

# EL YESO Y SU PROCESO DE OBTENCIÓN

**Ing. Jeniffer Nuñez Bouza<sup>1</sup>, Dr.C. Yamilé Martínez Ochoa<sup>2</sup>, Ing. Diamil Quintana Nodarse<sup>3</sup>**

1. *Universidad de Matanzas- Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.jeniffer.nunez@umcc.cu*
2. *Universidad de Matanzas- Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
3. *Empresa de Materiales de Construcción de Matanzas. Canímar 1. Pueblo Nuevo. Matanzas*

## **Resumen**

El objetivo de este trabajo es estudiar la situación del mineral yeso en Cuba y en el mundo. Además analizar el proceso de producción de yesos especiales con el propósito de determinar una secuencia de operaciones a realizar para obtener el sulfato de calcio hemihidratado. En nuestro país existen tres yacimientos del mineral, pero cada uno tiene características propias en cuanto a la pureza del mismo. Como conclusión se tuvo que los principales productores de yeso en el mundo son China, Irán y Turquía. El proceso de la industria del yeso en todo el mundo cuenta con tres procesos fundamentales el procesamiento del mineral de yeso, la cocción y los procesos complementarios.

**Palabras claves:** *Yeso, sulfato de calcio hemihidratado, producción de yeso, horno rotatorio*

---

## **Introducción**

El mineral de yeso ó roca sedimentaria se ha formado por evaporación marina durante muchos millones de años. La fase de evaporación en sí duró miles de años y llevó a la formación de gruesas capas de depósitos de yeso. Se tiene conocimiento de la utilización del yeso desde el Neolítico para realizar cimientos y muros, también como soporte pictórico. El yeso, sulfato de calcio di hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), es un mineral que se obtiene de yacimientos naturales y por reacciones químicas, siendo este último, muy costosa su obtención. Se encuentra también en diferentes estructuras y colores dejando lechos de yeso que se recubrieron para ser descubiertos posteriormente por el hombre. La civilización griega lo denominó gypsum (yeso) y la romana generalizó su uso en Europa, posteriormente, los españoles lo introdujeron en América Latina. El término mineral de yeso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) se utiliza de forma genérica y comercialmente, su composición química es 79 % de  $\text{Ca SO}_4$  y 21 % de  $\text{H}_2\text{O}$ . Existen otras fuentes de yeso, constituidas por el yeso subproducto de las industrias químicas, por ejemplo el mundialmente conocido como fosfoyeso que se obtiene en el proceso de síntesis del ácido fosfórico y el producido por la desulfuración de los gases de combustión en las fábricas de cemento.

La metodología de obtención del yeso, hemihidrato alfa (especial), exige procesos tecnológicos complicados, y por lo general hay que utilizar aditivos químicos para su rápido fraguado. El mineral de yeso es el más común de los minerales sulfatados que se encuentran de forma natural. Está muy extendido en el mundo, no previéndose su agotamiento en un futuro inmediato, pues aparecen en depósitos de estratos sedimentarios asociados con arcillas, calizas, margas y barro.

## **Desarrollo**

### **Naturaleza y características del mineral yeso**

El mineral de yeso se conoce como piedra de yeso o algez y se encuentra frecuentemente en la naturaleza. El yeso tiene color blanco cuando no está contaminado por impurezas,

aunque en general, presenta colores claros. Tiene una densidad de 2280 a 2320 kg/m<sup>3</sup> y una dureza igual a 2 en la escala de Mohr. Es poco soluble en agua y puede diferenciarse de la caliza, con la que a veces se confunde, por no dar efervescencia con los ácidos. Su aspecto externo puede ser netamente cristalino o amorfo; en este caso, sus cristales son irregulares y están entremezclados de tal forma que le dan un aspecto no cristalino. El peso específico de los cristales de yeso es 2,3; por lo que un centímetro cúbico de cristal pesa 2,3 veces lo que un centímetro cúbico de agua. El mismo peso es válido para cualquier piedra de yeso pura, en tanto que ésta se compone siempre de cristales o de partes cristalinas de la misma naturaleza. El anhídrido ordinario pesa más que la piedra de yeso; su peso específico es de 2,9. (Villanueva et al, 2001).

El yeso se conoce según su fórmula química, en tres formas principales las cuales se muestran en la tabla 1.1

**Tabla 1.1:** Composición del mineral de yeso

<b>Componentes del yeso</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Contenido en %</b>
<b>Sulfato de Calcio Dihidratado</b>	<b>CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b>	
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	46,5
Oxido de Calcio	CaO	32,6
Agua	H <sub>2</sub> O	20,9
<b>Sulfato de calcio Hemihidratado</b>	<b>CaSO<sub>4</sub>. 1/2 H<sub>2</sub>O</b>	

<b>Anhidrita</b>	<b>CaSO<sub>4</sub></b>	
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	58,82
Oxido de Calcio	CaO	41.18

Este mineral es la única materia prima para la obtención del hemihidrato de yeso, el cual se obtiene por deshidratación parcial de dicho mineral que, sometido a temperaturas en el intervalo desde 120 a 180 °C pierde molécula y media de agua para formar el sulfato cálcico hemihidratado y obtener así el yeso cocido o deshidratado, el cual amasado con agua, una vez pulverizado, se rehidrata formando de nuevo el dihidrato. (García, A. 2004).

Se distinguen las siguientes variedades del mineral: mineral cristalizado; mineral de cristales anchos en forma de lanza; mineral laminar (formación casi transparente, duro y muy puro); mineral fibroso (muy puro formado por fibras cristalinas que dan un aspecto sedoso); mineral compacto (muy compacto y sin señales aparentes de cristalización), siendo este último el más frecuente. Los cristales que se encuentran en las distintas variedades no siempre son claros y transparentes como el hielo pulido y nítido, sino que a veces son turbios, translúcidos y de forma diversa. (Villanueva, et al, 2007 y Rivas, et al, 2008) Otras formaciones menos comunes se conforman de un gran número de cristales reunidos en una masa globular, de la cual emergen sólo los extremos o de grupos de cristales que se asemejan al aspecto de erizo. Al propio tiempo, en las minas se encuentran masas compactas formadas por gran número de cristales aislados. (Dana, 1962 y Hernández, 2008)

### **Método de explotación del mineral de yeso en la mina.**

El yeso es un material barato, también lo han de ser todas las operaciones que comprende la fabricación, así pues, es casi obligatorio que el mineral de yeso aflore a la superficie para que se pueda explotar a cielo abierto, porque de lo contrario, se encarece notablemente esta fase de la producción.(Claisse et al, 2008). En el país, el método de explotación de las minas de yeso depende, fundamentalmente, de las circunstancias particulares de ellas. El explosivo a utilizar depende de la naturaleza del mineral, del sistema de explotación y de la magnitud deseada de los bloques arrancados. (Alonso et al, 2008 y Silvia, et al, 2010) Teniendo en cuenta la composición oxidada del mineral de yeso y de la anhidrita se puede saber la pureza del mineral que se posee en la mina.

Según Guillén (2014) para que un yacimiento de yeso o anhidrita pueda ser explotado debe responder a una serie de criterios que garanticen que sea económicamente explotables, es decir, que el material extraído tiene que garantizar beneficios. Una vez detectado y localizado el yacimiento se debe determinar una serie de parámetros antes de proceder a su explotación:

#### **Calidad:**

La calidad del yeso mineral, en cuanto a pureza química se refiere, debe ser de un 75% de sulfato cálcico en el yacimiento al menos, aunque puede haber variaciones en la concentración. Estas variaciones no deben ser muy inferiores a la establecida, para asegurar la homogeneidad en la pureza del mineral. No obstante, durante el proceso de depuración y concentración mecánica en la planta de tratamiento se mejora la calidad del producto. Durante la perforación de barrenos en la cantera de forma periódica y obligada se realizan tomas de muestra y análisis químicos para controlar la calidad del producto. Hay que señalar que la calidad de la materia prima es muy fluctuante y que esto condiciona mucho las posibilidades de fabricación que ciertos productos en base a sulfato cálcico que precisan una concentración química más elevada y homogénea.

#### **Cantidad:**

Las toneladas de piedra de yeso o anhidrita que se extraiga del yacimiento tienen que ser suficiente para justificar las inversiones en minería y fabricación. Por supuesto, la demanda del mineral así como las reservas del yacimiento deben equilibrarse y las reservas tienen que ser suficientes para abastecer a la fábrica y a los centros de consumo.

### **Estructura:**

La estructura geológica del yacimiento es muy importante desde el punto de vista económico y determina las reservas explotables. En primer lugar, si el espesor de la cobertura (tierra vegetal + estériles) es pequeño, el yacimiento se puede explotar a cielo abierto que es la forma más frecuente, y es preferible ya que los costos son bajos y se optimiza el índice de recuperación. Sin embargo, si el yacimiento tiene una pendiente muy fuerte, el espesor de la cobertura del terreno aumenta muy deprisa, el desmonte se hace mucho más costoso. Si el espesor de la cobertura es muy importante se puede optar por llevar a cabo la explotación por minería subterránea. La presencia de fallas ocasiona grandes problemas en las canteras porque un frente de avance puede ser parado bruscamente, originando problemas de producción y de seguridad. Una zona muy fallada no suele ser interesante económicamente.

### **Agua:**

La presencia de agua es un peligro y un perjuicio para toda la cantera. Durante los trabajos de reconocimiento, hay que tomar medidas para asegurarse de que los niveles de agua no llegarán a inundar la cantera. Deben dejarse suficientes capas o estratos libres contra las capas acuíferas importantes y tendrá que considerarse también las posibilidades llegadas de agua a lo largo de los planos de falla. Hay que evitar la explotación de los buzamientos que puedan tener importantes avenidas de agua.

### **Explotación del yeso y la anhidrita a cielo abierto**

Una explotación a cielo abierto es una gran excavación, realizada en la superficie del terreno, con objeto de extraer un material o mineral beneficiable. Esta operación implica generalmente mover cantidades variables de material estéril según la profundidad del depósito o del espesor del recubrimiento. La explotación quedará definida por la aplicación de unos parámetros de diseño en la excavación, que permitirán alcanzar las producciones programadas de la forma más económica posible, en las mejores condiciones de seguridad. Los parámetros geométricos principales que configuran el diseño de las excavaciones son: (Bierhenke, 2009)

- Morfología de las explotaciones: la explotabilidad económica dependen de la masa yesífera. Generalmente los yacimientos explotados son capas o paquetes de gran potencia con un recubrimiento de mayor o menor espesor, incluyendo los aflorantes.
- Altura del banco de perforación: se establece según las dimensiones de los equipos de excavación y carga, las características de la mina y la exigencia de la selectividad. Según la experiencia se sugieren alturas de entre 10 y 20 metros. Una altura de banco reducida permite en el caso del yeso que se necesite menores cargas operantes de explosivos, disminuyendo los problemas ocasionados por las vibraciones y la onda aérea, con unas correctas secuencias de incendio, y mayor control de finos.
- Perforación: el diámetro de perforación habitualmente empleado se encuentra entre los 64 y 105 milímetros, utilizando perforadores neumáticas o hidráulicas equipadas con martillo en fondo o en cabeza. La cuadrícula de perforación depende directamente del diámetro de perforación y la dureza particular del mineral. Una práctica común en las explotaciones de yeso es el diseño de las voladuras de una sola fila de barrenos a lo largo de un banco de mayor o menor longitud, debido la importancia que tiene el tamaño de la voladura, según su tratamiento posterior. Generalmente los hornos de fabricación de yeso necesitan unos tamaños mínimos de admisión, con lo que la producción en la voladura de tamaños menores a ese mínimo suponen la pérdida de reservas de mineral aprovechable. En ciertas

explotaciones no se realizan voladuras de una sola fila sino de varias filas, obteniéndose unas buenas fragmentaciones.

### **Métodos de obtención y fabricación del yeso.**

Según Bustamante et al, (2007) y García et al, (2007) la producción del yeso se concibe en tres etapas básicas: Procesamiento del mineral de yeso, Cocción y Procesos complementarios.

El procesamiento del mineral de yeso: Consiste en realizar una molienda primaria y secundaria por vía seca. Mediante este proceso se obtiene el yeso que se utiliza en la fabricación del cemento. En los casos de materiales de baja pureza es necesario introducir técnicas de beneficio para eliminar las arcillas o arena que contiene, generalmente se utilizan métodos de lavado y clasificación por vía húmeda y desde luego se requiere el secado del producto una vez que se haya enriquecido en sulfato de calcio deshidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Actualmente se cuenta con tecnologías comunes para la molienda por vía húmeda, se realizan acciones para incorporar las nuevas tecnologías para mejorar considerablemente la calidad del producto final. (Álvarez, 2001 y Gázquez et al, 2010)

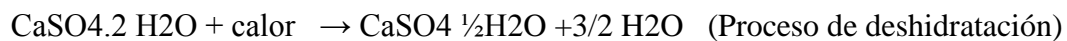
Según Guillén (2014) el mineral se descarga en una tolva de recepción de la planta de tratamiento que dispone normalmente de un alimentador, ya sea vibrante o de cadena, que antes de verterlo en trituración primaria, se realiza un precibado para eliminar los estériles. El precibador suele ser de disco o de barra y elimina gran parte de la tierra estéril y las fracciones de granulometría fina de mineral, que posteriormente serán recuperadas mediante una criba que separa la tierra del mineral.

La trituración primaria se llevara a cabo mediante una machacadora de mandíbulas o un molino de impacto ya que son máquinas idóneas para un material con las características físicas del yeso en esta etapa. El tamaño de entrada dependerá del tamaño de la boca de alimentación de la máquina. Si el tamaño del material es excesivamente grandes deberán ser picados con un martillo o por el contrario si son muy pequeños, la trituradora trabajará



por debajo de sus posibilidades. Se debe obtener una fracción de 0-12 milímetros aproximadamente, tamaño adecuado para la alimentación a los hornos. Una vez triturado el material se transportará por transportadores de banda hacia la zona de cribado donde se separará el material por tamaño.

Proceso de cocción: Los diferentes procesos de cocción consisten en la transformación química del dihidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) mediante el calor en las cuatro especies deshidratadas de  $\text{CaSO}_4$  que son: Hemidrato alfa, Hemidrato beta, Anhidrita soluble y Anhidrita insoluble. El sulfato de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) se obtiene mediante deshidratación parcial o total del yeso natural a temperaturas entre 120 y 400 °C. La estructura y las propiedades del producto final dependen directamente de las condiciones de la cocción empleada (temperatura, presión, velocidad). (González, 2008 y Villanueva, et al, 2008). A continuación se muestran las reacciones que tienen lugar en los procesos de deshidratación y rehidratación del mineral de yeso.



La primera fase del proceso de cocción del mineral se inicia a los 120 oC y ocurre a una velocidad constante hasta los 180 oC. El mineral, al calentarse, pierde rápidamente su agua de hidratación, produciendo yeso cocido, deshidratado parcial o totalmente (reacción directa) y recupera su estructura cristalina cuando se hidrata, fraguando y endureciendo (reacción inversa). Estos dos procesos, deshidratación y rehidratación, son la base de la tecnología para la fabricación del yeso lento y rápido. (Tabón y Montoya, 2006)

Proceso de cocción alfa: El yeso alfa se utiliza mayormente en la formulación de yeso industrial por su alta resistencia mecánica. Este tipo de yeso es un cristal compacto con una superficie específica baja o con pocas necesidades de agua para producir moldes de gran dureza y baja porosidad. (González, 2011)

Según Ming, 2008 los dos métodos por los que se puede obtener hemidrato alfa son:

- A altas presiones: este tratamiento se lleva a cabo en autoclaves a temperaturas que oscilan entre 125 y 1500C, y presiones del orden de las 4 atmósferas. Generalmente se realizan en presencia de vapor de agua. Con la adición de pequeñas cantidades de sales orgánicas como el ácido maleico y el ácido cítrico o sales orgánicas que pueden favorecer la formación de cristales prismáticos bien desarrollados. A este material se le conoce yeso piedra o hidrocal y se utiliza en odontología para elaborar modelos sobre los cuales se va a construir prótesis dentales.
- A presión atmosférica y en presencia de sales: este tratamiento se realiza a presión atmosférica y temperaturas inferiores a los 1000C. Se recurre al uso de soluciones salinas o ácidas diluidas que sean inertes a la fase sulfática y que reduzca la presión de vapor de la fase acuosa a valores inferiores a la del hemidrato solo en el agua. La materia prima debe tener un tamaño de partícula de 100 micrómetros. El proceso se desarrolla sometiendo el mineral a ebullición e una solución de cloruro de potasio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 30 %. Así los cloruros eliminan el agua y permiten la deshidratación parcial del yeso. En este proceso se puede obtener un cristal prismático más desarrollado que en la autoclave. A este tipo de yeso se le llama yeso piedra mejorada o densita y es utilizado en odontología para la construcción de incrustaciones y coronas por el método indirecto.

Proceso de cocción beta: Durante el proceso de cocción, bajo presión atmosférica, el agua de deshidratación se evapora formándose una estructura microporosa. Los cristales de yeso beta tienen una alta superficie específica y necesitan mucha agua. Los vaciados de yeso beta tienen una elevada porosidad pero propiedades mecánicas reducidas, siendo empleados, por ejemplo, en aplicaciones de construcción ligera, o como moldes para aplicaciones cerámicas por sus propiedades absorbentes. (Classier, 2008) Frecuentemente, se emplean mezclas de los dos tipos de yesos, es decir, yesos alfa y beta, para combinar las propiedades de ambos optimizando las soluciones de producto, a fin de satisfacer las exigencias del mercado. Si la temperatura se eleva hasta la calcinación se forma otro tipo de

anhidrita, la anhidrita insoluble, que es estable y no fragua si no se le añaden determinados aceleradores o catalizadores de la reacción. (Gázquez et al, 2012 y Potgieter, et al, 2004)

Para este proceso de cocción del yeso, la firma MONTERDE de España, propone un diseño de hornos de tres tubos para la producción de hemihidrato en cocciones conjuntas, siendo la granulometría adecuada de entrada al horno de 0 a 8 mm. También la firma de HORNOS ROTATORIOS, S.A de España propone equipos para la cocción del yeso como: horno directo y horno indirecto, una propuesta para las producciones de todos los tipos de yeso. En Cuba se trabaja para adquirir estas tecnologías de punta y aumentar la eficiencia del proceso de cocción del mineral con que se dispone pues la producción que se obtiene de los tres yacimientos cubanos tiene un mercado abierto por cumplir con las especificaciones de calidad que se exigen a nivel internacional.

La deshidratación parcial o total es la base de la fabricación de los yesos, pero sus características dependen de las condiciones en las que se efectúa la deshidratación.

Los equipamientos para la cocción o calcinación de los yesos están basados en dos principios de cocción:

❖ Cocción por vía seca

Conduce la fabricación del semihidrato  $\beta$  o sobrecocido, según la temperatura de cocción sea inferior a 1800C o superior a 3500C. La cocción se efectúa a presión atmosférica o con una suave presión parcial de vapor de agua. Este método es el más utilizado de cocción por la mayoría de los dispositivos para la producción de yeso de construcción, moldeo o de prefabricación.

❖ Cocción por vía húmeda

Se efectúa a presión de vapor de agua saturada en autoclaves, o a presión atmosférica pero con soluciones salinas con punto de ebullición superior a 1000C. Este último sistema de cocción conduce al semihidrato  $\alpha$ , que es la base de los yesos especiales para moldeado

(sector dental, matrices cerámicas, modelado de precisión, etc.). Estos sistemas se pueden utilizar también, en el tratamiento de los yesos sintéticos resultantes de la fabricación de ácido fosfórico y ácido láctico.

La temperatura de la cocción depende de la velocidad de calentamiento, de la presión externa, de la granulometría del yeso empleado, de la densidad del mismo y también de la agitación de la masa.

Procesos complementarios.

Procesos complementarios. Son los que permiten la obtención de diversas calidades de yeso aglomerante comercializable, mediante la molienda y la mezcla de alguna de las cuatro especies deshidratadas y el dihidrato con la utilización o no de aditivos. Los aditivos se utilizan para lograr diferentes tiempos de fraguado y resistencias mecánicas. Generalmente se utilizan sales de citratos, bisulfito, polifosfatos de sodio y ácidos débiles como el ácido málico, ácido cítrico, ácido tartárico, o mezclas de ellos que responden a nomenclaturas como el R7. (Talero, 2005 y Múzquiz, 2004) Después del proceso de cocción o hasta calcinación, el yeso se muele para obtener polvo. La distribución de los tamaños de partícula es un factor importante con respecto a las propiedades del producto. Una vez que el yeso está finamente molido, se puede proceder a la última etapa que es el mezclado. Con una selección adecuada de aditivos se obtendrá finalmente las propiedades del producto para responder a las necesidades de los clientes en lo que se refiere a tiempo de fraguado, viscosidad, porosidad, color, resistencia mecánica y otros.

Las firmas MONTERDE y HORNOS ROTATORIO, S. A de España proponen para la trituración y molienda los molinos de martillos tipo Titán o molinos de espigas si se quiere que el material sea extrafino. (Rivas et al, 2008, Talero, 2008 y González et al, 2004)

### **Panorama de la industria del yeso en Cuba.**

La industria yesera en Cuba está constituida por la explotación de tres yacimientos y las

plantas de procesamiento asociadas a cada una de ellas. (Rivas et al, 2008 y Hughes, 2010)

**Yacimiento Canasí.** Este yacimiento pertenece a la Empresa de Materiales de Matanzas y el mismo tiene una reserva en el orden de los 600 Mm<sup>3</sup> y una perspectiva de 25 Mm<sup>3</sup>. El yeso de este yacimiento es en su generalidad gris y se presentan vetas irregulares de yeso blanco. La relación yeso gris: yeso blanco es de 20:1 y su pureza es de 85 a 95 %. (Villanueva et al, 2001 y Rivas et al, 2008) Este yeso cocido tiene gran blancura, el contenido de hemihidrato (Ca SO<sub>4</sub> ½ H<sub>2</sub>O) es como promedio un 90 %, la resistencia a la compresión media es de 4,6 MPa, es un yeso por naturaleza eminentemente rápido y los tiempos de fraguado se varían mediante la adición de cola cuando se requieren yesos lentos. En esta instalación se puede fabricar el yeso para la construcción, moldes de prótesis dental y el yeso ortopédico de las vendas enyesadas. (González, 2008 y Sardi et al, 2011)

**Tabla 1.2:** Caracterización química promedio del yacimiento

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	PPI	RI
%	2,75	3,12	7,59	22,78	3,20	37,55	0,02	21,63	0,74

Fuente: Leyva et al., 2013

**Yacimiento Punta Alegre.** Este yacimiento pertenece a la Empresa de Materiales de Ciego de Ávila y tiene una reserva en el orden de los 20 Mm<sup>3</sup> con un contenido promedio de sulfato de calcio dihidratado (Ca SO<sub>4</sub>. 2H<sub>2</sub>O) de un 80 %. El mineral de este yacimiento tiene diversas calidades bien delimitadas morfológicamente, algunas son de más de 86% de CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; lo que permite hacer una explotación por zonas, de acuerdo a la demanda. En la zona del yacimiento hay ubicada una planta de procesamiento de roca, donde se muele y clasifica por vía seca, el material. La fracción gruesa se destina para la fábrica de cemento y la fracción fina se envía a la Planta de Cocción. La planta cuenta con molienda, clasificación, cocción, trituración y dosificación neumática para obtener el yeso, ya sea

lento o rápido, y en ambos casos se utiliza aditivos. (Chávez et al, 2010 y Múzquiz et al, 2009)

**Tabla 1.3:** Caracterización química promedio del yacimiento

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	PPI	RI
%	0,07	1,10	0,85	28,72	1,68	40,05	0,05	20,12	6,77

Fuente: Leyva et al, 2013

**Yacimiento Baitiquirí.** Pertenece a la Empresa de Materiales de Santiago de Cuba. El yeso de éste yacimiento es el de mejor calidad del país, pero su morfología es en extremo compleja. (Villanueva et al, 2007 y Chávez et al, 2010) El yeso obtenido en esta planta es de calidad modelar, por su resistencia de 7 MPa, y tiempos de fraguado inicial y final de 15 min y 20 min, respectivamente, sin embargo necesita de aditivos para que su fraguado sea rápido. (Sánchez et al, 2007 y Esbert, 2007)

**Tabla 1.4:** Caracterización química promedio del yacimiento

Óxidos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	PPI	RI
%	0,07	0,09	0,01	32,66	< 0,01	0,19	44,65	21,58	0,74

Fuente: Leyva; Pérez, 2013

### **Panorama de la industria del yeso en el mundo**

Principales productores de yeso en el mundo son, en orden de importancia: China (51%), Irán (8.5%), Tailandia (4.8%), Estados Unidos (4.4%), Turquía (3.8%), y España (2.4%).

En el 2014 los países que mayor cantidad de yeso produjeron fueron China, Irán y Turquía con 129 millones, quince millones y trece millones ochocientas mil toneladas respectivamente. Un estimado del 2015 refleja que aumentará el volumen de producciones a nivel mundial en trece millones ochocientos cuarenta y dos toneladas. (Tabla 1.5)

**Tabla 1.5: Producción mundial de yeso**

<b>Producción Mundial de Yeso</b>		
<b>(Millones de toneladas)</b>		
<b>País</b>	<b>2014</b>	<b>2015e</b>
Estados Unidos	11	11 500
Argelia	2,13	2 200

Argentina	1,44	1 400
Australia	3,5	3 500
Brasil	3,75	3 300
Canadá	2,65	2 700
China	1,29	132 000
Francia	2,3	3 300
Alemania	1,95	1 800
India	3,54	3 500
Irán	15,	22 000
Italia	4,1	4 100
Japón	4,67	5 000
México	5,496	5 378
Omán	2,79	3 500



Rusia	5,1	4 500
Arabia Saudita	2,4	2 400
España	6,4	6 400
Tailandia	6,3	12 500
Turquía	13,8	10 000
Reino Unido	1,7	1 200
Otros	14,3	15
<b>Producción mundial (redondeado)</b>	<b>244,636</b>	<b>258,478</b>

Fuente: Perfil del mercado del yeso, 2017      Nota: e-estimado

El principal productor de yeso del mundo, China, produjo más de 10 veces la cantidad producida en los Estados Unidos. Irán, el segundo en la producción mundial, suministró gran parte del yeso necesario para la industria de la construcción en Medio Oriente. España, el principal productor europeo, ocupó el sexto lugar en el mundo y suministró productos de yeso crudo y yeso a gran parte de Europa Occidental. Un mayor uso de paneles de yeso en Asia, junto con nuevas plantas de productos de yeso, estimuló el aumento de la producción

en esa región. A medida que el panel de yeso se usa más en otras regiones, se espera que la producción mundial de yeso aumente.

En el periodo 2011 a 2014, las importaciones estadounidenses de yeso se concentraron en los siguientes países: México, 42%; Canadá, 35%; España, 22%; y otros, 1%.

La demanda de yeso depende principalmente de la fortaleza de la industria de la construcción, particularmente en los Estados Unidos, donde alrededor del 95% del yeso consumido se utiliza para la fabricación de cemento portland y productos de paneles de yeso. Si la construcción de plantas de fabricación de paneles de yeso sintético elaborado a partir de carbón continúa, esto podría resultar en una menor extracción de yeso natural. (Perfil del mercado del yeso, 2017)

### **Proceso de obtención de yeso en el mundo**

En México la cadena productiva del yeso cuenta con los siguientes procesos:

- ✦ Extracción del mineral y acarreo
- ✦ Trituración, selección y molienda
- ✦ Calcinación en hornos
- ✦ Remolienda, clasificación y envasado

Para la extracción del mineral como el sistema es a cielo abierto se retira la vegetación y se recolecta el suelo sobre el área a trabajar y se realiza la explotación mediante banqueos o terrazas. Los trabajos de minado se realizan mediante plantillas de barrenación con perforadoras de aire comprimido.

La reducción de las rocas provenientes de la cantera se realiza por medio de trituradoras de mandíbulas para que el mineral que se alimenta al circuito de trituración tenga el tamaño adecuado a la abertura de la quebradora primaria. Se emplean trituradoras cónicas de paso

graduable o trituradora mecánica de rodillos estriados para la primera etapa de trituración. Para la segunda etapa de trituración utilizan trituradoras cónicas en grado fino o molino de bolas de acero.

Mediante el uso de tromeles o cribas vibratorias se logra la separación de los productos y la clasificación por tamaño. La roca pulverizada pasa por un elevador de canchales a los silos o depósitos de reserva y almacenamiento que tiene gran capacidad.

El proceso de deshidratación es lento entre 90 y 100<sup>0</sup>C y bastante rápido a los 120<sup>0</sup>C pero la calcinación no se termina hasta alcanzar temperaturas superiores 240<sup>0</sup>C.

Para obtener hemidrato alfa proponen las condiciones siguientes:

- Temperatura en el rango de 120-170<sup>0</sup>C
- Se obtiene en hornos de autoclave
- Para su formación es indispensable que se produzca una atmósfera saturada de vapor de agua
- Necesita tiempo de fraguado menor que el beta.

Las condiciones para obtener hemidrato beta son:

- Se empieza a formar a partir de 200<sup>0</sup>C
- Se fabrica en calderas u hornos rotatorios
- Mayor tiempo de fraguado

Para la cocción en calderas se carga el mineral hasta llenarla, se calienta lentamente y a los 120<sup>0</sup>C parece que la masa hierve por la evaporación del agua de cristalización, entre 150-165<sup>0</sup>C cesa la ebullición, se sigue calentando sin agitar y a los 170<sup>0</sup>C se da por terminada la

operación. Sin embargo en el horno rotatorio el mineral atraviesa el horno mientras se cuece y se descarga a una temperatura de 160-195<sup>0</sup>C.

Una vez cocido el yeso y transportado a la cámara de reposo o enfriamiento pasa a los molinos refinadores para homogenizar el material hemidratado mediante el uso de molinos de martillo controlándose el tamaño de abertura de la parrilla. La clasificación se realiza mediante cribas vibratorias o tamices giratorios.

Para el envasado del yeso al obtener la finura deseada se utilizan sacos especiales con objetivo de protegerlo de la humedad. (Perfil del mercado del yeso, 2017)

En el proceso del yeso calcinado en Pernambuco, Brasil se sigue la misma secuencia productiva que en México.

Para la trituración del mineral emplean una sola etapa y proponen una trituradora de mandíbula o molinos de martillos. En cuanto a la calcinación predomina el empleo de hornos intermitentes en comparación con los rotativos continuos que suelen ser utilizados cuando se requiere un producto uniforme, además de estos hornos que trabajan bajo presión atmosférica hay otros del tipo autoclaves que se usan para la producción de yeso alfa. (Baltar, 2006)

En España el mineral en la mina se explota a cielo abierto al igual que en México y Brasil. Según el sistema de deshidratación que se vaya a seguir se puede variar el grado de trituración de la roca cruda, las trituradoras a emplear son:

- Machacadoras : hasta dimensiones de 2 a 3 cm
- Molino de martillo: material más fino
- Trituradoras de martillo: factores de reducción muy elevados de hasta 20

Los hornos que emplean para la calcinación se dividen en grupos según si el yeso está en contacto directo con los gases de combustión pueden ser hornos fijos de tipo rudimentarios

de cuba o de colmena, hornos rotatorios y de parrilla móvil; sin contacto directo con los gases de combustión pueden ser fijos de panadero, autoclaves o calderas y hornos rotatorios.

La molida después de la cocción suele hacerse igual que en México con molinos de martillos o con molino de bolas si es de interés mucha finura en el producto. Para el almacenamiento a diferencia del proceso en México se almacena en silos cerrados y aislados de la humedad con objetivo de evitar la hidratación. (Villarino, 2010)

En general el proceso de obtención del yeso consta de un proceso de trituración que contar con una etapa o dos de trituración. Luego para la calcinación del mineral se emplean diferentes tipos de hornos que operan a diferentes parámetros de temperatura y presión en dependencia del tipo de yeso que se quiera obtener. Posteriormente se deja enfriar en un silo y si es necesario por los parámetros de calidad que se requieren se puede pasar el yeso deshidratado por una última etapa de trituración para alcanzar la granulometría deseada. Para ensacar se pueden emplear silos cerrados o sacos especiales para evitar que adquiera humedad por la propiedad higroscópica del mineral.

## **Conclusiones**

La industria del yeso en Cuba posee un buen reservorio de este mineral. Los principales productores de yeso en el mundo son China, Irán y Turquía. Uno de los principales importadores de yeso es Estados Unidos las que se concentran principalmente a México y Canadá. El proceso de la industria del yeso en todo el mundo cuenta con tres procesos fundamentales el procesamiento del mineral de yeso, la cocción y los procesos complementarios.

## **Bibliografía:**

1. Alonso FJ, Vázquez P, Esbert RM, Ordaz J. *Ornamental granite durability: evaluation of damage caused by salt cristalization*. *Materiales. Construcción*.58 (289-290): 191-201. 2008.
2. Álvarez Cambra, L. *Tratado de ortopedia y traumatología*. Tomo 1 y 2. La Habana: Edición MINSAP: p 9-33. 2001.
3. Baltar CAM, Bastos F, da Luz, A.B. *Minería y calcinación en el polo yesero de Pernambuco (Brasil)*. *Boletín Geológico y Minero*. 117(4): 695-702. ISSN: 0366-0176. 2006
4. Bierhenke, Wilhelm. *La obtención del yeso en Murcia*. *Revista Murciana de antropología*. No 16. 2009
5. Bustamante R, Sánchez de Rojas MI. *Estudio de los enlucidos de yeso de la iglesia de San Pedro de los Francos de Calatayud*. *Materiales de Construcción*. 57 (286): 304-310. 2007
6. Chávez C., Fuentes C. y Ventura Ramos E. *Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida*. *Redalyc.Terra Latinoamericana*. 28(3): 231-238. 2010
7. Claisse, P.; Ganjian, E.; Tyrer, M. *The use of secondary gypsum to make a controlled low strength material*. *The Open Construction and Building Technology Journal*, vol. 2. 2008, pp. 294-305
8. Dana H. *Manual de Mineralogía. Tratado moderno para la enseñanza en universidades y escuelas especiales y para guía de ingenieros de minas y geólogos*. 2da edición. Cooperativa del Libro. Federación Estudiantil Universitaria Cuba. p.370-386. 1962.
9. Esbert RM. *Alteration of granite stone used in building construction*. *Materiales de Construcción*. 57(288): 77-89. 2007.

10. Dana H. Manual de Mineralogía. *Tratado moderno para la enseñanza en universidades y escuelas especiales y para guía de ingenieros de minas y geólogos*. 2da edición. Cooperativa del Libro. Federación Estudiantil Universitaria Cuba. p.370-386. 1962.
11. Esbert RM. *Alteration of granite stone used in building construction*. *Materiales de Construcción*. 57(288): 77-89. 2007.
12. Gázquez MJ, Bolívar JP, Vaca F, García-Tenorio R, Mena-Nieto A, Hughes PN, et al. *Production of 'green concrete' using red gypsum and waste*. *Proceedings of the ICE-Engineering Sustainability*. 163: 137-146. 2010.
13. González FJ, Lloveras J. *Algunos resultados de los trabajos de experimentación acerca de la reutilización de espumas de poliestireno expandido*. VIII International Congress on Project Engineering. Bilbao. 2004.
14. González F.J. *Mezclas de residuos de poliestireno expandido 8EPS conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción*. *Informe de la construcción*. 60(509):35-49. España 2008.
15. González M, Marte M. *Utilización de la cáscara de nuez Chandler en el yeso*. Tesis en opción al título de Máster. Universidad Politécnica de Madrid. España. 2011
16. Guillén Viñas, José Luis. *Nuevas aplicaciones de recursos yesíferos. Desarrollo, caracterización y reciclado*. Madrid. 482 h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. Universidad Politécnica de Madrid. 2014
17. Hernández S. *Emisiones contaminantes de materiales de construcción en el interior de los edificios*. *Casos de los tableros de yeso*. *Ciencia Ergo Sum*. 14(3): 333-338. 2008
18. Hughes, P. N.; Glendinning, S.; Manning, D. A. C.; Noble, B. C. *Production of 'green concrete' using red gypsum and waste*. *Proceedings of the ICE-Engineering Sustainability*, vol. 163, pp. 137-146. 2010

19. Leyva Peraza, Lic. Yanelys; Pérez Hernández, Ing. Abdel. *Estado actual de la industria yesera en Cuba*. V Congreso Cubano de Minería (Minería'2013). Minerales Industriales para la Construcción 2013
20. Ming, Yuk. Producción de yeso alfa a partir de materia prima nacional. Informe final de cursos en cooperación. 2008 Consultado en internet en abril, 2018: <http://www.acaemia.edu.com>
21. Múzquiz EM, Osuna JG, Solís A, Solís S. *Influencia de los aniones  $Cl^{-1}$ ,  $Br^{-1}$  y  $SO_4^{-2}$  sobre el tiempo de fraguado y propiedades del yeso cerámico*. Bol. Soc. Quím. Méx., 3(2), 73-78 © 2009, Sociedad Química de México ISSN 1870-1809. 2009
22. Perfil del mercado del yeso. *Dirección general de desarrollo minero*. Subsecretaria de Minería de México. 2017 Consultada en internet en mayo, 2018: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/287809/PerfilYeso2017.pdf>
23. Potgieter, J. H.; Potgieter, S. S.; Mccrindle, R. I. *A comparison of the performance of various synthetic gypsums in plant trials during the manufacturing of OPC clinker*. Cem. and Concr. Res. vol. 34, pp. 2245-2250. 2004. Consultado en internet en mayo, 2018: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres>.
24. Rivas, T.; Prieto, B.; Silva, B. Artificial weathering tests of granitic rocks. *Materiales de Construcción*. 58(289-290): 179-189. España. 2008.
25. Sánchez MI, Sotolongo R, Frías M, Sabador E, Marín, F. *Thaumasite. Formation due to the Use of Aggregates with High Carbonate and Sulphate Content*. XII International Congress on the Chemistry of Cement, July 2007. Canada. 2007.
26. Sardi G., Giovanna D. *Yesos dentales utilizados en odontología*. Catálogo ZEUS Italia. RINA QUACER .CISQ. p: 5-27. 2011.



27. Silva Hermo B, Prieto T, Rivas L, Pereira P. *Origen y efectos deteriorantes del yeso en monumentos graníticos del noroeste de España*. *Materiales de Construcción*. 60(297): 153-177. 2010.
28. Tabón, Jorge L; Montoya, Laura M. *Análisis comparativo entre algunas materias primas minerales nacionales e importadas utilizadas en la Industria del cemento*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, Num.19, p 57-72 Universidad Nacional de Colombia. ISSN (versión impresa): 0120-3630. 2006.
29. Talero, R. *Kinetic and morphological differentiation of ettringites in plain and blended Portland cements using metakaolin, and the ASTM C 452-68 test: Part I: kinetic differentiation*. *Materiales de Construcción*. 58(292): 45-68. 2008.
30. Villarino Otero, Alberto. *Ciencia y tecnología de los materiales*. Escuela Politécnica Superior de Ávila. 2010
31. Villanueva Domínguez, L., Carretero, Gómez, S., Cea López, B., Hernández Lomero, D., Montero Azañón, R., Pérez León, J.C. y Rodríguez Rico, J. *Aplicaciones actuales de conglomerantes tradicionales*. Trabajo de la asignatura Seminario de Laboratorio de Materiales, Morteros. Madrid: DPTA, ETSAM. UPM. Trabajo Inédito. 2008.
32. Villanueva L, Agromayor E, Andujar C, Cortijo A, García M. *Yeso de Albarracín*. Trabajo de la asignatura de Laboratorio de Materiales, Morteros. Madrid: DPTA, ETSAM. UPM. Trabajo Inédito. 2007.
33. Villanueva J, García A. *Manual de la construcción con yeso. Acabado de sistemas de muros de panel de yeso*. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso; 2001; 36: p.165-199.