

# Minería y calcinación en el polo yesero de Pernambuco (Brasil)

C.A.M. Baltar<sup>(1)</sup>, F. de F. Bastos<sup>(1)</sup> y A.B. da Luz<sup>(2)</sup>

(1) Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia de Minas. Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, CTG/UFPE  
CEP 50740-530, Cidade Universitária. Recife-PE, Brasil  
camb@ufpe.br; flaviaf.bastos@zipmail.com.br

(2) Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT. Av. Ipê, 900. CEP 21941-590. Ilha da Cidade Universitária. Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
ALUZ@cetem.gov.br

## RESUMEN

El yeso es un sulfato dihidratado de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que suele ser utilizado en la fabricación de cemento, donde es añadido al *clínquer* con la finalidad de ampliar el tiempo de fraguado del producto. El yeso presenta una característica peculiar que consiste en la facilidad de deshidratación y rehidratación. Durante el proceso de calcinación pierde 3/4 del agua de cristalización, convirtiéndose en un sulfato hemidratado de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) que, cuando es mezclado con el agua, puede ser moldeado y trabajado antes de endurecer y adquirir la consistencia mecánica de la forma estable rehidratada. En Pernambuco, Brasil, hay abundantes reservas que son consideradas las de mejor calidad del mundo debido a su elevada ley en yeso. El centro productor, conocido como Polo Yesero de Pernambuco, produjo en 2003 alrededor de 1,4 millones de toneladas de yeso, representando el 92% de la producción brasileña. El 34% de la producción del polo estuvo destinada al uso cementero, abasteciendo a las fábricas de la región nordeste de Brasil, responsables del 19,1% de la producción nacional de cemento. El trabajo muestra un diagnóstico del polo de Pernambuco, principal centro productor de yeso natural y yeso calcinado en Brasil y además presenta las fuentes de  $\text{SO}_3$  utilizadas en las fábricas de cemento.

Palabras clave: fabricación de cemento, Pernambuco, retardador del tiempo de fraguado, yeso.

## ***Mining industry and calcination in the plaster pole of Pernambuco (Brazil)***

### ABSTRACT

*Gypsum a calcium sulfate dehydrated ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) that is used as a set retard by the cement industry. The gypsum has a peculiar characteristic that consist in the facility of dehydration and rehydration. During calcinations process gypsum loses 3/4 of its crystallization water transforming into a calcium sulfate hemi hydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) that, in contact with water, can be molded and worked before becoming hard and acquiring the mechanics properties of the re-hydrated stable form. The mayor production of gypsum in Brazil comes from Pernambuco State, whose ore is considered the world best quality. The 2003 production was about 1,4 millions tons, corresponding to 92% of the total Brazilian production. About 34% of that was consumed by the northeast cement industries responsible for 19,2% of national cement production. The paper presents a diagnostic of the gypsum clusters industries of Pernambuco and the sources of the  $\text{SO}_3$  used in the Brazilian cement production.*

*Key words: cement setting time delayer, gypsum, Pernambuco, production of cement.*

## Introducción

El sulfato de calcio ocurre en la naturaleza, principalmente, en las formas de anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) y de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Esas especies minerales se encuentran en depósitos evaporíticos formados en ambientes marinos y lacustres situados en regiones de clima árido. La formación geológica de esos depósitos se explica por los procesos de precipitación, seguida de evaporación y, consecuente, concentración de las sales (Jorgensen, 1994).

Mientras la anhidrita despierta poco interés económico (Kebel, 1994), el yeso tiene una gran diversidad de usos industriales, pudiendo ser utilizado en forma natural o calcinada. La forma natural del yeso es muy utilizada en la fabricación de cemento *portland* y en la agricultura. En la industria cementera el yeso es añadido durante la molienda, en proporción que varía entre el 2% y el 5%, con la finalidad de retardar el tiempo de fraguado del cemento. Por otra parte, en la agricultura, el yeso puede tener distintas funciones: (1) agente correctivo de suelos ácidos, como fuente

de calcio; (2) fertilizante en siembras específicas como maní, patatas, legumbres y algodón; (3) como acondicionador de suelos, aumentando la permeabilidad, la aeración, el drenaje, la penetración y la retención del agua (Velho *et al.*, 1998).

En el año 2003 la producción brasileña de yeso logró un total de 1,5 millones de toneladas (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004), representando el 1,5% de la producción mundial (Tabla 1). El 39% de ese total se comercializó en forma de yeso natural (Tabla 2), con aplicación en la industria cementera (34%) y como uso agrícola (5%).

El yeso de la región del Araripe es el de mejor calidad del mundo, considerándose que su pureza varía entre el 88% y el 98%. En las minas se observa la ocurrencia de distintas variedades mineralógicas de yeso, conocidas en la región como: *cocadinha*, *rapadura*, *pedra Johnson*, *estrelinha*, *alabastro* y *selenita*, además del *boró* y de la anhidrita. La utilización de cada una de esas variedades depende de la utilización industrial a la que se destine (Baltar *et al.*, 2004). Para la fabricación de cemento se utilizan las especies *alabastro*, *selenita* y anhidrita.

El trabajo tiene por objetivo presentar un diagnóstico del polo yesero de Pernambuco, con énfasis en la producción y uso del yeso en la industria cementera.

## El Polo yesero de Pernambuco

El Polo Yesero del Araripe, como es conocido el parque industrial de yeso del extremo oeste del estado de Pernambuco, está ubicado en el epicentro del semiárido brasileño, a una distancia de 680 kilómetros de la capital Recife. En 2003, el polo del Araripe contribuyó con un 92% de toda la producción nacional de yeso (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004). El hecho es

atribuido a las condiciones económicas más favorables de los yacimientos de la región (Figura 1).

Los principales factores que contribuyen con el aprovechamiento económico del yeso del Araripe son: (1) condiciones favorables de minería (relación estéril/yeso y geomorfología del yacimiento); (2) elevada pureza del yeso (con una ley media del 95%) y (3) ventaja con relación a la localización cuando se compara con los yacimientos lejanos del estado de Pará (norte de Brasil). El polo yesero está ubicado en la frontera de los estados de Pernambuco, Ceará y Piauí, lo que significa que en un radio de 700 kilómetros se hallan ocho capitales de estado (Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina) y ocho importantes puertos (Salvador, Aratú, Recife, Suape, Mucuripe, Pecém, Itaqui y Ponta da Madeira).

Los yacimientos de Pernambuco forman parte de la Formación Santana, del Cretáceo Inferior, formada por silt, margas, calcáreos, filita e intercalaciones de yeso. El cuerpo mineral está constituido, básicamente, por yeso y arcillas (principalmente, esmectitas), poseyendo una densidad "in situ" de 2,3 t.m<sup>-3</sup> (Luz *et al.*, 2001). El yeso ocurre en dos camadas, siendo la superior más espesa. La relación estéril/yeso media es como 1:5.

Para la explotación se adoptan métodos de cielo abierto, utilizándose bancos sencillos con altura media de 15 metros (Figura 2). Son empleados equipos como: perforadoras percutidas, excavadora hidráulica, tractores de estera y palas cargadoras. Las principales actividades de laboreo de minas empleadas en la región son: remoción del estéril, perforación, cargamento de explosivos, desmonte del yeso, fragmentación de los bloques, carga de los volquetes y transporte (Luz *et al.*, 2001).

La práctica adoptada en la región del Araripe para

PAÍS	PRODUCCIÓN (10 <sup>3</sup> t)	DISTRIBUCIÓN (%)
Estados Unidos	16.000	15,7
Canadá	9.000	8,8
España	7.500	7,4
Brasil	1.515	1,5

Tabla 1 - Producción brasileña de yeso en comparación con los principales países productores en el año 2003 (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004)

Table 1 - Brazilian production of gypsum in comparison with the main producing countries in the year 2003 (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004)

SECTOR INDUSTRIAL	DISTRIBUCIÓN (%)
Producción de yeso calcinado	61
Fabricación de cemento	34
Uso agrícola	5

Tabla 2 - Distribución de la producción brasileña de yeso en el año 2003 (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004)

Table 2 - Distribution of the Brazilian production of gypsum in the year 2003 (Lyra Sobrinho *et al.*, 2004)



Fig. 1 - El centro del círculo corresponde a la localización del polo yesero del Araripe, en el extremo oeste del estado de Pernambuco  
 Fig. 1 - The circle corresponds to the Araripe gypsum area pole localization, at the western extreme of the Pernambuco state



Fig. 2 - Explotación a cielo abierto en la *Mineração Campo Belo* del polo yesero de Pernambuco  
 Fig. 2 - Open pit in the *Mineração Campo Belo* in the gypsum area of Pernambuco

la producción de yeso calcinado consta de las siguientes operaciones: (1) elección manual (Figura 3); (2) trituración primaria; (3) trituración secundaria; (4) cribado (usado solamente en algunas empresas); (5) almacenamiento en silo (Figura 4); (6) calcinación; (7) estabilización térmica en silo; (8) molienda (el tamaño final está siempre en función de lo que exige el mercado consumidor); (9) almacenamiento en silo del yeso pulverizado y (10) empaquetamiento. En la etapa inicial de trituración, en general son utilizadas

trituradoras de mandíbula y molinos de martillos. Algunas empresas hacen la trituración en dos etapas utilizando circuito cerrado con cribas de vibración en seco. El producto resultante de las operaciones de molienda debe tener una distribución uniforme de tamaños para posibilitar la deshidratación equitativa de las partículas.

En la región hay cerca de 400 hornos en actividad (Bastos y Baltar, 2003), predominando los hornos intermitentes (Figura 5) en comparación con los rotativos continuos que suelen ser usados cuando se necesita un producto más uniforme. Además de esos hornos, los cuales producen una calcinación bajo presión atmosférica, hay otros del tipo autoclave que se usan para la producción de yeso alfa.

Dependiendo del proceso de calcinación del yeso natural se producen las variedades de hemidrato conocidas como yeso beta y yeso alfa, respectivamente, ambas con una amplia variedad de aplicaciones industriales.

Para la producción del hemidrato beta son usadas las variedades de yeso *cocadinha*, *rapadura* y *estrelinha*. Hay una gran variedad de productos obtenidos desde el hemidrato beta que son utilizados en la industria de la construcción civil, industria cerámica e industria de modelado, con predominio de los yesos de fundición y de revestimiento manual ambos producidos en Brasil sin adición de productos químicos. Esos productos se diferencian entre sí por sus distin-



Fig. 3 - Zona de selección manual de yeso natural en una de las empresas productoras de yeso calcinado del polo yesero de Pernambuco

Fig. 3 - Manual selection of natural gypsum on calcinated gypsum producing enterprises in the gypsum era of Pernambuco

tos tiempos de fraguado, que es el tiempo necesario para que la masa complete su proceso de endurecimiento tras la adición del agua. El producto, con el tiempo de fraguado deseado, es conseguido por la manipulación del proceso de calcinación.

El tipo de fundición es utilizado para la confección de premoldeados de yeso, que corresponde a las placas para confección de forros suspensos y los bloques para divisorias, destinados a la construcción civil o para confección de piezas decorativas, como estatuas e imágenes sacras.

El yeso de revestimiento de aplicación manual es utilizado para paredes y techos, generalmente, en sustitución del estuco o como masa para acabados. El yeso de revestimiento necesita de un mayor grado de calcinación en comparación con el yeso de fundición. La deshidratación más completa del yeso natural disminuye la velocidad de rehidratación del yeso calcinado (segundo paso del ciclo de endurecimiento), lo que resulta en un tiempo de fraguado más largo (Baltar *et. al.*, 2004).

A partir de los yesos de fundición y de revestimiento, las empresas del polo yesero del *Araripe* producen otros tipos de yeso para aplicaciones específicas: (a) Yeso Adhesivo – para rejunte de premoldeados de yeso; (b) Yeso de Revestimiento Proyectado – para aplicación mecanizada de revestimiento de pared; (c) Yeso con fraguado retardado – para aplicación en servicios de revestimiento manual; (d) Yeso Cerámico – fabricación de moldes para la industria cerámica; (e) Yeso Tiza – utilizado en clases

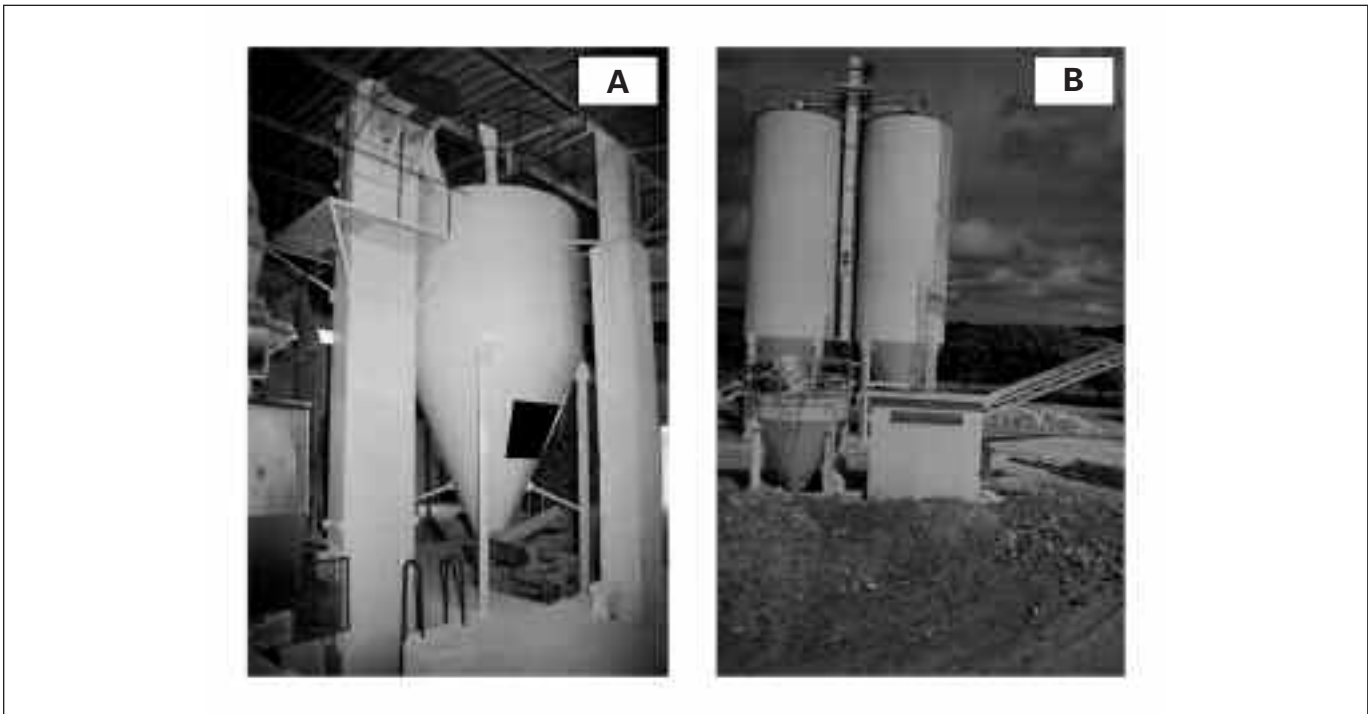


Fig. 4 - Etapas de almacenamiento del yeso durante el proceso industrial: tras la trituración (hasta 5mm) para alimentación de los hornos de calcinación (A) y producto calcinado y pulverizado (B)

Fig. 4 - Phases of gypsum storage during the industrial process: after the grinding (up to 5 mm) for calcinating ovens feed (A); and product burned and pulverized (B)

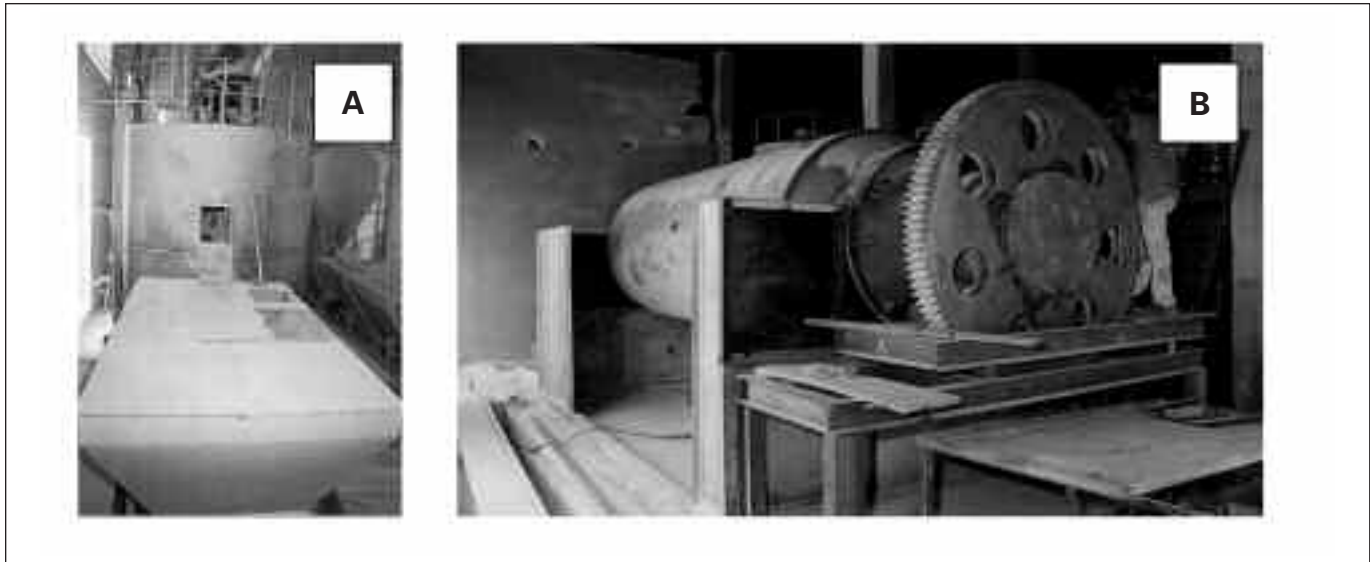


Fig. 5 - Hornos intermitentes utilizados en la producción de yeso beta: *marmita* vertical (A) e *marmita* horizontal (B)  
Fig. 5 - Intermittent ovens used in the beta gypsum production: vertical pot (A) and horizontal pot (B)

por escuelas y (f) otros usos. Para cada producto se usan los aditivos que le corresponde (productos químicos, áridos, colorantes, etc.).

La "piedra Jonson", la variedad mineralógica más pura, es utilizada para la producción de hemidrato alfa por calcinación en autoclave. El yeso pasa por una modificación en la estructura cristalina lo que resulta en un producto más homogéneo. En consecuencia el producto generado tras la mezcla con agua, tiene mayor resistencia mecánica y menor consistencia, esa última característica posibilita la manipulación de la pasta con una menor relación agua/yeso. El yeso alfa se caracteriza por presentar cristales compactos, regulares y resistentes. Los principales usos del yeso alfa son: (1) vendajes de alta resistencia; (2) matriz para industria cerámica; (3) industria de modelado (piezas de arte); (4) industria automovilística; (5) ortopedia y (6) odontología. En Pernambuco se fabrican los yesos odontológicos del tipo III y del tipo IV. El del tipo IV es un producto más noble, obtenido con adición de reactivos específicos y se caracteriza por una menor consistencia, mayor resistencia mecánica y menor expansión comparado con el yeso del tipo III. Los yesos alfas son producidos por dos empresas del polo yesero de Pernambuco.

La fabricación de esos productos requiere condiciones específicas con relación al tipo de yeso natural, tipo de horno, condiciones de calcinación y tratamiento posterior (Baltar *et al.*, 2004).

El polo yesero de Pernambuco está formado por

47 minerías, 80 unidades industriales de calcinación y 234 industrias de premoldeado, constituyéndose en el principal centro productor de yeso natural y de yeso calcinado del país. La región del Araripe dispone de una razonable red de carreteras y un elevado nivel de electrificación rural.

#### **Variedades mineralógicas de yeso en los yacimientos del Araripe**

En el polo productor de Pernambuco ocurren diferentes variedades mineralógicas de yeso, conocidas en la región con los nombres de:

- *pedra Johnson* (Figura 6-A) - variedad con menor contenido de impureza, presenta una coloración que varía desde el blanco hasta el crema y que se caracteriza por una estructura con "nódulos" y "estrellas";
- *cocadinha* (Figura 6-B) - un tipo de yeso estratificado con raras películas de arcilla verde;
- *rapadura* (Figura 6-C) - variedad estratificada que presenta películas milimétricas de arcilla verde;
- *estrelinha* (Figura 6-D) - yeso que posee cristales radiados en forma de estrella;
- selenita (Figura 6-E) - variedad en forma de placas, incoloro y transparente.
- alabastro (Figura 6-F) - variedad maciza y transparente, muy usado en esculturas. Este tipo se caracteriza por generar problemas en la calcinación a

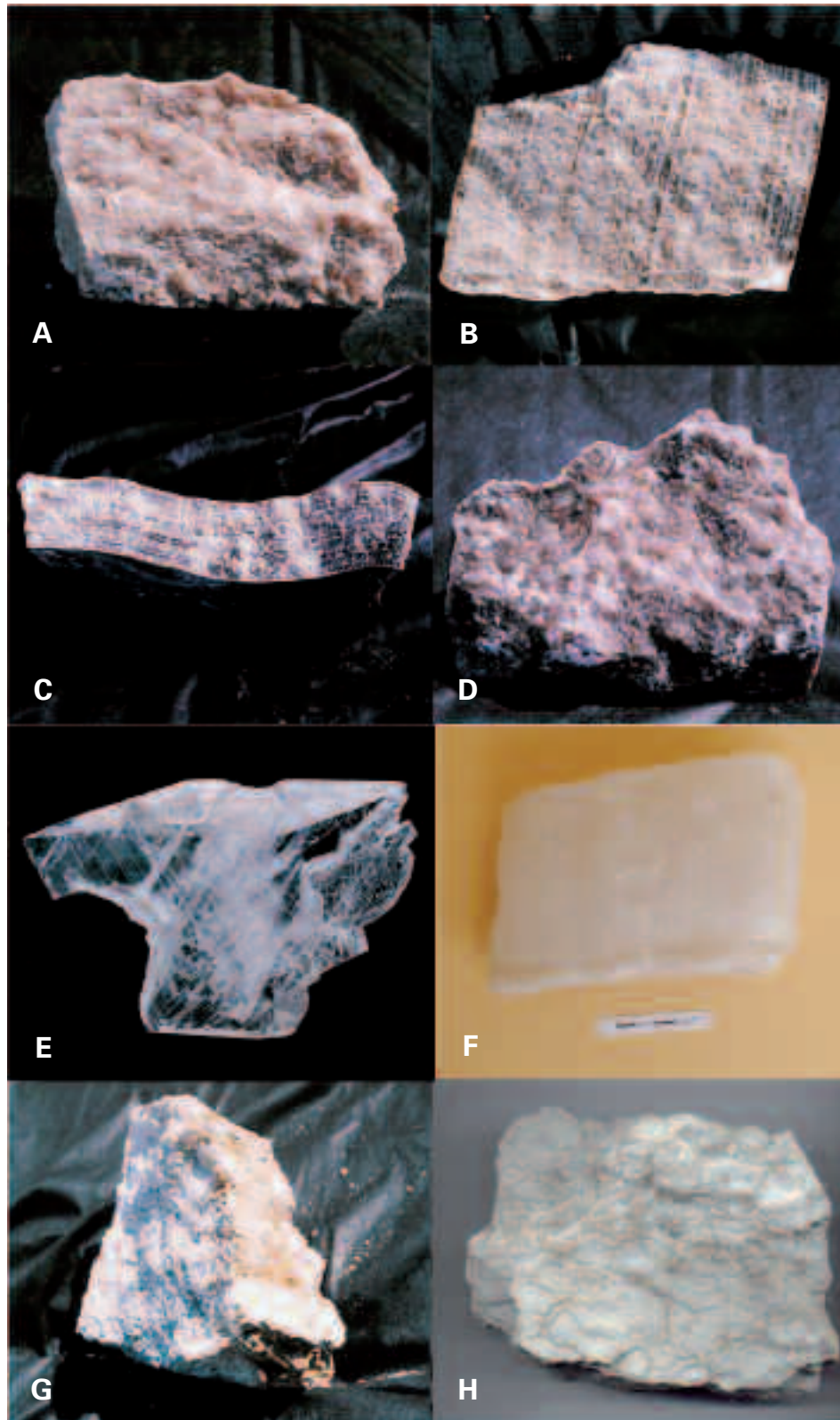


Fig. 6 - Variedades de yeso y muestra de anhidrita encontradas en la región del Araripe, Pernambuco: (A) Johnson; (B) cocadinha; (C) rapadura; (D) estrelinha; (E) selenita; (F) alabastro; (G) Boró y (H) anhidrita  
Fig. 6 - Gypsum varieties and a sample of anhydrite founded in the region of the Araripe, Pernambuco: (A) Johnson; (B) cocadinha; (C) rapadura; (D) estrelinha; (E) selenita; (F) alabastro; (G) Boró y (H) anhydrite

causa de su carácter fibroso que provoca anisotropía;

Además de esas variedades de yeso, existe una especie conocida como *boró* (Figura 6-G) que consiste en una mezcla de alabastro con arcilla (Borges *et al.*, 2002) y anhidrita (Figura 6-H).

La utilización de los distintos tipos de yeso depende del producto al que se destina. Las variedades *cocadinha*, *rapadura* y *estrelinha* son utilizadas en la producción de yeso beta. Por su parte, la *pedra Jonhson*, la más pura, es usada en la producción de yeso alfa. Mientras los tipos alabastro, *boró* y anhidrita son utilizados en la fabricación de cemento o en la agricultura, la selenita se suele usar en polarizadores.

### El yeso en la fabricación de cemento

En 2003 las industrias cementeras produjeron 34 millones de toneladas de cemento, lo que representa un 1,83% de la producción mundial, correspondiendo a Brasil la 10ª posición en la relación mundial de países productores de cemento (Roberto y Cardoso, 2004). La mitad de la producción brasileña se concentra en la región sudeste (Tabla 3).

En las industrias cementeras, el yeso es utilizado como fuente de SO<sub>3</sub>, donde es mezclado con el *clinker* a fin de retardar el tiempo de fraguado del cemento *portland*. La cantidad de yeso añadida depende del contenido de azufre del calcáreo y del combustible utilizado en la calcinación del *clinker*. En las fábricas de cemento de la región nordeste se utiliza el yeso en una proporción que varía desde un 2% hasta un 5% en peso. Las industrias cementeras brasileñas exigen un yeso con un 36% de SO<sub>3</sub> como mínimo, además de la ausencia de impurezas que puedan interferir en el tiempo de fraguado.

REGIÓN	PRODUCCIÓN, (%)
Sudeste	49,8
Nordeste	19,1
Sur	17,3
Centro-Oeste	10,4
Norte	3,4

Tabla 3 - Distribución, por región geográfica, de la producción de cemento en Brasil, correspondiente al año 2003 (Roberto y Cardoso, 2004)

Table 3 - Distribution of Brazilian cement production by geographical regions, correspondig to year 2003 (Roberto and Cardoso, 2004)

De la producción de yeso natural del polo yesero de Pernambuco un 34% es consumido por las fábricas de cemento, donde se utilizan las variedades alabastro, *boró* y anhidrita. Algunas empresas de la región nordeste usan una mezcla formada por yeso natural y yeso reciclado en una proporción de 3:1.

El consumo de yeso para la fabricación de cemento ocurre solamente en la región nordeste, excepto en el caso de producción de cementos especiales. El hecho se debe al elevado costo de flete a causa de la gran distancia que separa el polo yesero de Pernambuco de las fábricas de cemento de otras regiones del país.

En las fábricas de cemento de las regiones sur y sudeste el yeso natural es sustituido por el yeso sintético, un subproducto obtenido en los procesos de producción de ácido fosfórico en las industrias de fertilizantes fosfatados. Algunas empresas del sudeste utilizan el sulfato de sodio proveniente de las salmueras obtenidas en salinas de la región.

### Conclusiones

El polo yesero de Pernambuco es el principal centro productor de yeso natural y yeso calcinado del Brasil. Los yacimientos contienen yeso de excelente calidad (pureza de 95% en media), condiciones favorables de extracción y buena localización.

Un 34% de la producción de yeso natural del polo es utilizado por las fábricas de cemento de la región nordeste. El elevado precio del flete hace inviable su utilización en las fábricas de cemento de otras regiones de Brasil. En esas regiones suelen sustituir el yeso natural por yesos sintéticos o sulfato de calcio obtenido en salinas.

### Referencias

- Baltar, C.A.M., Bastos, F.F. and Borges, L.E.P. 2004. Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso. *Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Anais. Florianópolis.
- Bastos, F. F. and Baltar, C.A.M. 2003. Avaliação dos processos de calcinação para produção de gesso Beta. *XLIII Congresso Brasileiro de Química*, Ouro Preto-MG, A03-059, 329 pp.
- Borges, L.E.P., Melo, E.B. de, Barreto, S. de B., Assis, H.M. de; Menor, E.N. and Bazante, A.L.S. 2002. Caracterização Mineralógica / Cristalográfica da Gipsita do Araripe. *XLI Congresso Brasileiro de Geologia*, Anais. João Pessoa, 184 pp.
- Jorgensen, D.B. 1994. Gypsum and anhydrite. In: Carr, D. D.

- (ed.), *Industrial Minerals and Rocks*, 6<sup>th</sup> edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado.
- Kebel, H.L. 1994. Construction Uses: Gypsum Plasters and Wallboards. In: Carr, D. D. (ed.), *Industrial Minerals and Rocks*, 6<sup>th</sup> edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado.
- Lyra Sobrinho, A.C.P., Amaral, A.J.R. and Danta, J.O.C. 2004. Gipsita. *Sumário Mineral Brasileiro*. Departamento Nacional da Produção Mineral, 81-81.
- Luz, A.B., Baltar, C.A.M., Freitas, E.J.G. de and Silva, A.P. da 2001. Gesso-Mineração São Jorge. In: Sampaio, J.A., Luz, A.B. and Lins, F. F. (eds.), *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*. CETEM-MCT, Rio de Janeiro, 240-249.
- Roberto, F.A.C. and Cardoso, M.F.S. 2004. Cimento. *Sumário Mineral Brasileiro*. Departamento Nacional da Produção Mineral, 53-54.
- Velho, J., Gomes, C. and Romariz, C. 1998. Minerais Industriais. Universidade de Aveiro, 591 pp.

Recibido: Octubre 2005

Aceptado: Julio 2006