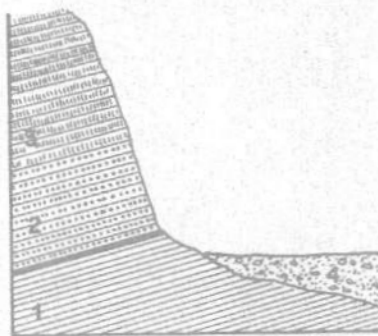
1. 4. 3. 1. Características de los yacimientos

Existen yacimientos de magnesita sedimentaria en la provincia de Santander, conocidos y explotados algunos de ellos desde antiguo. Se



La serpentina de Eubea Central y sus yacimientos de magnesita (los filones de magnesita tienen rumbo NO, paralelo a los límites tectónicos de la isla.)

Fig. nº 1.- YACIMIENTOS GRIEGOS (EUBEA CENTRAL)



Pacios de Villa de Moros (Manforte, Lugo) Silúrico inferior
 1.- Pizarra, seguida de un delgado estrato de cuarcita; 2.-Magnesita sacaroidea; 3.- Magnesita tipo Astureta; 4.- Aluviones

Fig. nº 2

hallan en el Triásico medio o Muschelkalk. El más importante se encuentra en Reinosa. En la fig. nº 3 se representa el corte geológico de la mina "Fontoria".

A las calizas magnesianas del tramo (1) sucede un banco de magnesita (2), seguido de otro de calizas magnesianas, sustituídas, finalmente, por otras tabulares (3). Esta serie plegada en forma de rodilla queda en contacto por falla con las margas irisadas (4). Las muestras del mineral extraído nos hacen ver su composición, que le da un valor de:

38 % de MgO

12 % de CaO

La potencia de la capa se estima en unos 2 metros y el mineral está constituido por un material pardo, de agujas largas entrecruzadas. - Otros yacimientos se encuentran en Requejo y S. Miguel de Aguayo, este último ya cubierto por las aguas del pantano de Pie de Concha.

1.4.3.2. Génesis

Este tramo de magnesita del Muschelkalk de Santander, es muy posible que se haya formado de igual manera que la magnesita namuriense de Asturreta, triásica de Puerto de Velate y silúrica de Villa de Moros, en un medio lagunar de sedimentación química predominante, por las características que presenta (relieves, riplamarcks, etc.).

1.4.4. Otros yacimientos

Hay que señalar finalmente la existencia de una formación de giobertita en los basaltos de Gran Canaria, de mucha menor importancia que las anteriores pero que, sin embargo, constituye la única representación de este mineral localizado en el archipiélago. En la fig. nº 4, se representa el perfil geológico de la zona, así como el pozo en el que se localizó la giobertita a 195 m. de profundidad, en el contacto de las escorias basálticas con la fonolita.

Su formación se debe a la acción de las aguas de lluvia, portadoras de oxígeno y anhídrido carbónico, sobre los olivinos de los mantos basálticos, descomponiéndose en serpentina, sílice, óxidos de hierro y giobertita y estas mismas aguas, prosiguiendo su acción sobre la serpentina que va formándose, la transforman a su vez en giobertita y ópalo hialita (sílice hidratada).

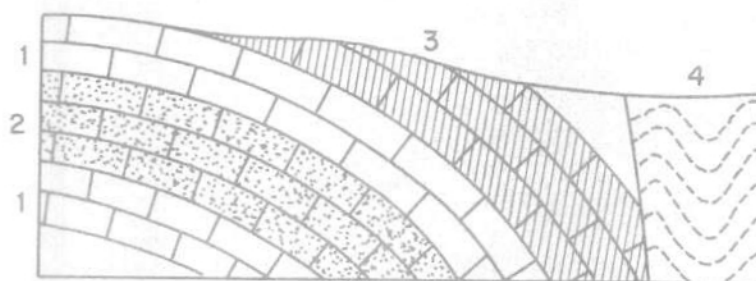
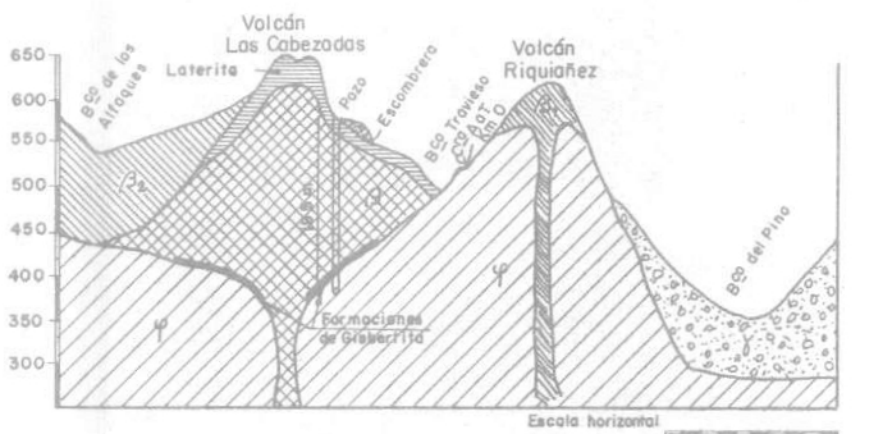


Fig. nº 3. - CORTE GEOLOGICO DE LA MINA "FONTORIA"



LEYENDA

- | | | | |
|---|----------------------------|---|--------------------------------|
|  | Fonolita |  | Laterita |
|  | Basalto de Riquioñez |  | Escoria lávica basáltica |
|  | Conglomerado vol brechoide |  | Basalto del complejo de Osorio |

Fig. nº 4. - CORTE GEOLOGICO DE LA ZONA DE MAGNESITA CANARIA

2. ESTUDIO MINERO. TRATAMIENTOS Y PROCESOS INDUSTRIALES.

2.1. Introducción

En la figura nº 5 , se representa mediante un diagrama, el esquema de la organización de la industria de la magnesita. En él, se destacan tres niveles de importancia: industria básica o minera, industria transformadora e industria consumidora final.

En este apartado, se van a tratar los principales aspectos referentes al primer nivel, es decir el de la industria básica o minera. Esta incluye todos los procesos que normalmente realiza la propia empresa explotadora y que en el caso de la magnesita llega hasta la calcinación, quedando el producto dispuesto para su venta en el mercado, bien como magnesita calcinada cáustica o bien como magnesita calcinada a muerte, ya que la magnesita cruda se ofrece al mercado sólo en casos excepcionales.

Previamente, se realiza una rápida visión de la producción y reservas de magnesita en el mundo.

INDUSTRIA DE LA MAGNESITA

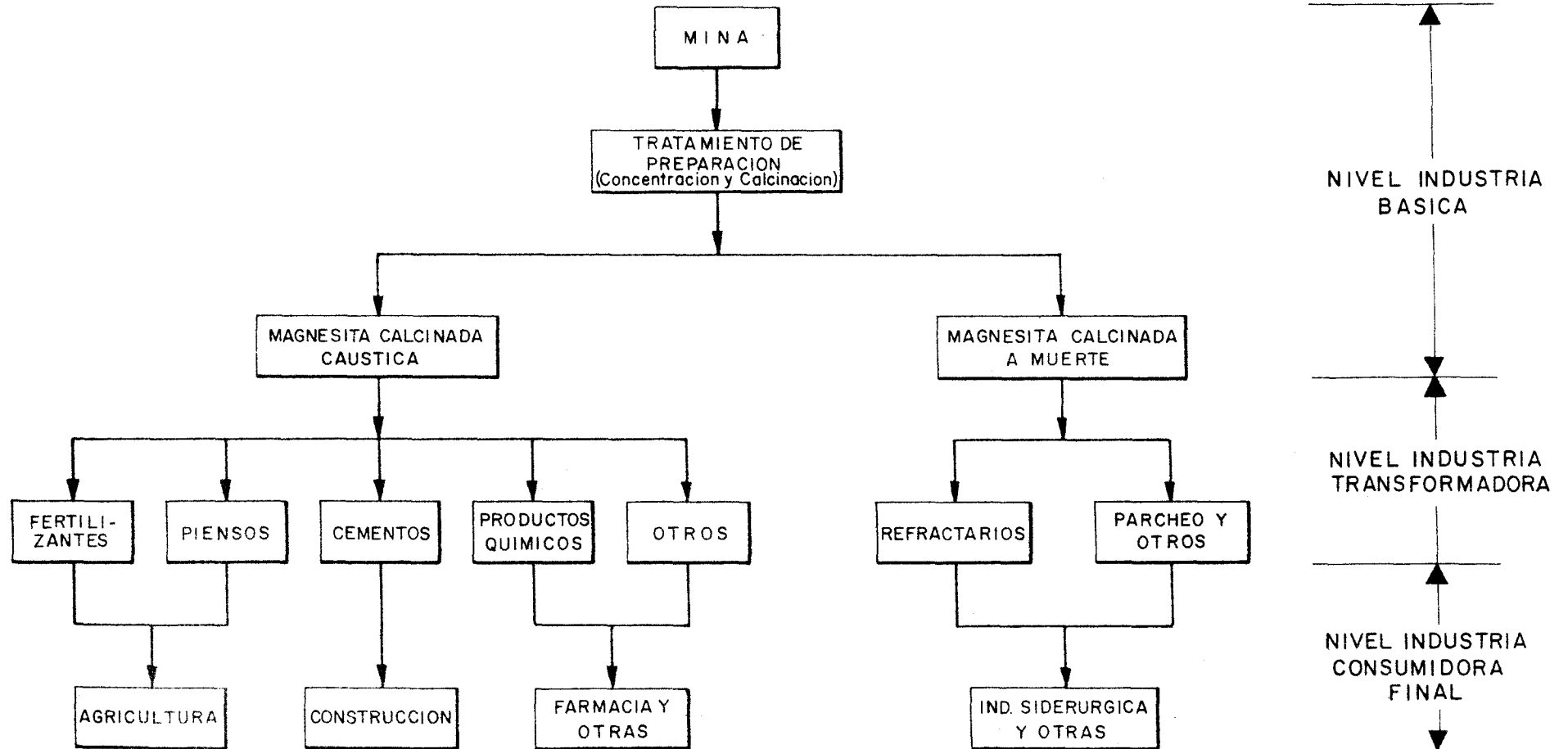


Figura 5

2.2. Estudio minero

2.2.1. Concentración de la producción

Según la ubicación geográfica de los grandes yacimientos en explotación, se puede considerar que se sitúan preferentemente dentro de una banda que corta al Ecuador con dirección NO-SE.

Una mayor precisión lleva a identificar el territorio ocupado por los países comunistas euro-asiáticos con los principales núcleos de producción.

Se puede decir que un 70% de la producción mundial se genera en los países comunistas y un 20% en Grecia y Austria.

En España, como se indicó anteriormente, la producción se halla concentrada en Navarra (Eugui) (Magnesitas de Navarra) y Lugo (Inicio), (Magnesitas de Rubián.)

La producción mundial de la magnesita calcinada a muerte llega -- aproximadamente a 7 millones de toneladas anuales, de los cuales -- 4,5 millones proceden de la magnesita natural y 2,5 millones proceden del agua del mar y algo de las salmueras.

Los principales países europeos productores de magnesita natural son:

- Austria: con capacidades de producción de 550.000 t de magnesita sinterizada y 200.000 t de magnesita cáustica.
- Grecia: con una producción de 400.000 t de magnesita sinterizada y 250.000 t de calcinada cáustica.
- Checoslovaquia: con una producción de 750.000 t de magnesita calcinada a muerte.
- Rusia: cuya producción se estima entre 1.000.000 y 1.250.000 t por año.
- Yugoslavia: la producción de magnesita sinterizada es del orden de 200.000 t por año.
- Turquía: La producción de la calidad sinterizada es -- aproximadamente de 50.000 t y de la calidad cáustica 20.000 t por año.

Las producciones de los países no europeos de magnesita son:

- China: con una producción de 400.000 t de magnesita sinterizada.
- Corea del Norte: produce 650.000 t. de sinter y algo de cáustica.

- Estados Unidos: tiene una capacidad de producción de 700.000 t de magnesita sinterizada y 160.000 t de calcinada procedente de magnesitas naturales, de agua de mar y salmueras.
- Canadá: con una capacidad de 60.000 t año de calidad sinterizada.
- Brasil: produce 140.000 t de magnesita sinterizada y 1.500 t de cáustica procedente de magnesita natural.
- India: la capacidad es de 100.000 t de la calidad sinterizada y 25.000 t de cáustica.
- Australia: la producción es pequeña, de 20.000 t año de magnesita sinterizada.
- Sud-Africa: la producción es de 85.000 t de sinter procedente de magnesita natural.
- Rodesia: la producción es desconocida, pero se estima en 70.000 t año.
- Japón: la fuente de magnesio es el agua de mar y las capacidades de la calidad sinterizada son de 700.000 t año.
- Méjico: el origen de las magnesitas es el agua del mar y las salmueras y su capacidad de producción es de 80.000 t/año de calidad sinterizada.

2.2.2. Reservas

Las reservas de magnesita estimadas en el mundo (año 1974) son de 8.544×10^6 t, repartidas, por orden decreciente de importancia, entre:

China	4.535×10^6 t.
Corea del Norte	2.721×10^6 t.
Nueva Zelanda	544×10^6 t.
U. R. S. S.	358×10^6 t.
India	168×10^6 t.
Checoslovaquia	91×10^6 t.
Austria	68×10^6 t.
U. S. A.	59×10^6 t.

Otros grandes yacimientos conocidos se encuentran en: Yugoslavia, Pakistán, Sudán, Méjico, Irán, Filipinas, Australia, República Arabe y República de Sudáfrica.

Aunque se encuentran sin estimar, se han descubierto depósitos en Cuba, Suecia, Noruega, Polonia, Escocia, Francia, Italia, Kenia y Tanzania, que pueden jugar un papel importante como futuras reservas.

Una estimación de las reservas en los dos yacimientos más importantes de España definió como seguras 25×10^6 t y como probables 100×10^6 t.

2.2.3. Prospección y exploración

La búsqueda de depósitos de cualquier tipo de magnesita se ha de en focar considerando el origen probable de la misma. En el caso de la magnesita cristalina, la localización de los posibles depósitos serían zonas de piedra caliza o dolomita autóctonas que hayan sido sometidas a plegamientos o a actividad ígnea. En el caso de la magnesita -criptocristalina las posibles localizaciones son áreas de rocas ultrabásicas que muestran considerables alteraciones a serpentina. De este modo, en ambos casos, la búsqueda se puede reducir dentro de los límites de las zonas que muestren evidencia de actividad geológica dinámica.

Las formaciones de magnesita son generalmente más resistentes a la desintegración por la acción atmosférica que las formaciones asociadas; consecuentemente, afloramientos prominentes caracterizan los depósitos de magnesita.

Las muestras se toman en superficie o bien mediante pozos profundos, para su estudio. La diferenciación entre yacimientos de magnesita comercial y no comercial puede ser completada mediante el uso de ácido clorhídrico diluído frío.

Después de obtener una idea preliminar del tamaño y calidad de depósito, se utilizan los métodos de perforación adecuados para perfilar más exactamente los límites comerciales. La evaluación de los

depósitos de magnesita se basa en el tamaño y la cantidad y distribución de impurezas tales como sílice, caliza y alúmina. Generalmente, para que sea de un grado aceptable por ejemplo en la industria de los refractarios, la magnesita, antes de ser calcinada a muerte, debe contener al menos un 90 por ciento de carbonato de magnesio.

2.2.4. Explotación

Tanto la brucita, la dolomía, el olivino y la magnesita, utilizados comercialmente para la obtención del magnesio y productos magnesianos, se explotan mediante canteras o métodos modificados de minería a cielo abierto, debido generalmente a sus grandes reservas y facilidad de explotación.

Unicamente en algunas masas irregulares de magnesita en serpentina, por ejemplo en California (USA) o Quebec (Canadá), se realiza una explotación de tipo subterráneo, por el método tradicional de cámaras y pilares.

La explotación a cielo abierto de los minerales magnesianos consiste en quitar el recubrimiento o montera, operación de desmonte, seguido de la excavación de las formaciones minerales. Los barrenos verticales se perforan con trépanos de diferentes dimensiones según sea el tamaño y forma de los depósitos, tipo de explosivo utilizado, y características de rotura de la roca. Los bancos varían entre 3 a 20 metros, dependiendo de las características de la capa de mineral y el equipo utilizado en la explotación.

Dentro de las explotaciones de magnesita a cielo abierto, hay que destacar que, en la actualidad, en Grecia, el grupo Scalistiri está explotando una mena de tal manera que, para obtener una tonelada de magnesita calcinada a muerte, necesita procesar 6,5 t de todo-uno y desplazar 50 t de terrenos de recubrimiento.

Las explotaciones españolas se llevan a cabo por métodos a cielo abierto. Así, en Navarra, se realiza por bancos descendentes con talud forzado y grandes voladuras. En Lugo se comenzó explotando de forma subterránea, pero debido a la gran potencia de las masas, se hizo muy difícil el laboreo y se pasó a la explotación a cielo abierto en los puntos donde el recubrimiento, por su poca altura, lo permite. Actualmente se ha pasado a explotar por escarificado, arrancando previamente la pizarra floja que cubre la capa, con espesores -- que llegan a tener 35 m. o más.

Los principales inconvenientes de este tipo de explotación en nuestro país se derivan de las frecuentes lluvias que impiden un trabajo regular, y reblandecimientos del terreno por la humedad; también es necesario potenciar el parque de maquinaria para el movimiento de tierras, pues la proporción actual en la extracción de mineral de -- nuestros yacimientos es de 4 partes de tierra por una de mineral.

2. 3. Tratamientos y procesos industriales

2. 3. 1. Concentración de los minerales

La evolución de los métodos de concentración ha seguido un desarrollo paralelo a las necesidades de mayor tonelaje y empobrecimiento de los criaderos.

En un principio, se realizaba un estrío o separación a mano, al que seguía una trituración y molienda. Posteriormente se adoptó, como método de concentración, la concentración por medios densos y separación magnética, que elimina la mayoría de los silicatos (arcillas) y que deja un producto de alta calidad. Este es el método más extendido. Previamente se somete el mineral a trituración (1ª y 2ª) y tamizados respectivos, reduciendo el tamaño de la roca original hasta $1 \frac{1}{2}$ a 2 pulgadas.

Mediante la concentración por medios densos, se hacen flotar las impurezas y se recoge en el fondo un concentrado de magnesita. Las impurezas compuestas generalmente de materiales calcáreos y silíceos se eliminan así del proceso, mientras que la magnesita se somete a molienda, se tamiza de nuevo y se almacena en depósitos, antes de proceder a la calcinación.

En la actualidad, se está llegando a una concentración por flotación que requiere un molido más fino y un posterior secado y briquetea-

do para su entrada en el horno. Este proceso se emplea cuando el contenido en sílice sea abundante y sea necesario eliminar gran parte de ella, así como la presencia de cal.

El proceso de flotación que se realiza en Magnesitas de Navarra, consta de tres etapas escalonadas, utilizándose ácido oléico como agente de flotación en todas ellas. Por este proceso se obtiene un concentrado de magnesita con un contenido en SiO_2 y CaO que varía entre 0,40-0,45 y 0,90-1,20 respectivamente. Hay que tener en cuenta que el rendimiento máximo a que se puede llegar en el proceso es de 0,40% y 0,80% en el contenido mínimo de dichos óxidos.

También existe la posibilidad, según las condiciones de trabajo durante el proceso de flotación, de variar estos contenidos en márgenes muy estrechos de tal forma que se pueden obtener varios tipos de concentrados.

El análisis químico medio, al final del proceso, se refleja en el cuadro nº 1.

Generalmente, todo proceso de flotación lleva aparejada una estación depuradora de agua, en la que el agua utilizada en el proceso de flotación es reacondicionada para su nueva utilización.

CUADRO Nº 1.ANALISIS QUIMICO MEDIO DE LOS CONCENTRADOS

Oxidos	% en peso
SiO ₂	0,30
CaO	1,00
Fe ₂ O ₃	1,27
Al ₂ O ₃	ind.
MnO	0,12
MgO	46,08
Pérd. cale.	51,23

con una distribución granulométrica como la que nos indica el cuadro nº 2.

CUADRO Nº 2.COMPOSICION GRANULOMETRICA DE LOS CONCENTRADOS

Tamaño de partícula	% en peso
> 200	4,50
200-160	9,50
160-125	20,80
125-100	12,20
100-80	19,40
80-63	14,10
63-40	12,60
40-25	4,80
< 25	2,10

Los concentrados obtenidos por flotación se filtran y secan térmicamente, y a pesar de ser de grano muy fino, son nuevamente remolidos con el fin de favorecer el briqueteado del material antes de ser calcinado.

En la tecnología para la consecución de un buen sinter de magnesia, se hace necesario briquetear la magnesita enriquecida por flotación antes de ser introducida en el horno de calcinación. La resistencia mecánica de las briquetas se aumenta añadiendo magnesia caústica con alto contenido en óxido de magnesio.

Generalmente se obtiene una densidad y resistencia satisfactorias - en el prensado de las briquetas, cuando la mezcla está compuesta - de 90-70% de magnesita flotada y 10-30% de magnesia caústica. Hay que tener en cuenta también la cantidad de agua retenida por la magnesita enriquecida, la cual ha de variar entre 5 a 8%.

Las briquetas que salen de las prensas son cribadas para volver a prensar la parte fina. Generalmente, la densidad de prensado de - las briquetas suele variar entre 2,3 y 2,5 g/cm³, la cual garantiza una buena alimentación del horno de calcinación.

Modernamente, con el fin de obtener gránulos con un contenido en MgO superior al 98%, se están impulsando los procesos a base de un benefico por vía química de los minerales, tras previa calcinación, a nivel caústico, para terminar con una calcinación a muerte que obtiene un producto hasta del 99,2% de MgO contenido.

Estos métodos han sido puestos a punto en Canadá y Austria, ya que los procesos siderúrgicos de LD y afino continuo del arrabio requieren estas calidades de alto contenido en magnesia.

2.3.2. Calcinación

La verdadera importancia de la magnesita (CO_3Mg) estriba en que es el mineral originario de la magnesia (MgO), material de gran valor industrial. Para su obtención se somete a la magnesita a un proceso de calcinación, con objeto de que pierda su contenido en CO_2 . Este proceso, según la temperatura aplicada, puede ser de dos clases:

- a) Calcinación simple
- b) Calcinación doble o a muerte

En el caso de la calcinación simple, la magnesita cruda se lleva a los hornos, donde se alcanzan temperaturas entre 800-1.000°C.

La alimentación de los mismos se hace de una manera uniforme y constante para controlar la calidad del producto. En esas condiciones se retiene un 10% aproximadamente del CO_2 , como carbonato de magnesio y el contenido en MgO del producto final oscila entre el 80 y 90%. La magnesita simplemente calcinada, magnesita calcinada cáustica, se somete después de su cocción a un cribado para separar las distintas fracciones comerciales que suelen ser: - gránulos entre 1 y 3 mm, producto fino entre 0,1 y 1 mm y polvo inferior a 0,1 mm.

Previamente al cribado, el producto, a la salida del horno se deja enfriar hasta alcanzar una temperatura aproximada de 65°C.

En la calcinación doble o a muerte, el mineral, generalmente en forma de briquetas, se somete a temperaturas que oscilan entre 1.450-1.900°C, perdiendo así todo su contenido en CO₂, obteniéndose un producto denso y granular (sinter), formado en un 90-97% por cristales de óxido de magnesio, MgO, y que se denomina magnesita calcinada a muerte o sinterizada.

Los procesos de calcinación se realizaron, en un principio, en hornos de cuba, en los que la carga se introducía por la parte superior y descendía lentamente a través del mismo alcanzando la máxima temperatura en la parte inferior. Estos hornos han sido sustituidos por hornos rotativos, calentados bien por fuel-oil o por carbón pulverizado.

La despolvorización de los hornos se efectúa mediante ciclones y filtros de lecho de arena. El sinter obtenido en los hornos se tamiza y muele para obtener diversos productos finales de acuerdo con las especificaciones requeridas por los compradores.

2.3.3. Obtención de magnesio

El tratamiento metalúrgico para la obtención del magnesio, a partir de la magnesita, consiste generalmente en una cloruración del concentrado de magnesita, seguida de una electrolisis.

Otro proceso, denominado carbotérmico, actúa mediante reducción de la magnesita, calcinada con carbón, y posterior condensación del magnesio.

2.3.4. Obtención del cloruro de magnesio

- Generalidades

Una de las mayores instalaciones de fabricación de magnesio del mundo es la de la Basic Magnesium, Inc., del estado norteamericano de Nevada, que explota un gran yacimiento de magnesita. La mena que se envía al molino (hay que beneficiarla) no debe contener más de 4 por 100 de materia insoluble, 4,5 por 100 de CaO y 2 por 100 de FeO más Al_2O_3 . Recurriendo a la flotación, la mena se beneficia hasta obtener un producto en el que estas impurezas se reducen, respectivamente, a 1,5, 1 y 0,5 por 100.

- Preparación

A continuación, esta materia prima se mezcla con las proporciones adecuadas de carbón, sales y turba para obtener una carga que reúna las propiedades físicas y químicas requeridas. El carbón hace las veces de agente reductor y la turba comunicará una mayor porosidad a la carga, mientras que la adición de las sales determina que ésta tenga la plasticidad que requieren las operaciones de alimentación y manipulación. La magnesita se tritura hasta un tamaño de 325 mallas, la turba hasta otro de 8 ma -

llas, y el carbón y las sales hasta 200 mallas. Una vez que los productos se han mezclado bien hasta obtener una "masa", una parte de este material se extruye para formar bloques de 5 cm de lado, que se secan en una estufa en la que el calor es suficiente para cementar la mezcla, pero no lo bastante elevado para carbonizar la turba. Otra parte de la "masa" se conforma en "pellets" de 2,5 cm, que se secan en hornos, y las dos formas así obtenidas se mezclan para obtener la carga de alimentación de las instalaciones de cloruración.

Una cloruración eficiente depende de ciertas características físicas definidas de la carga pelletizada con que se alimenta la instalación de cloruración; en otras palabras, ésta debe tener una elevada porosidad y una gran resistencia a la rotura. La resistencia física se debe al cemento de oxiclورو formado a partir del óxido de magnesio y de la disolución de cloruro magnésico, mientras que la porosidad es un resultado de la coquización de la turba, la cual, a su vez, se emplea como absorbente de la solución de cloruro magnésico en las fases iniciales de fabricación de los "pellets". El proceso hoy empleado prescinde de la turba en la mezcla. Su empleo implica gastos y dificultades, pues ha de transportarse desde grandes distancias y prepararse y almacenarse cuidadosamente. Se ha demostrado la posibilidad de moldear bloques de una mezcla viscosa de óxido de magnesio, carbón, sales y agua y, a continuación, someterla a un tratamiento térmico para obtener una estructura de panal de abejas que se adapta muy bien al tratamiento clorurante.

- Cloruración

Los aparatos de cloruración se mantienen a una temperatura inferior de 750-850°C mediante dos series de tres electrodos. Las calderas se cargan a la velocidad aproximada de 375 kg/hora. El cloro se introduce en la carga en las condiciones ya descritas, con el resultado de que se obtienen cloruro de magnesio anhidro, óxido de carbono, anhídrido carbónico y algunos hidrocarburos procedentes de la descomposición del carbón. El cloruro de magnesio anhidro, fundido, se recoge en la parte inferior del horno y se sangra cada hora, poco más o menos. Los gases residuales que llevan ácido clorhídrico y algo de cloruro de magnesio, así como óxido de carbono, anhídrido carbónico e hidrocarburos, atraviesan torres de lavado en las que el ácido clorhídrico y el cloruro de magnesio se recuperan, por disolución. A continuación, la solución ácida resultante se neutraliza con magnesia calcinada (óxido magnésico) y la solución obtenida se concentra hasta que contenga 275 gr. de cloruro de magnesio por litro. Esta solución se devuelve a la instalación de preparación, donde se emplea en la elaboración de más carga para el clorurador.

En este último queda un residuo constituido por sílice, alúmina, óxido de hierro y otras impurezas, pero en cantidad tan pequeña que los cloruradores sólo se limpian una vez cada tres semanas, aprovechando la reparación o sustitución de los electrodos, que suele llevarse a cabo con este intervalo de tiempo. Cuando se de

sea sangrar un horno, la carga fundida, que fluye y salpica como si fuera agua, se vacía por un agujero de sangrado y se lleva a las cubas electrolíticas en una cuchara especial montada en el ca mi ón.

El cloro se produce en la electrolisis de la disolución de salmuera obtenida a partir de la sal gema. Unicamente hay que sustituir la cantidad que se pierde en el proceso, pues el cloro regresa de las células para unirse a la corriente primaria. Se separa el gas hidrógeno que se forma en los cátodos mientras que el hidróxido sódico se elimina con los líquidos residuales de la célula tipo Hooker.

2.3.5. Proceso seguido en la fabricación de ladrillos refractarios de magnesita.

a) Preparación: selección a mano de la roca extraída del yacimiento reconociéndose la magnesita por su color y brillo. El talco presente en la magnesita se separa mediante flotación con espuma.

b) Trituración:
trozos del tamaño del puño → horno de cuba (12-14 t/día).
trozos pequeños → horno rotativo (hasta 200 t/día)

c) Calcinación: a 1.600°C en horno de cuba, hasta 1.800°C en horno rotativo.

Va seguida de un enfriamiento lento y eliminación a mano de las impurezas o separación magnética (el contenido de hierro de la magnesita la hace magnética).

d) Ensayo: Deben efectuarse, al menos, seis ensayos sobre el clínker de magnesita calcinada a fin de comprobar su naturaleza adecuada para la fabricación de ladrillos de magnesita.

1. Análisis químico.
2. Densidad relativa
3. Tamaño de cristal
4. Densidad a granel
5. Tendencia a la hidratación
6. Contracción en la cochura

La densidad relativa y la densidad a granel son una medida del " grado de intensidad de la calcinación, cuando se consideran en conjunción con el análisis químico. Hablando en términos aproximados, es necesaria una corrección de 0,01 en la densidad relativa por cada 1% de óxido de hierro. Así, el material puro de Grecia alcanza una densidad relativa de 3,50 después de su calcinación completa, en tanto que el material de Veitsch con 8% de óxido de hierro, puede llegar a alcanzar una densidad de 3,65.

El material perfectamente calcinado tiene un tamaño de cristal de 0,03 mm o superior.

La tendencia global a la hidratación debe permanecer dentro de un límite seguro, no debiendo existir núcleos aislados de material altamente reactivo.

El ensayo de contracción en la cochura es sólo comparativo, pero puede reflejar diferencias entre un nuevo suministro y los anteriores, etc. Una contracción demasiado grande da lugar a grietas y a ladrillos de tamaño inferior al normal.

- e) Molienda: se realiza en molinos de muelas verticales o molinos de bolas; en estos últimos, las bolas deben ser de acero al cromo, al cromo-níquel o al molibdeno. Mediante la molienda se logra una clasificación por tamaños. Se emplea exclusivamente la fracción de tamaño intermedio para la producción de ladrillos. A dicha fracción se le adiciona de 2 a 3% de agua y, si es necesario un aglutinante en molino de rulos perforado o molino de bolas.

Por último se le somete a una acidificación (de 1 a 10 días), necesaria sólo si existe cal libre u otro material caústico.

Moldeo:

Consistente en un prensado hidráulico, mecánico o a ariete, a más de 700 kg/cm^2 .

Secado:

En cobertizo al aire libre, seguido por un período de secado en ambiente húmedo a 20°C .

Cochura:

A unos 100°C por debajo de la temperatura de sinterización de -- 1.500-1.600°C. Los ladrillos de magnesita no pueden soportar - cargas pesadas durante la coadura, por lo cual, tanto en los hor_ - nos de cámaras como en los periódicos, deben protegerse con ca- jas formadas por ladrillos de sílice que soporten la carga. Es per_ misible un calentamiento relativamente rápido, seguido por un - lento enfriamiento. Se emplean:

- Hornos de colmena de tiro descendente (ciclo de unos 8-14 días).
- Hornos de cámaras, de Mendeheim, con ciclo de 8 días.
- Hornos de túnel, de 3 a 5 días.

2.3.6. Proceso de fabricación de refractarios de cromo-magnesita

a) Preparación

Una vez realizada la molienda, se efectúa una clasificación por - tamaños. La clasificación ejerce un gran efecto sobre la resisten_ cia al choque térmico, debiendo ser un 60% de gruesos como mí- nimo y no más de 25% del tamaño intermedio. El método británi_ co usual utiliza:

- cromita gruesa retenida por el tamiz de 25 mallas
- magnesita fina pasada por el de 72 mallas.

En cambio, una mezcla alemana para uso en moldes vibrantes - viene constituida como se indica a continuación:

- 5% polvo de magnesita
- 30% de magnesita de 1-3 mm (0,04-0,12 pulgadas)
- 25% de polvo de cromita
- 40% de cromita de 2-3 mm (0,08-0,12 pulgadas).

Así preparado, se amasa con 6-7% de agua en mezclador para moldeo en matrices vibrantes.

b) Moldeo:

Prensado en seco en prensas hidráulicas o de impacto. En Alemania moldes vibrantes.

c) Secado:

Las piezas más húmedas sobre tarimas en un ambiente templado - a 27-35°C durante 8 días.

d) Cochura:

Existen diversos intervalos de temperaturas:

1.400 - 1.650 °C

1.480 - 1.500 °C

1.520 - 1.540 °C

- Hornos periódicos: si son pequeños pueden tener un ciclo rápido, son alimentados por carbón.
- Hornos de túnel: alimentados por gas o fuel-oil, Presentan la ventaja de la poca altura de su carga, que reduce el aplatamiento.

e) Ensayos:

1. Porosidad verdadera y aparente.
2. Densidad relativa y densidad a granel.
3. Forma, tamaño, abarquillamiento.
4. Índice de resquebrajamiento.
5. Estabilidad de volumen a una temperatura dada.
6. Resistencia al aplastamiento en frío.
7. Refractariedad bajo carga a) temperatura creciente
b) temperatura constante
8. Expansión térmica reversible.
9. Conductividad térmica.
10. Permeabilidad
11. Calor específico
12. Expansión por hinchamiento en presencia de cascarilla de laminado a 1.600°C.

3. COMPOSICION Y PROPIEDADES GENERALES

3.1. Composición

La magnesita, carbonato de magnesio ($MgCO_3$), se compone teóricamente de:

47,7 % de MgO

52,3 % de CO_2

Es muy difícil encontrarla en estado puro y contiene generalmente cantidades variables de hierro, cal y sílice como impurezas más notables, sobre todo en la variedad cristalina (espática). En otros casos se presenta con abundancia de caliza, dolomía e incluso arcilla.

Un análisis químico típico de la magnesita cruda daría los siguientes resultados:

MgO	38-44 por 100
CaO	1-3 por 100
Fe_2O_3	2-7 por 100
Al_2O_3	1-3 por 100
SiO_2	1-4 por 100
CO_2	50 por 100

En el cuadro nº 3, se indican las composiciones de algunas magnesitas de los principales países productores.

CUADRO Nº 3.COMPOSICION DE ALGUNAS MAGNESITAS

Magnesita	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃ y Al ₂ O ₃	SiO ₂ más indeterminados	CO ₂ y H ₂ O
- Canadá Argentevil Co. Quebec.	38,4	9,5	1,0	1,7	49,4
- India Salem, Madras	47,4	-	0,3	0,6	51,7
- Australia Fifield and -- Attunga, New - South Wales	41,8	1,9	0,7	2,4	53,2
- Austria Veitsch	43,1	1,1	4,3	1,6	49,9
- Grecia	46,4	0,7	0,4	1,4	51,1
- URSS Satka	44,1	3,8	0,9	0,6	50,6
- Yugoslavia Skoplje	46,8	1,4	0,7	0,3	50,8
- U. S. A. Washington	43,5	1,0	1,5	1,5	52,5
- Manchuria	44,1	3,1	0,3	1,3	51,3

Unidad: en %.

Fuente: elaboración propia con datos de distintas fuentes.

Mineralógicamente, la magnesita es uno de los extremos de una serie isomorfa de carbonatos de magnesio y hierro.

El hierro ferroso sustituye al magnesio y la serie isomorfa completa se extiende hasta la siderita. Se encuentran también pequeñas cantidades de calcio y manganeso.

El ión ferroso puede entrar en la red de la magnesita $MgCO_3$ en cualquier proporción y, de modo análogo, el magnesio puede entrar en la red de la siderita $FeCO_3$, en todas proporciones. (Esto constituye un claro ejemplo de solución sólida o isomorfismo). Es evidente que las exigencias espaciales de las redes de la magnesita y la siderita son lo suficientemente parecidas, de modo que ambos iones pueden cumplir con igual facilidad esas condiciones. Como además la carga de ambos iones es la misma, la sustitución es simple. En un caso así, la relación entre la siderita y la magnesita puede ser considerada como de solución sólida, y los minerales de composición intermedia considerados como si fueran soluciones homogéneas de $MgCO_3$ en $FeCO_3$ o viceversa.

3.2. Propiedades ópticas y cristalográficas

Cristaliza en el sistema trigonal. Generalmente se presenta en masas criptocristalinas blancas, compactas y terrosas y menos frecuentemente en masas granulares exfoliables, bastas o finas.

Es incolora en sección delgada.

Exfoliación romboédrica perfecta ($10\bar{1}1$), con un ángulo de exfoliación de $72^{\circ}36'$, excepto en la variedad microcristalina.

El relieve es cambiante con la rotación, como en la calcita y la dolomía. Tiene un relieve elevado, cuando la diagonal mayor del rombo es paralela al plano de vibración del nicol, y un relieve bajo, cuando la diagonal menor es la que está en esa posición.

Birrefringencia extrema; $n_{\omega} - n_{\epsilon} = 0,191$ a $0,199$. Los colores de interferencia son gris perla.

Extinción simétrica con respecto a las trazas de exfoliación. Maclado ausente o no conocido.

La figura de interferencia es uniáxica negativa con muchos anillos.

3.3. Propiedades físicas

Color.

La variedad cristalina puede tener cualquier color, desde el blanco - hasta el marrón oscuro, dependiendo de la naturaleza de las impurezas.

La magnesita criptocristalina tiene un color blanquecino, debido a un pequeño contenido de sílice.

Brillo.

Vítreo, transparente o translúcido.

Peso específico.

El peso específico de la magnesita amorfa varía entre 2,9 a 3. La magnesita cristalina pura tiene un peso específico de 3,2, pero el carbono de hierro, normalmente presente, hace subir el p.e. a valores algo superiores.

El peso específico de las magnesitas españolas de Eugui (Navarra) y Rubián (Lugo) son respectivamente 3,029 y 3,032. Sin embargo, el p.e. de la magnesita encontrada en Gran Canaria es de 2,755.

Dureza.

La forma cristalina tiene una dureza, según la escala de Mohs, de 3,5 a 4.

La forma criptocristalina, de grano fino y compacto, no presenta fisuras; su fractura es concoidal y su dureza varía de 3,5 a 5.

3.4. Propiedades térmicas

La magnesita comienza a disociarse, desprendiendo dióxido de carbono, a 500°C. Por calcinación a 800°C se produce magnesita "caústica" que puede hidratarse completamente por contacto con agua o vapor.

La magnesita calcinada a muerte, a la que se llega por calcinación a 1.500°C, no puede hidratarse.

La magnesita requerida para la fabricación de refractarios se calienta aún más hasta 1.600-1.800°C para sinterizarla, y durante dicho proceso se produce una contracción próxima al 25%.

La contracción tardía es entonces relativamente pequeña. Las magnesitas que contienen hierro se sinterizan mucho más fácilmente que las exentas de hierro, al parecer debido a la formación de ferrita magnésica por encima de los 1.200°C.

3.5. Características distintivas

La magnesita es muy similar a la dolomita y a la calcita, y no tiene, - si se dejan a un lado los índices de refracción, propiedades ópticas dis - tintivas. Por esa razón, pueden ser necesarios los análisis químicos - o microquímicos para distinguirlos.

Un buen método de campo para la diferenciación de la magnesita por - comparación con las otras rocas carbonatadas, aunque no necesaria - mente válido, es el tratamiento con ácido clorhídrico diluído frío: en la caliza se producen efervescencias al poner unas gotas sobre su - superficie; la dolomía en polvo también da efervescencia, mientras que por lo general la magnesita no lo hace. Sin embargo, en caliente produce también la efervescencia característica, disolviéndose.

La solución, después de precipitado el hierro y el calcio da, en prese - ncia de un exceso de amoníaco con fosfato sódico, un precipitado - granulado blanco de fosfato magnésico amónico.

Reducida a polvo, es soluble en ácidos calientes. Al hervir la magnes - ita con amarillo de titanio en disolución débilmente alcalina, se tiñe de rojo oscuro.

Las variedades con exfoliación se distinguen de la dolomía únicamente por su peso específico más elevado y la poca cantidad de calcio. La variedad maciza blanca se parece al pedernal y se distingue del mismo

por su menor dureza. En sus afloramientos, la magnesita cristalina es frecuentemente pardoamarillenta y a veces resalta mejor debido al -- CO_3Ca lixiviado.

En sección pulida, la magnesita da una reflexión algo más fuerte que la calcita y la dolomía. Después de una intensa calcinación da reacción alcalina débil con el papel de ensayo húmedo.

3.6. Textura

La textura es usualmente granoblástica, con poca o ninguna orientación de los cristales alotriomorfos de magnesita. En algunos tipos el tamaño del grano varía notablemente de un lugar a otro, próximos, alcanzando algunos granos de magnesita un diámetro de 2,5 cm o más.

Otros tipos (pinolita) están formados por lentejones de granos de magnesita de color claro, en una matriz reticular de magnesita oscura de grano más fino. En los bordes de algunas masas de magnesita se aprecian claramente texturas cataclásticas.

La textura de las magnesitas de los dos principales yacimientos españoles presenta las siguientes características:

a) Magnesita de Rubián:

Esta magnesita es de tipo cristalino. Observada al microscopio petrográfico se ve que su textura es bastante homogénea, por lo que resulta difícil distinguir los cristales de magnesita de los de calcita. Se han podido detectar pequeñas cantidades de illita, así como algunas cantidades aisladas de clorita de color negro. Algunas veces se pueden ver pequeñas inclusiones de hematites. Ocasionalmente también se detectan cristales de cuarzo aislados.

b) Magnesita de Navarra:

Presenta una textura bastante heterogénea; mientras unas partes son finamente cristalinas, otras presentan tamaños de cristales

más grandes. El color es gris negro con algunas inclusiones blancas. A primera vista no es fácil distinguir entre dolomía y magnesita. -- Aquella, que es una de las principales impurezas, se presenta de color blanco, por lo que se confunde con la magnesita; sin embargo, se puede apreciar una clara diferencia en su textura.

Se pueden ver algunos cristales de cuarzo aislados, así como pequeñas inclusiones de siderita íntimamente asociada con la magnesita.

4. USOS

4.1. Introducción

La magnesita en su estado natural (magnesita cruda) tiene un número muy limitado de utilizaciones, destacando entre ellas su uso ocasional para la fabricación de sal de Epsom (epsomita).

Una vez calcinada, adquiere su verdadera importancia, y se hace necesario separar claramente entre la magnesita calcinada caústica - (entre 700° a 1.000°C) y la magnesita calcinada a muerte (temperaturas superiores a 1.450°C), pues el grado de calcinación es la principal variable para producir las distintas calidades exigidas en cada aplicación particular.

4.2. Magnesita calcinada cáustica

La magnesita calcinada cáustica tiene muy diversas aplicaciones, en tre las que cabe destacar las siguientes:

4.2.1. Fabricación de cementos Sorel.

El cemento Sorel no es un producto comercialmente disponible para su uso, sino que se prepara a pie de obra, en el momento en que sea necesaria su utilización.

Las materias primas para su fabricación son un 20% de solución de cloruro de magnesio en agua, y óxido de magnesio obtenido por calcinación de la magnesita a una temperatura comprendida entre los - 750 y 950°C. (La magnesita calcinada a altas temperaturas no se uti liza en este proceso). Poco antes de su aplicación, el óxido de magnesio se mezcla con la solución anterior para formar una masa sól ida de oxiclорuro de magnesio de fórmula $3 \text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11 \text{H}_2\text{O}$.

El tiempo de solidificación varía de 2 a 8 horas según sea la composición. El producto resultante es duro y resistente, aunque no a la acción del agua. La resistencia a la compresión del producto endurecido puede alcanzar valores superiores a 700Kg/cm^2 .

El cemento Sorel se utiliza principalmente en revestimientos. Para este fin se incorporan al cemento grandes cantidades de material de carga termoaislante. La resistencia al desgaste se puede aumentar

incorporando carborundum finamente dividido en la capa superficial. La ventaja de los revestimientos de magnesita es su baja conductividad calorífica; sin embargo, tienen una gran desventaja, pues no resisten la acción del agua y deben, por lo tanto, preservarse de la humedad.

La resistencia a la humedad se puede mejorar tratando el revestimiento con una mezcla de parafina y turpentina. Los revestimientos de magnesita se utilizan en algunas ocasiones colocándolos debajo del pavimento, bien sea de parquet, terrazo, tejas, etc. El cemento Sorel se utiliza también como aglomerante en la trituración de rocas.

4. 2. 2. Agricultura y ganadería

Uno de los usos de la magnesita caústica que más rápidamente se ha extendido es en la agricultura, como aditivo en la producción de fertilizantes. Este incremento tuvo lugar al descubrirse una serie de carencias de magnesio en las plantas, elemento que es uno de los constituyentes de la clorofila e interviene en la absorción del fósforo, contribuyendo a hacer más resistentes los tejidos.

En España es necesario el magnesio en los terrenos ácidos o silíceos, en donde hay grandes cultivos de remolacha y otros tubérculos, frutales, gramíneas y pastos. La repercusión en estos últimos alcanza al ganado (vacuno, lanar, etc) pues el bajo índice de magnesio puede afectarle gravemente, dando origen a síndromes patológicos (hipomagnesimia), cuyos síntomas más generales son contracciones

musculares, andar vacilante, pérdida del apetito y en los casos más agudos, convulsiones y muerte repentina. Las importantes pérdidas que se ocasionaron, tanto en ingresos como en cabezas de ganado, - llevaron a una amplia investigación que concluyó en determinar co - mo causa de todos estos trastornos el bajo contenido de magnesio en la sangre de los rumiantes. Para remediar la enfermedad se comple - menta la alimentación del ganado con magnesita calcinada caústica.

En el organismo humano también se han hecho estudios sobre el - magnesio, llegándose a la conclusión de que el magnesio regula el equilibrio celular, participa en la defensa contra las infecciones y permite una mayor resistencia a la fatiga.

4.2.3. Otros usos

- En las grandes industrias del papel, donde se necesitan lejías para descincrustar la madera y obtener celulosa, se están - empleando lejías con base magnésica, desplazando a las de ba - se cálcica o amónica.
- Las industrias de la pulpa y el papel la emplean para dar fle - xibilidad y obtener pulpas más manejables que las resultantes de la utilización de una base de calcio.
- La industria del caucho sintético utiliza una importante canti - dad, actuando como agente estabilizador del vulcanizado.

- Otra importante aplicación es en la industria textil, para la fabricación del rayón y seda artificial.
- En la neutralización de los gases de combustión de fuel, donde se desprenden grandes cantidades de anhídrido sulfuroso, gas corrosivo y nocivo para la salud. Para este uso, España exporta magnesita cáustica.
- En la industria farmacéutica, para la elaboración de antiácidos.
- En los procesos industriales del vidrio y cerámica, así como en la industria química, para la obtención de compuestos químicos de magnesio.
- Como aislador de hornos eléctricos y en la fabricación de resistencias de cocinas eléctricas.
- En menor proporción se utiliza en el tratamiento de minerales de uranio, refinado del azúcar, agente de carga en pinturas y cosméticos, industria de abrasivos, ciertas clases de electrodos, etc.

A pesar de que el número de usos de la magnesita calcinada cáustica es elevado, no se utiliza en grandes cantidades, por lo cual la demanda total de este tipo de magnesita resulta bastante reducida.

4.3. Magnesita calcinada a muerte

La magnesita calcinada a muerte tiene unas aplicaciones mucho más definidas y se utiliza en cantidades mucho mayores que la calcinada cáustica, llegando a representar entre el 70 y el 80% de la demanda mundial de magnesita en todas sus formas.

El mayor porcentaje de la utilización de magnesita calcinada a muerte es en la industria de los refractarios básicos, y en menor medida, en forma granular, en pastas de revestimiento interior de hornos y retortas de algunas industrias metalúrgicas.

4.3.1. Industria de los refractarios

Los nuevos métodos de fabricación del acero, con la creciente in-troducción de los procesos LD, Rotor, Kaldo, etc. han tenido un efecto revolucionario sobre la fabricación de refractarios básicos y las materias primas requeridas por la industria de refractarios.

Los procesos que utilizan oxígeno requieren menos refractarios - por tonelada de acero fundido, pero las condiciones más desfavorables, presentes en los nuevos hornos, tienen como consecuencia un mayor esfuerzo sobre los revestimientos. Los fabricantes de acero han llegado a la conclusión de que los materiales de magnesia - dan los mejores resultados.

El crecimiento de los procesos de producción de los refractarios de magnesita ha remitido algo en los últimos años debido a la crisis del petróleo, pues dichos procesos emplean grandes cantidades de fuel, motivo este que ha llevado al cierre temporal de algunas empresas y en todos los casos a un fuerte encarecimiento de los precios.

4.3.1.1. Refractarios de magnesita

Esta pasta se compone principalmente de óxido de magnesio cocido o calcinado a muerte, obtenido por calcinación de rocas de magnesita natural, o bien de hidróxido de magnesio obtenido a partir del agua del mar. El contenido en magnesita está comprendido normalmente entre el 85 y el 95%. El constituyente secundario más importante es el óxido de hierro, que puede variar entre el 8% y 0,5% o menos.

El refractario de magnesita calcinada a muerte tradicional está compuesto por granos de periclasa relativamente pequeños que no se traban, estando aglutinado el conjunto por una matriz vítreo.

Las magnesitas naturales se sinterizan a velocidades variables, (Las del depósito austriaco de Veitsch lo hacen muy fácilmente, estas magnesitas tienen un elevado contenido de hierro). Los contenidos de hierro altos hacen más fácil la sinterización aunque el la drillo acabado resulta menos refractario, por lo que se creyó inicialmente que la matriz era un vidrio rico en hierro.

Sin embargo, se demostró (Birch) que en el grano de periclasa entra en disolución sólida el óxido ferroso junto con óxido de magnesio y otros óxidos divalentes en menor proporción y también ferrito de magnesio $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, mientras que el vidrio tiene por base $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ junto con magnesia, álcalis, etc.

El reblandecimiento de un refractario de magnesita viene por lo tanto regido, en gran parte por el comportamiento en la fusión de los silicatos, que Birch piensa se componen principalmente de CaO , Al_2O_3 y SiO_2 . Los datos de equilibrio del sistema ternario formado por estos tres óxidos ayudan a determinar el comportamiento de un refractario de magnesita en cuanto al reblandecimiento.

Las experiencias de Nadachowski demuestran también que el ferrito de magnesio entra en solución en la periclasa cristalina en lugar de estar en equilibrio con los silicatos, en cuyo caso se formaría una mezcla eutéctica a 1.350°C . Cuando el ferrito magnésico se reemplaza por aluminato magnésico en una pasta refractaria de magnesita, éste no se disuelve en la periclasa sino que realmente forma una eutéctica con la fase líquida de silicato como cabría esperar.

Kried, Ford y White han investigado el efecto de otras adiciones en la sinterización de la magnesia, que se resumen en los siguientes puntos:

- El CaO inhibe la sinterización.
- El TiO_2 , Al_2O_3 y SiO_2 la promueven, existiendo para cada uno de ellos una adición óptima, tras la cual se produce la inhibición.

La sinterización de la magnesia pura es mucho más difícil que la de las magnesitas ricas en hierro. Cuando no es necesario obtener un producto de pureza muy elevada, la sinterización de la magnesia pura se favorece mediante adiciones de óxido de hierro, cromita, etc.

La adición de 0,25% o más de ciertos compuestos de litio, en particular haluros, facilita el prensado y la sinterización de formas reactivas de óxido de magnesio de alta pureza .

Los ladrillos normales de magnesita tienen un elevado coeficiente de expansión térmica ($13,5 \times 10^{-6}$ entre 20 y 800°C , $13,2 \times 10^{-6}$ entre 20 y 1.400°C) lo cual conduce a una débil resistencia al choque térmico. Esto se evita en tipos especiales por uno o ambos de los siguientes métodos.

- a) Clasificación cuidadosa, empleando gránulos de tamaño único aglutinados por polvo fino.
- b) Adición de 2 a 6% de Al_2O_3 .

La aglomeración de la magnesia calcinada para el moldeo de los ladrillos puede lograrse sin más adiciones que la de agua, que hidrata toda la magnesia o cal cáustica presentes, o bien puede requerir la adición de una de las siguientes materias: álcalis, cal cáustica, ácido bórico, cenizas de carbón, arcilla, cemento, sales de magnesio, alquitrán, melazas, etc.

4.3.1.2. Ladrillos de magnesita

Propiedades

El principal ladrillo refractario básico es el ladrillo de magnesita. Frecuentemente de estructura muy densa. Refractoriedad extremadamente alta.

El ladrillo normal presenta una débil resistencia al resquebrajamiento, pero tipos especiales y los ladrillos ligados químicamente o recubiertos de acero son mejores en este aspecto.

La resistencia al aplastamiento en frío es satisfactoria, pero la pérdida de resistencia con temperaturas crecientes es mayor que en el caso de los ladrillos de sílice. Esto es debido al reblandecimiento de la matriz, que está constituida por las diversas impurezas naturales del material o añadidas al mismo. Así, muchos ladrillos de magnesita se reblandecen a 1,500°C, los de buena calidad resisten los 1.700°C, en tanto que los constituidos por la magnesita natural más pura fundida eléctricamente son adecuados para 2.000°C con tal que reine una atmósfera oxidante.

La resistencia a la corrosión es elevada. Poseen una resistencia ab soluta a los agentes oxidantes, resistencia a los agentes reducto- res hasta 1.500°C, junto con resistencia perfecta a los metales - fundidos y las escorias básicas, y resistencia satisfactoria a las escorias ácidas, bajando esta resistencia si el porcentaje de sílice es muy elevado.

Los ladrillos ordinarios de magnesita presentan tendencia a una - débil resistencia al choque térmico, si bien cierto número de marcas han vencido esta dificultad, algunas de ellas por adición de 2 a 6% de alúmina y otras mediante el empleo de magnesita espe- cialmente pura.

La conductividad térmica de los ladrillos de magnesita es muy ele vada, de 0,0061 cal-cm /cm²-s-°C a 300°C, disminuyendo con la - temperatura creciente.

La conductividad eléctrica es baja a la temperatura ambiente, pe- ro se hace importante a temperaturas más altas, por ejemplo -- 1.500°C. Por lo tanto en un horno de arco, tipo Greaves Etchells, puede utilizarse un fondo de magnesita como un tercer electrodo.

La expansión térmica es bastante alta, de 3,2 a 1,4% a lo largo del intervalo de temperaturas comprendido entre 20°C y 1.000°C.

Materias primas

Las materias primas utilizadas son la roca de magnesita, brucita o magnesia de agua de mar sin aglutinante, o con uno cualquiera -

de los siguientes aglutinantes: óxido de hierro, mineral de cromita, álcalis, óxido cálcico, ácido bórico, cenizas de carbón, arcilla, cemento, sales de magnesio, silicato sódico, alquitrán, melazas, óxido magnésico.

Usos

Los ladrillos de magnesita se utilizan en hogares de hornos eléctricos básicos y hornos de solera abierta básicos (si se utilizan ladrillos de sílice para los techos de tales hornos, la sílice y la magnesita deben separarse por una capa de ladrillos de cromomagnesita.)

Se utilizan en el revestimiento de mezcladores inactivos de tipo de tambor. En las paredes posterior, anterior y extremas de hornos de acero. En las capas superiores de recuperadores de calor. En revestimientos de hornos de fusión y refino para cobre, estaño, plomo y antimonio.

También se emplean en los hornos rotativos de cemento, hornos de fusión de vidrio (ladrillos con baja proporción de hierro) y paredes laterales inferiores de hornos de resudamiento.

4.3.1.3. Refractarios de magnesita-óxido de cromo y de óxido de cromo-magnesita.

Se ha desarrollado una serie de refractarios con los refractarios de magnesita y de óxido de cromo como puntos extremos. En aque

Las composiciones en las que predomina la magnesita el producto se denomina magnesita-óxido de cromo, mientras que en las que predomina el óxido de cromo (70 : 30 ó 60 : 40) el refractario se conoce como óxido de cromo-magnesita.

Estas composiciones intermedias tienen propiedades muy favorables de las que carecen ambos miembros extremos, particularmente una notable resistencia al resquebrajamiento por el calor.

A) Refractarios de cromo-magnesita

Características

Robustez mecánica y estabilidad a temperaturas altas. Resistencia al resquebrajamiento entre buena y excelente. Alta resistencia a la corrosión por las escorias básicas. Mejor resistencia que la magnesita a los esfuerzos de torsión y tensión a altas temperaturas.

Acusan cierta tendencia al hinchamiento en contacto con óxido de hierro.

Como materia prima para este tipo de refractarios se utiliza cromita y magnesita calcinada a muerte.

Usos

En hornos metalúrgicos no férreos, por ejemplo, para cobre (techo de bóveda suspendida), convertidores y hornos de lu -

sión de reverbero; convertidores de níquel; paredes laterales inferiores y superiores y techos de hornos de reverbero de plomo; fondos y paredes laterales de hornos de aluminio, muros laterales y arcos de refuerzo en hornos de ánodo de cobre y hornos para barras de alambre. Cielos de hornos de solera abierta totalmente básicos. Hornos de resudamiento. Hornos de recalentamiento.

B) Refractarios de magnesita-cromo

Sus principales características son: robustez mecánica, estabilidad de volumen y resistencia a la abrasión y a la erosión a temperaturas altas, excelentes. Resistencia al resquebrajamiento muy satisfactoria. Resistencia elevada a la corrosión por las escorias básicas.

Su fabricación es semejante en general a la de los refractarios de cromo-magnesita, excepto en lo que se refiere a las proporciones y a la granulometría de las materias primas.

5. CALIDADES Y ESPECIFICACIONES

Es la industria transformadora (figura nº 5) la que marca las exigencias de calidad y las especificaciones de las magnesitas requeridas para la fabricación de los diferentes productos magnesianos.

La diferencia esencial entre los dos productos que ofrece la industria básica, magnesita calcinada cáustica y magnesita calcinada a muerte, consiste en el distinto contenido en MgO, así como las distintas impurezas que cada uno de ellos contiene; todo ello determina su aplicación para los diversos usos.

La magnesita calcinada cáustica, con menos del 90% de MgO, admite un mayor contenido en impurezas que la magnesita calcinada a muerte; la calidad de esta última es tanto mayor cuanto más lo sea su contenido en MgO, por lo común superior al 90%. Se exige igualmente que los contenidos de boro y alúmina sean mínimos, así como que la relación de caliza a sílice sea igual a 2 o ligeramente inferior.

A la magnesita calcinada se le exige siempre una serie de requisitos tales como tamaño del grano, color, pérdidas por combustión, análisis químico y densidad; sin embargo, la cuantificación de todas estas características es función directa del uso a que va a ser destinada.

Así, en la preparación de cementos "Sorel" la magnesita calcinada caústica es sometida previamente a pruebas de debastamiento plano. Se exige, también, tener poca o no tener cal libre, insuficiente contenido en hierro para colocar la magnesia y estar molida en su mayor parte a 200 mesh (equivalentes a 74 micras). Lo esencial en este caso es un control cuidadoso del proceso de calcinación. Si la magnesita está insuficientemente tostada el cemento se fijará demasiado rápidamente. Por el contrario, si la tostación ha sido excesiva, se provoca un cemento con una fijación lenta que resulta muy frágil.

Para el empleo en fertilizantes se requieren unos grados granulares satisfactorios en las cantidades adecuadas. Las especificaciones normalmente exigidas por dicha industria son:

MgO	83	%
SiO ₂	9	%
Fe ₂ O ₃	0,8	%
Al ₂ O ₃	1,2	%
CaO	3,2	%
Pérdidas	2,8	%

Con la tendencia al aumento de los procesos de afino con oxígeno en la fabricación del acero, las exigencias requeridas a los productores de refractarios han llegado a ser muy estrictas. De este modo, a la magnesita calcinada a muerte empleada para la fabricación de refractarios básicos se le exige un alto contenido en MgO, bajo contenido en Fe₂O₃ y SiO₂. menores contenidos aún en Al₂O₃ y B₂O₃, relación de caliza a

sílice de 2:1, granos angulares preferiblemente grandes y alta densidad.

Aparte de estas indicaciones generales los requisitos varían ampliamente en función del uso particular que va a hacerse de la magnesita calcinada como refractario.

Dentro de las especificaciones de grado para ladrillos pueden distinguirse tres tipos principales de magnesita calcinada a muerte:

TIPO DI

MgO	92	% mín.
CaO	2,5 - 3,5	%
SiO ₂	0,8 - 1,5	%
Fe ₂ O ₃	2 - 4	%
Al ₂ O ₃	1	% máx.

TIPO FB

MgO	94	% mín.
CaO	0,8 - 1,5	%
SiO ₂	3 - 4	%
Fe ₂ O ₃	1,5	% máx.
Al ₂ O ₃	1	% máx.

TIPO DH

MgO	94	% mín.
CaO	2,5 - 3,5	%
SiO ₂	0,8 - 1,5	%
Fe ₂ O ₃	0,8	% máx.
Al ₂ O ₃	0,5	% máx.

Común para los tres tipos citados son las exigencias de granulometría entre 0 y 25 mm. y humedad máxima de un 0,5%

En el caso de magnesitas calcinadas a muerte para parcheo y mantenimiento de hornos, no se requiere una pureza tan grande. Las especificaciones normales exigidas varían en torno al modelo que a continuación se cita:

MgO	80	% mín.
SiO ₂	6-7	%
Fe ₂ O ₃	4-5	%
CaO	5-6	%
Al ₂ O ₃	1,25	% máx.

El tamaño del grano ha de ser normalmente menor de 20 mm. y la humedad inferior al 1%.

6. PRODUCTOS SUSTITUTIVOS

Las principales fuentes para la obtención de magnesia, en competencia con la magnesita, son las siguientes:

- Tratamiento de la dolomía, kieserita y olivino.
- Magnesia obtenida mediante procesos de recuperación de las sales de magnesio del agua del mar y grandes lagos salados.
- Salmueras de las explotaciones de sales sódicas y potásicas.

El proceso de extracción de magnesia a partir del agua del mar consiste esencialmente en la precipitación, en forma de hidróxido, del magnesio que, en cantidad de 0,013%, se encuentra en el agua del mar por medio de la adición de hidróxido cálcico. El precipitado se filtra, se seca y calcina en un horno rotatorio. El proceso está altamente mecanizado, ya que es necesario manejar grandes cantidades de agua de mar para obtener una tonelada de magnesita.

La competencia entre los productores de mineral y los que obtienen la magnesita del agua del mar ha sido particularmente grande en los últimos años, y aunque la procedente del agua del mar ha sustituido a la mineral en muchas aplicaciones, la demanda de magnesita natural no ha bajado.

Esta competencia ha dado como resultado una gran calidad en el producto, siendo la industria del acero la más beneficiada. Como la demanda de refractarios básicos continúa y la tecnología de la industria

también crece, no parece existir peligro en el mercado de ambos grupos de productores.

Además de la industria de refractarios, ciertas industrias del sector de la magnesita, como las del cemento y químicas, tienden a disminuir su consumo de magnesita, siendo sustituida por bauxitas (aluminio) y dolomitas.

De las nuevas fuentes citadas al comienzo de este apartado para la obtención de magnesia, se obtiene un producto de gran pureza con un alto contenido en MgO, resultando así una materia prima ideal para la fabricación de refractarios.

Hay que prever, sin embargo, que sólo el alto contenido de óxido de magnesio no es suficiente para determinados usos, sino que también hay que evitar la presencia de ciertas impurezas (como por ejemplo el boro) que, a altas temperaturas, pueden llegar a producir efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas de los productos en fabricación.

La fabricación de magnesia procedente del agua del mar no parece probable en España a pesar de la existencia de dolomías de excelente calidad, que es otra de las materias primas necesarias. Influye en ello la enorme polución que producen dichas plantas marinas, hasta el punto de la posible prohibición de las mismas en un futuro no muy lejano por este motivo.

En cuanto a la obtención de magnesita a partir de salmueras, la empresa Potasas de Navarra tiene previsto un proyecto de aprovechamiento de las lejías residuales ricas en magnesio, procedentes de la carnalita. La magnesita que se obtenga está prevista para ser empleada como materia prima para refractarios con leyes de más de 96% de MgO y tonelajes de 60.000 t/año de óxido magnésico sinterizado.

7. BIBLIOGRAFIA

- Real Sociedad Española de Historia Natural. (Giobertita de Gran Canaria).
Federico Macau Vilar.
- Tratado de Mineralogia.
F. Klockmann.
P. Ramdohr
- Mineralogía Optica.
P. F. Kerr
- Petrografía Microscópica.
E. W. M. Heinrich.
- Yacimientos y Criaderos.
W. E. Petrascheck.
- Nuevas Observaciones sobre la magnesita sedimentaria. (Estudios Geológicos Vol. XV. 1959).
J. Gómez Llarena.
- Notas complementarias sobre la magnesita de los Pirineos franceses y españoles.
(Real Sociedad Española de Historia Natural).
J. Gómez Llarena.

- Observaciones complementarias y experimentales sobre la magnesita sedimentaria.
J. Gómez de Llarena.
Notas y Comunicaciones Inst. Geol. y Minero de España.
nº 66. Año 1962

- Estudio mineralógico del yacimiento de magnesita de Asturreta (Navarra).
S. Leguey, F. Arrese, Julio Rodriguez.
Bol. R. Sociedad Española de Historia Natural (1967).

- Cerámica Industrial. Vol. I y III
F. Singer y S. S. Singer

- Materials - Technology
2. Non-metallic. Minerals and Rocks

- Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico.
Alan M. Bateman

- Programa Nacional de Explotación Minera.
Minería de minerales no metálicos.

- Minerals for the chemical and allied industries.
S. J. Johnstone y M. G. Johnstone.

- Industrial Minerals. Diciembre 1970 y Mayo 1974

- Non-metallic Minerals
London Commonwealth Secretariat. 1967
- Magnesium, Magnesite, Dolomite and Magnesium. Compounds.
Roskill Information Services, Ltd.
- Magnesium and Magnesium Compounds.
IC Bureau of Mines. 8201
- Industrial uses of Selected Minerals
- Orientaciones básicas para planificar el aprovisionamiento de
primeras materias minerales, excluidos los hidrocarburos: la
magnesita.
Ministerio de Industria.
- Boletín de la Sociedad Española Cerámica.
Vol. 4 nº 4.
Vol. 14 nº 2.
- Rock Forming Minerals
Deer, Howie and Zussman. Vol. 5
- Handbook of Mineral Dressing Ores and Industrial Minerals.
A. F. Taggart.