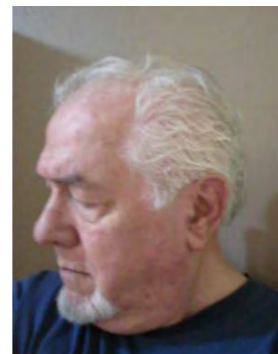


INNOVACIÓN Y CIENCIA

Editor:

Carlos
Arellano Hartig



carlosarellanohartig@gmail.com

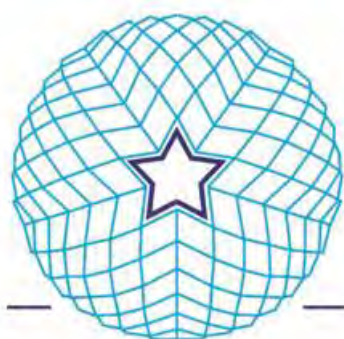
Revisores:

George Cuevas

geo.wain@verizon.net

Manuel Fernández Vilchez

manuelvilches@yahoo.es



La idea estelar que genera un mundo complejo y armónico, es el símbolo diseñado por este editor para la innovación.

Nuestra sección de *Innovación y Ciencia* es una ventana al desarrollo de estos eventos que afectan a nuestras culturas, para lo cual procuramos brindar un enfoque múltiple, teórico y práctico. No se nos oculta que en nuestros países latinoamericanos los niveles de innovación y ciencia son muy bajos y que necesitamos un esfuerzo extraordinario para un cambio de condiciones y resultados. Sin embargo, la fe en nuestra gente es lo primordial y estamos seguros que tras un esfuerzo sostenido de concientización, iremos despertando a una nueva era de progreso sostenido y sostenible. Para ello invitamos a nuestros lectores a colaborar con sus puntos de vista, que en esta sección comprenden, principalmente:

- **Estudio de Casos de Innovación empresarial e institucional, particularmente de interés para el despegue de las PYMES.**

- **Descripción y análisis del Índice Global de Innovación (IGI) que anualmente publica la OMPI – Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.**
- **Reporte sobre las grandes innovaciones tecnológicas y científicas que llegan a los mercados internacionales y que indefectiblemente inciden en la transformación de nuestras economías. Ej. Impresión 3D, Drones, etc.**
- **Estudio de las condiciones** sectoriales, especialmente en aquellas áreas en las que caben cambios y tecnologías que pueden apropiarse.
- **Propuestas de desarrollo y modificación de las condiciones de estímulo a la innovación y al aprovechamiento racional de nuestros recursos. Publicidad para concursos y premios a la innovación y ciencia.**
- **Promoción de una cultura científica basada en una actitud llana, que desmitifique los campos de las ciencias básicas y aplicadas a las que pueden acceder nuestros jóvenes, lo mismo que lo han hecho en la literatura y la historia. ■**

Luz y Gravedad

George Cuevas

La detección casi simultánea de la luz y las ondas gravitacionales procedentes de una colisión de estrellas de neutrones ha permitido descartar múltiples modelos teóricos que aspiraban a explicar la energía oscura.

El átomo consiste en su mayoría de espacio vacío. Es como una gigantesca burbuja de 1 km de diámetro y los corpúsculos subatómicos que contiene apenas llegan a llenar un espacio interior de 50 centímetros (diámetro). El volumen interior del átomo se encuentra severamente comprimido debido a la presión de la materia alrededor de la burbuja. Estas fuerzas compresivas dependen en donde está colocado dicho átomo con respecto al centro de gravedad de la estrella. En la proximidad del centro de gravedad estas fuerzas compresoras causan que el vacío sea más espeso y también las fuerzas compresivas son de la misma magnitud que las fuerzas que atan los núcleos de dichos átomos. A determinada distancia las fuerzas compresivas de origen gravitacional son suplantadas por fuerzas nucleares que son de origen electromagnético. Cuando esto ocurre hay liberación de energía interna en escala mayor.

Cuando se pellizca la superficie de la burbuja que representa el átomo, el volumen entero de la burbuja reacciona como una malla elástica. Esta es una reacción global y afecta el volumen entero del átomo. Este disturbio se transmite a través de la distancia con una velocidad típica de la materia que constituye el átomo. Sin embargo el disturbio se propaga a través de un rango que depende en la energía del pellizco. Se toma un cataclismo de mayores proporciones para que la onda cubra distancias intergalácticas (la explosión supernova).

Adentro del mismo átomo hemos dicho que hay fenómenos de liberación de energía. Estos son fenómenos locales que afectan una pequeña región del átomo y consisten generalmente en la emisión de ondas electromagnéticas llevada a cabo por una de las cuerdas. Se pueden mencionar ejemplos como la emisión de una onda de rayos X o la emisión de una onda de rayos gamma. Estos fenómenos locales también se propagan a través del resto de la burbuja y en el espacio que rodea al átomo. Sin embargo estos fenómenos locales no son de origen gravitacional.

El hecho es que sea un fenómeno local (causado por una cuerda liberando energía) o sea un pellizco o sea un fenómeno de origen gravitacional. Estos

fenómenos se transmiten a través del espacio con velocidad típica de la materia del átomo. Esta es la velocidad de la luz. ●

Potencial industrial del mineral de Yeso en Nicaragua

Carlos Arellano Hartig

Santa Rosa del Peñón es un municipio del Departamento de León, situado a 174 km de Managua la capital de Nicaragua, y a 84 km de León, la cabecera departamental. Santa Rosa del Peñón alcanzó fama por albergar la mina de oro La India. También en este municipio se produce -a cielo abierto- la mayor parte del mineral de yeso del país, un mineral de gran pureza que alcanzó una producción de 52 700 TM (BCN, 2016) y ha servido para la exportación y el abastecimiento de la industria cementera local. En Nicaragua las reservas de yeso han sido calculadas en 8 millones de toneladas métricas (EXNOMET, 1987; INMINE, 1991). Ahora bien, si consideramos que sólo la producción anual mexicana supera los 5 millones de toneladas, la cifra con que contamos en Nicaragua debe ser vista como una *cifra de oportunidad para el desarrollo* que no debe desperdiciarse. Como todos, los recursos geológicos no son eternos.

En el mundo

La producción mundial de yeso procedente de yacimientos se ha mantenido por encima de los 100 Mt (millones de toneladas métricas) en los últimos años (USGS, 2017). Existen 89 países productores, pero sólo entre 8 de ellos alcanzan el 70% de la producción. A esa producción hay que sumar otras 110 Mt de yeso sintético producido por procesos de desulfuración de los gases de emisión de las plantas químicas y de otros procesos industriales como la manufactura de fertilizantes fosfatados o la fabricación de dióxido de titanio (iq.ua.es/Yeso/economicos.htm).

Los 13 principales países productores -en Mt a 2017- fueron China (130), EE. UU. (17,5), Irán (16), Tailandia (11), Turquía (9), Italia (8,6), España (7), Omán (6), México (5,4), Japón (4,7), Rusia (4,4), India (3,5), Brasil (3,4). La mayor parte de la producción se insume internamente puesto que la industria del yeso está fuertemente vinculada a la industria de la construcción.

El yeso es muy abundante en la naturaleza, por lo que sólo se explotan los depósitos más accesibles y de mayor calidad. La extracción suele hacerse a cielo abierto, si bien hay algunas explotaciones subterráneas. No es necesaria tecnología compleja para su explotación y apenas requiere tratamiento (trituration y molienda). Puede decirse que hay pocos países que no dispongan de depósitos en explotación o potencialmente explotables, sin embargo las principales áreas productoras son los países industrializados: Norteamérica,

Europa Occidental y Lejano Oriente. Ello es debido al bajo precio del yeso, que hace que su producción sólo sea rentable a escasa distancia de los principales mercados o bien si es relativamente barato su transporte en barco. Sólo unos pocos países son importantes exportadores de yeso: Canadá, México, España y Tailandia. La mayoría de los países de Oriente Medio consumen todo el yeso que producen, con la excepción de Irán, que exporta anualmente más de 1 Mt.

En este sector seis productores poseen más del 75% del mercado en todo el mundo y son: Georgia Pacific, Knauf Gips KG, Lafarge, National Gypsum Company, Saint-Gobain y Yoshino Gypsum Co.

La problemática de paneles de yeso corrosivo importados de China continuó apareciendo en el mercado estadounidense. U.S. Consumer Product Safety Commission ha recibido más de 3 000 informes de paneles de yeso que posiblemente sean corrosivos. Sólo un fabricante de paneles de yeso chino Knauf Plasterboard Tianjin (perteneciente a Knauf Gips KG), respondió a un litigio en relación con el problema en los Estados Unidos, reconociendo que algunos paneles de yeso pueden emitir gases con contenido de sulfuros. Se sospecha que además de plantear problemas para la salud humana, estos gases producen daños en cables y tuberías de cobre.

En Centroamérica

Es de notar que el yeso, llamado Aljez en su estado primario, es un mineral abundante en Guatemala, Honduras y Nicaragua, si bien no se han encontrado yacimientos en los países vecinos de El Salvador, Costa Rica y Panamá que se ven obligados a importarlo.

En Guatemala se ha explotado el yeso blanco de alta pureza en los municipios de Chicaman, Cunén y San Cristóbal Verapaz, de Alta Verapaz, y el yeso negro en Quiché con exportaciones a las cementeras de El Salvador. Guatemala cuenta con una amplia base de industria extractiva artesanal que le ha permitido caracterizarse por sus precios bajos en los yesos y en otros minerales.

El caso de Honduras es excepcionalmente diferente. En Honduras se venían explotando diversos yacimientos de Chiquimula y Nueva Ocotepeque para las cementeras de El Salvador. Sin embargo, recientemente (2012, 2016), en el municipio de Cholula a 40 km de Puerto Cortés y con un 80% de capital local, se instaló la trasnacional KNAUF International GmbH con una inversión de 22 millones de dólares, con capacidad para producir 4 millones de placas de yeso

que permiten atender el 30 % de la demanda del área en el segmento Drywall (muro seco) de la construcción.

Es de notar que la industria del yeso laminado es una industria tecnológicamente madura con mercados consolidados, estables y crecientes en el mundo entero que implican varios miles de millones de metros cuadrados. La placa de yeso laminado nació en Nueva York en 1890 como una respuesta a la necesidad de un material funcional y confortable para el revestimiento interior de los edificios de madera, que al mismo tiempo los protegiera del fuego. En general, tres factores se asocian a su éxito en la industria de la construcción:

- El matrimonio entre las cualidades higrotérmicas del yeso y aporte de masa constructiva altamente económica, con las cualidades mecánicas del cartón.
- Su carácter industrial que contribuye sustantivamente a la productividad de la mano de obra en la construcción.
- Su versatilidad como producto (uso para tabiques, techos, soleras y elementos decorativos) y posibilidad de especializar sus aplicaciones.

Un modelo a seguir

Precisamente, este emprendimiento hondureño se erige –para nosotros- en el modelo de desarrollo a seguir en el sector de la minería nicaragüense. El yeso es un material noble que ofrece una multitud de aplicaciones industriales y mercados, además de las placas laminadas.

Otras materias primas minerales deben plantearse también el mayor valor agregado para la producción nacional. Por ejemplo, filtros con las diatomitas, vidrios con las arenas silíceas, mejoramiento ambiental con las zeolitas, alfarería industrial o comunitaria con los caolines y arcillas, fertilizantes con las fosforitas, joyería y orfebrería con los metales y piedras preciosas.

En términos generales este modelo es análogo al llamado de Agroindustria y bien puede ser llamado Geoindustria. La geoindustria es, pues, el concepto de desarrollo de los recursos geológicos con valor agregado en el origen mediante una mayor integración vertical y ejercicio de la responsabilidad empresarial con la comunidad y el medio ambiente.

Una actitud negativa

Lejos de procurar la rentabilidad nacional con sus recursos naturales, las autoridades mineras han optado por obtener peajes ridículos de las empresas mineras, los que no alcanzan para resarcir en lo más mínimo los consabidos daños ambientales de estas actividades extractivas. Organismos como el COSEP y CAMINIC han avalado, en lo conducente al yeso, un errado "Análisis de la

Actividad Minera 2006-2016" (Néstor Avendaño Castellón, 2016) que textualmente dice: *"La producción de yeso, caliza y otras piedras calcáreas es una actividad ISLA porque sus encadenamientos hacia atrás y hacia adelante son menores que el encadenamiento de la economía del país. La producción de yeso, caliza y otras piedras calcáreas es poco significativa porque no provoca efectos de arrastre importantes en el resto de actividades económicas ni tampoco reacciona sustancialmente ante los efectos de arrastre provocados por otras actividades económicas"*. Desde luego, el ejemplo de Knauf en Honduras es un claro mentís a esta postura y nos muestra cómo una actividad industrial orientada hacia la satisfacción de las necesidades del consumidor, se vincula y se integra a un cúmulo de productos y actividades complementarias. De hecho, este es el caso del yeso y sus productos para la construcción.

Un conflicto de intereses

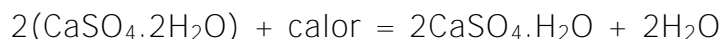
Pese a su importancia económica, la explotación del mineral de yeso en Nicaragua ha sido cuestionada por dos motivos principales: uno, por la escasa contribución a la economía local de la actividad extractiva en sí misma; y dos, por el deplorable desempeño comunitario de la empresa Yesera Guadalupe que es la concesionaria de dicha extracción en Santa Rosa del Peñón. Para su nacionalización, esta empresa fue indemnizada por el Estado por una suma equivalente a diez millones de dólares (La Gaceta N° 155, Acuerdo 34-2005) y sin embargo ha sido reticente en cancelar sus cánones e impuestos, razón por la cual ha sido demandada por el municipio (La Prensa, 24/04/2006). Por otra parte, los vecinos de la mina han protestado los daños que les causan las explosiones que son necesarias para desprender la piedra de yeso. Sin embargo, por la legislación de otros países en materia de seguridad ambiental, sabemos¹ que las viviendas deben situarse sobre el límite de 1,5 kilómetros del sitio de explosión, aspecto el cual es francamente ignorado por los pobladores con la aparente negligencia municipal y estatal.

Fabricación del Yeso

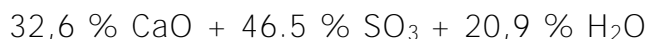
La piedra del yeso básicamente es sulfato cálcico doblemente hidratado y a lo que se llama yeso de fábrica es al semi-hidrato que por la acción

¹ *Guía Ambiental para la perforación y voladuras en operaciones mineras*. DGAA, Lima, 1995

del calor ha perdido una y media molécula de agua, resultando altamente inestable en presencia de humedad.



Su composición química es:



Si bien este yeso puede variar de estado con la temperatura, las posibilidades de alterar las características de la materia prima aparentan ser muy escasas. A lo que se llama fabricación es al proceso de calcinación que es ir calentando la piedra de yeso para hacerla perder agua. En términos generales este proceso comprende las etapas industriales que siguen:

Extracción – Trituración – Homogenización
*Pre calentado o secado – Calcinación – Refinado - Formulación y Mezcla **
Embalaje – Almacenaje – Expedición

* Las mezclas dependen del uso y se hacen con distintas proporciones de yesos alfa y beta, retardadores de fraguado, etc.

Propiedades de los Yesos

Las propiedades principales de los yesos son:

- Conglomerante aéreo
- Color muy blanco o transparente en estado puro
- Buena estabilidad volumétrica
- Al fraguar dilata 0,2 % lo que asegura fidelidad de copiado
- Excelente adherencia a una variedad de superficies
- Fraguado rápido y modificable
- Excelentes propiedades aislantes: térmicas y acústicas
- Baja transferencia de calor
- Bajo peso
- Bajo costo de producción
- Óptima textura de la superficie endurecida
- Poco solubilidad en agua dulce
- Elemento poroso transpirante
- Dureza: 2 en la escala de Mohs
- Solubilidad: 1,8 – 2,0 g/l
- Densidad:

Dihidrato= 2,3 g/cm³;

Hemidrato α = 2,7 g/cm³;

Hemidrato β = 2,6 g/cm³;

Anhidrita III α = 2,5 g/cm³;

Anhidrita III β = 2,4 g/cm³

- Peso volumétrico / masa unitaria:

Hemidrato suelto = 0,6 – 0,7 g/cm³

Hemidrato compactado = 0,8 g/cm³

Pasta de yeso (relación a/y = 0,5) = 1,7 g/cm³

Tipos de Yesos Comerciales

- **YESO SIN CALCINAR O YESO CRUDO:** Es el sulfato de calcio dihidratado, quebrado o molido directamente de los yacimientos. Se consume en las industrias de cemento, tratamiento de suelos, agroquímicos y tratamiento de aguas.
- **YESO NEGRO:** Es un yeso artesanal de primera generación, color gris. Proviene de un aljez con bastantes impurezas y se calcina directamente por lo que se ennegrece con el humo. Contiene un 60 % de semihidrato y es de granulometría gruesa. Se usa para retardar el fraguado en la fabricación de cementos y en la construcción para una primera capa de enlucidos.
- **YESO BLANCO O YESO DE CONSTRUCCIÓN:** Es un yeso calcinado de primera generación, con un 80 % de semihidrato y granulometría diversa. Con grano grueso se usa como conglomerante auxiliar de obra y como pasta de agarre en revestimientos interiores. Como grano fino se usa en estucos y enlucidos de acabado.
- **YESO ESCAYOLA O YESO DE MOLDE:** Es un yeso de segunda generación desarrollado en hornos mecánicos a 400 – 500 °C. Proviene de trozos de alabastro yesoso puro. Contiene más de un 90 % de semihidratos, de granulometría fina, alta blancura y resistencia, fragua rápidamente. En sus dos formas alotrópicas, el tipo de yeso Alfa se obtiene calcinando en atmósfera húmeda y es más duro (2,76 g/cm³) se usa en moldes cerámicos y odontología. El tipo Beta (2,63 g/cm³) se calcina en atmósfera seca u horno abierto; es el Yeso de París o propiamente Escayola que -con un uso general- se emplea particularmente en prefabricados y vaciados en moldes, placas y molduras. Ambas formas deben poseer una resistencia a flexotracción superior a 35 kg/cm².

- YESOS CONTROLADOS: Industrialmente se pueden elaborar mezclas de los diferentes tipos de yeso dependiendo de su uso específico, principalmente de hemidratos y anhidritas. Las anhidritas producen un conglomerante más denso y con mayor resistencia. Los yesos comerciales, contienen además del hemidrato, cantidades variables de anhidritas y de dihidratos. La presencia de uno u otro, afecta la calidad de los yesos producidos. La variedad del tipo de yeso se puede determinar por análisis térmico diferencial
- YESOS CON ADITIVOS: Los yesos controlados se mezclan con agentes selectos como retardantes, acelerantes, espesantes, resinas, fibras, etc.
 - Yesos finos especiales
 - Yesos de construcción controlados
 - Yesos de proyección mecánica
 - Yesos de proyección mecánica aligerados
 - Yesos de proyección mecánica de alta dureza
 - Yesos aligerados controlados
 - Yesos-cola y adhesivos

Normativa y Calidad de los yesos y sus productos

La producción y comercio de yeso y sus productos está amparada en una amplia normativa internacional tanto de métodos de prueba como de especificaciones de calidad. La ASTM (American Society for Testing and Materials) dispone de unos quince estándares metodológicos. Probablemente sea la AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) el organismo que presenta el mayor desarrollo de especificaciones o normativas de calidad, si bien la Comunidad Europea brinda una mayor referencia a los productos de construcción.

Los yesos y escayolas, como parte permanente en la construcción de un edificio, están sujetos a la Directiva 89/106/CEE de Productos de la Construcción y por tanto deben llevar el marcado CE. Este marcado sobre un producto de yeso implica que:

- **El fabricante ha realizado un ensayo inicial en un laboratorio independiente.**
- **El fabricante asegura por sí mismo que los productos fabricados con posterioridad tienen las mismas propiedades que el ensayado inicialmente.**

El marcado CE se aplica a los productos de construcción que son incorporados de manera permanente a obras. Estos productos sólo podrán comercializarse en la mayoría de los Estados Miembros si llevan el marcado CE y deberán permitir la construcción de obras que cumplan determinados requisitos esenciales referentes a: resistencia mecánica, la estabilidad, seguridad en caso de incendio, higiene de la salud, al medio ambiente, a la seguridad de utilización, a la protección contra ruido, al ahorro de energía y al aislamiento térmico. Estos

requisitos se concretarán en primer lugar con documentos interpretativos elaborados por los comités técnicos para, a continuación, desarrollarse en forma de especificaciones técnicas.

En cuanto al mineral como tal, se observa que la calidad y las propiedades mismas de los yesos dependen de muchas variables. Las principales de ellas son:

- Pureza en la composición de la materia prima.
- El grado de selección realizado a la materia prima.
- El método empleado para la cocción.
- La temperatura y el tiempo empleado para la cocción.
- El grado de molienda.
- La clasificación de los tipos de yeso y su mezcla.
- El tipo de aditivos usado.

De la combinación de estas variables, se pueden producir diversas clases de yesos, con propiedades diferentes, que le confieren a los productos aptitudes para diversas aplicaciones.

La pureza requerida para obtener un buen yeso aglomerante, debe ser, como mínimo del 90% en sulfato de calcio. Si el yeso contiene anhidritas se puede admitir un límite mínimo del 80% de pureza. El grado de blancura nos indica su pureza y de ella depende la calidad de los productos obtenidos a partir del yeso. Cuando posee cantidades importantes de cloruros, magnesio, u otras sales solubles no se debe emplear para producir materiales de construcción. Las impurezas de los yesos de mina, son generalmente arcillas, cuarzos, dolomitas y calcitas

Los Aditivos Retardadores del fraguado

Los aditivos modifican las cualidades de los yesos aglomerantes principalmente retardando o acelerando el tiempo de fraguado. Los aditivos se pueden clasificar en tres grupos:

- GRUPO A Sustancias que disminuyen la solubilidad del yeso:
Glicerina, alcohol, acetona, éter, azúcar, ácidos acético, bórico, cítrico, fosfórico y sus sales, sosa.

- GRUPO B Sustancias que forman grupos insolubles con el ión Ca^{++} , con la consiguiente reducción de éste en la solución: *Acetato de calcio, carbonato de calcio y carbonato de magnesio.*
- GRUPO C Los compuestos orgánicos de elevado peso molecular que actúan como coloides protectores. Estos compuestos no solo modifican el tiempo de fraguado sino que cambian muchas otras propiedades como la plasticidad, la reología, el tiempo de empleo, la contracción diferencial, la elasticidad, etc. Pertenecen a este grupo las *caseínas, goma arábiga, proteínas hidrolizadas, taninos, keratinas, metilcelulosas, cola, pepsina, peptonas, albúmina, goma arábiga, gelatina, melazas, productos de descomposición de la albúmina, pelos animales, productos de transformación de los aminoácidos con formaldehído.*

Las sustancias de este grupo son de gran interés porque no suponen el peligro de eflorescencia como ocurre con las del grupo B. Las acciones combinadas de algunas de estas sustancias da lugar a una mejora de las propiedades del yeso, especialmente la aplicación de una metilcelulosa al 1 a 2 ‰; **la aportación de un retardador de base proteínica al 4 ‰, por ejemplo,** permite aumentar el tiempo de empleo de un yeso de 5 a 20 minutos.

Tiempos de fraguado

Los datos de solubilidad del yeso que ofrecen los fabricantes por lo general se refieren a mezclas con agua pura, razón por la cual la concentración de yeso para fraguar debe ser experimental para todos los sistemas distintos de una solución en agua pura. La vida útil (velocidad de fragua) depende de las impurezas del yeso y de la calidad del agua, lo mismo que de la edad de manufactura del yeso. Normalmente el yeso alcanza su resistencia máxima en dos días, requiriendo para la fragua:

- **Semihidratos..... 3 a 5 minutos**
- **Yeso blanco ordinario.....5 a 7 minutos**
- **Yeso con retardador.....7 a 12 minutos**
- **Escayola de moldeo.....30 minutos aproximadamente**
- **Yeso con retardador y plastificante.... Hasta 60 minutos**

Recomendaciones de Uso y Manejo en la construcción

Conviene asimilar las recomendaciones siguientes para el yeso:

- No debe usarse en exteriores (excepto productos específicos que lo permitan).
- No debe aplicarse sobre piedras y maderas debido a su poca adherencia a ellos
- Evitar el contacto con metales. El yeso es altamente corrosivo de ellos
- Debe almacenarse en lugares secos y cubiertos para evitar deshidratación

- Si no se usa con retardantes de fragua, debe amasarse en pequeñas cantidades.
- Debe evitarse contactos permanentes con la piel. Usar guantes
- Se puede usar como aglomerante en morteros de yeso
- Se puede usar para fabricar moldes, molduras y placas

Incompatibilidades

- Con los metales y en presencia de humedad produce fuerte corrosión por lo que deben protegerse con algún recubrimiento.
- Puede afectar la durabilidad de los morteros y hormigones, pues en contacto con la humedad el ion SO_4 = reacciona con los aluminatos tricálcicos (AC3) del **cemento, formando la Sal de Candlot más conocida como el “bacilo del cemento” o etringita. Este fenómeno va acompañado de un considerable aumento de volumen o expansión que ocasiona fisuras generalizadas.**
- Eflorescencias, manchas y desprendimientos: resultan por la formación de sulfatos, sales de sodio, hierro y magnesio.
- Alteraciones de la fragua normal se producen con la presencia de carbonatos, aluminatos, ácidos grasos, alcoholes y azúcar
- Bajas resistencias: debido a la presencia de impurezas como carbonatos, arcillas y óxidos de hierro.
- Excesos de agua producen deslavado y pérdida de resistencia y adherencia.

PROCESO TÍPICO DE PRODUCCIÓN MINERA

(Extracto recopilado de *Perfil del Mercado del Yeso*, Coordinación General de Minería, 54 pp, México, 2016)

Extracción

Se desmonta el área a trabajar y por medio de bulldozers se lleva a cabo el descapote. Para disposición del material de desecho son utilizados cargadores frontales y camiones fuera de carretera; posteriormente, se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura; más adelante la roca fragmentada es cargada en camiones fuera de carretera para alimentar la trituradora primaria localizada en la entrada de la mina.

Trituración

En esta etapa se reduce el tamaño del yeso, usualmente se utilizan cribas vibratorias en el circuito para maximizar la eficiencia de la trituración y

reducir la producción de ultrafinos. De esta trituradora, la roca es movida con una banda transportadora a la pila de almacenaje y la porción de desechos es separada. El beneficio se realiza cuando se tienen los más altos requerimientos de calidad de los productos finales en el mercado. En esta etapa se puede recuperar yeso para la fabricación de cemento.

Secado

Se realiza con el objeto de remover la humedad y para la preparación de la roca con el fin de asegurar el libre flujo de material en las etapas subsecuentes, a menudo se utilizan secadores rotatorios.

Calcinación

Es el paso para reducir el sulfato de calcio dihidratado a formas hemihidratadas o anhidras. Se realiza a través de una caldera en la que el calor es introducido por la parte inferior fluyendo hacia arriba. Para mejorar el calor transferido son instalados cuatro o más flujos cruzados y se procede a agitar por medio de una lumbrera vertical rotatoria con escobas mecánicas o brazos de rastrillos. Perfil de Mercado del Yeso 18 En la calcinación se pierde agua entre 43 y 49° C. Durante el relleno la tasa de ignición es controlada a una temperatura de los contenidos de la caldera alrededor de 104° C, después de que esta etapa concluye, la tasa se incrementa produciendo diferentes propiedades en el estuco final. Para la producción de estuco resistente y con características deseables para plafones, la caldera es operada en forma continua en la que el yeso pulverizado de una finura de aproximadamente 90% (malla 100) es introducido a la caldera por un alimentador suministrado por una tolva. Las calderas continuas descargan estuco acabado a una tolva. El estuco es descargado a una temperatura de entre 138 y 154° C. Existen sistemas de aire comprimido para fluidizar el derrame estable y la descarga. Otro método es la calcinación **"Flash" que consiste en una corriente de aire caliente con separación subsecuente en un ciclón o colector de polvos de la casa de bolsas.** No puede ser hecho junto con la molienda final. En este método la calcinación no es tan controlable como en la caldera y no se usa donde se requieren estucos de alta calidad. Los molinos de martillo o de rodillo de alta temperatura han incrementado su uso, así como los molinos de barrido de aire caliente (calcinadores para la producción eficiente de estuco). Estos molinos son alimentados por fragmentos de yeso de 25 mm. Cualquier otro tratamiento en el que se incluya la temperatura, indica la aplicación en la fabricación de cemento, revoques y yesos especiales para las industrias medicinales, odontológicas, en moldes y como carga mineral.

Molienda

La molienda de finos para yeso calcinado y sin calcinar se hace para tener un mejor control del tamaño de la partícula. Generalmente es a través de

molinos de rodillo "air swept" ajustados con separadores de aire integrales para un mejor control del tamaño de partícula, sin embargo, los molinos de impacto de alta energía también han sido usados agregando clasificadores de aire. Cuando se tiene yeso en esta etapa y sin calcinar, éste es destinado para relleno y agricultura. El procesamiento del yeso crudo depende del uso final, el cual, tiene por destino a los suelos agrícolas, para los que esencialmente se modifica la granulometría y es usado crudo. Se suele producir un granulado a partir de la molienda simple o bajo la forma de pellets, producto obtenido por molienda primero llevándolo a una granulometría muy fina y luego aglutinado en forma individual o asociado a otros fertilizantes. Para su aplicación normalmente cuando se trata de polvo se usan máquinas encaladoras, en tanto para el pellet se emplean las sembradoras o fertilizadoras comunes.

Manufactura

El estuco casi siempre es usado con algún procesamiento adicional, como molienda, aditivos mezclados o rehidratación y vaciado en bloques o plafones. El tiempo de fraguado puede ser retardado o acelerado a límites de tiempo muy exacto mezclando con el estuco algunos materiales como goma y almidón (retardadores) y sales metálicas, pasta de yeso fraguada y anhidrita (aceleradores). El estuco de la caldera, es el material calcinado más común y es una mezcla de partículas en varios estados de deshidratación a partir del dihidrato para formar anhídros, un factor que varía con el método de calcinación. Esta variación puede minimizarse con un cuidadoso control del proceso de calcinación, lo que puede ser un factor decisivo al considerar el tipo de tratamiento subsecuente que será dado al estuco. El estuco es llevado a los hornos y máquinas para plafones o bien a empacadores y mezcladores de yeso. A menudo es remolido con molinos de rodillo en circuito cerrado con separadores de aire, después de la calcinación para impartirle calidades especiales y cuando es usado como agregado. Recientemente se han usado molinos de impacto de alta energía. Cuando el estuco es usado con agregados, se usa molino tubular para la remolienda. Después de estos últimos procesos se obtienen los productos finales deseados. El yeso natural o sulfato cálcico dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

El yeso natural o sulfato cálcico dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, está compuesto por sulfato de calcio con dos moléculas de agua. Si se aumenta la temperatura hasta lograr el desprendimiento total de agua, fuertemente combinada, se obtienen durante el proceso diferentes yesos empleados en construcción, los que de acuerdo con las temperaturas crecientes de deshidratación pueden ser:

- Temperatura ambiente: Piedra de yeso o sulfato de calcio dihidratado= $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- 107° C: formación de sulfato de calcio hemihidratado= $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.
- 107 - 200 °C: desecación del hemihidrato, con fraguado más rápido que el anterior= yeso comercial para estuco.
- 200 - 300 °C: yeso con ligero residuo de agua, de fraguado lentísimo y de gran resistencia.
- 300 - 400 °C: yeso de fraguado aparentemente rápido, pero de muy baja resistencia. • 500 - 700 °C: yeso anhidro o extra cocido, de fraguado lentísimo o nulo= yeso muerto.
- 750 - 800 °C: empieza a formarse el yeso hidráulico.
- 800 - 1000 °C: yeso hidráulico normal o de pavimento.
- 1000 - 1400 °C: yeso hidráulico con mayor proporción de cal libre y fraguado más rápido.

Proceso de industrialización

El procesamiento del yeso crudo dependerá de su uso final, el cual, tiene como destino a los suelos agrícolas, para ello principalmente es modificada la granulometría y se usa crudo. Generalmente se produce un granulado a partir de la molienda simple o bajo en forma de pellets, producto que es obtenido por molienda, llevándolo primero a una granulometría muy fina y posteriormente aglutinado en forma individual o asociado a otros fertilizantes. Para su aplicación se usan máquinas encaladoras siempre y cuando se trate de polvo, y para el pellet se emplean las sembradoras o fertilizadoras. Cualquier otro tratamiento en el que se incluya la temperatura, indica la aplicación en la fabricación de cemento, revoques y yesos especiales para las industrias medicinales y odontológicas, eventualmente en moldes y como carga mineral. Básicamente la tecnología de procesado usada implica etapas de trituración (primaria y secundaria), molienda fina, clasificación, purificación, secado (si es necesario) y calcinación. Los procesos de beneficio tales como flotación, separación gravitacional u otros, se aplican solamente para casos especiales que justifiquen el mayor costo que los mismos producen. Actualmente las empresas industrializadoras ponen su interés en mejorar el control de los procesos y uso de equipos que permitan el logro de productos de mejor calidad.

PRINCIPALES USOS DEL YESO

Construcción

La industria de la construcción es el mayor mercado de los productos de yeso.

- En productos prefabricados como bases de revestimiento, plafones, lienzos (tabla roca) y planchas de yeso y fieltro; láminas de yeso, placas acústicas, cartón enyesado para revestir casas y tablas de fibra prensada para paredes.
- En plastas en pared dura, en fabricación de tabiques, para aislar mezclas usadas como resanes en tuberías, calderas, techos y como absorbente de aceites de pisos en fábricas, como relleno. Como material de enjarre de edificios, divisiones y techos. Puede ser usado como roca de construcción. Al mezclarse con resinas sintéticas suele utilizarse como aislante.
- Profusamente utilizado en construcción como pasta para guarnición (revestimiento de yeso negro que constituye la primera capa aplicada sobre el interior de un edificio, antes de revestirlo con otros tipos de acabado), enlucidos (revestimiento de yeso blanco, capa de terminación aplicada sobre la superficie de la guarnición) y revocado (revestimiento exterior de mortero de cal y cemento aplicada en una o más capas) y como pasta de agarre y de juntas.
- También es utilizado para obtener estucados (terminación o decoración de paredes y techos, interiores o exteriores, basada en pinturas y diferentes tipos de morteros, obteniendo diferentes texturas) y en la preparación de superficies de soporte para la pintura artística al fresco.
- Es materia prima para obtener escayola, como yeso de alta calidad y grano muy fino, con pureza mayor del 90% en mineral de yeso. Es un material muy utilizado en construcción en España, de color blanco, contiene muy pocas impurezas, menos que el yeso blanco, y se emplea en "falsos techos" y para acabados en edificaciones.
- El polvo de yeso crudo se emplea en los procesos de producción del cemento Portland, donde actúa como elemento retardador del fraguado.
- En los moldes utilizados para preparación y reproducción de esculturas.

Agroquímicos

En la fabricación de fertilizantes y de fosfoyesos que se aplican en la agricultura. Como fertilizante de suelos se emplea el mineral pulverizado y sin fraguar para que sus componentes se puedan dispersar en el terreno.

Agricultura

En agricultura mejora la permeabilidad de los materiales argiláceos; proporciona azufre y soporte catalítico para la utilización máxima de fertilizantes y para mejorar la productividad en las leguminosas. También mejora la estructura del suelo; ayuda a remover boro de suelos sódicos y a recuperar este tipo de

suelos; para escurrimientos y erosión y a las plantas a absorber nutrientes; incrementa la estabilidad de la materia orgánica del suelo; hace más eficiente el agua de irrigación de baja calidad y disminuye la toxicidad de metales pesados. A pesar del gran potencial que tiene en agricultura, no es el único que se aplica en esta actividad².

Industria Química

Para producir azufre, dióxido de azufre, ácido sulfúrico y sulfato de amonio. Como agente de secado para gases y químicos. Puede ser convertido en una espuma que se usa en materiales de construcción aislantes del sonido. También se usa como aislante térmico, ya que es mal conductor del calor y como componente de lápices labiales. Tizas En la elaboración de tizas para escritura, las cuales se elaboran generalmente mezclando yeso con agua y algunos otros materiales como caolín, y se espera a que fragüe dentro de un molde especial y una vez que ha fraguado la mezcla, se desmolda y se seca. La tiza es un material terroso blanco que se usa para escribir generalmente en los pizarrones. Suele llamarse también así al compuesto de yeso que se usa en el juego de billar para frotar los tacos a fin de que no resbalen al golpear las bolas.

Cerámica

En molduras de cerámica, en arcilla vaciada, litógrafos, moldes y esculturas, en la elaboración de productos como portalibros, lámparas, ceniceros, cajas para embonar relojes, utensilios de mesa como tasas, vasos, platos, etc. También se usa como material fundente en la industria cerámica.

Medicina

En la elaboración de moldes para ortopedia y para elaborar vendas de yeso, en la fabricación de moldes quirúrgicos. Como fuente de calcio y componente en medicamentos.

Dental

Piezas vaciadas de estuco para dentistas, elaboración de moldes dentales y en la producción de pasta dentífrica.

Alimentos

² Es importante mencionar que existen otros materiales para mejorar el suelo, los cuales son: el cloruro de calcio (funciona más rápido que el yeso y necesita menos agua para reemplazar el sodio), la cal (neutraliza el suelo y proporciona calcio y magnesio a las plantas), el estiércol (es uno de los mejores acondicionadores del suelo) y la gallinaza (mejora el rendimiento del suelo), éstos dos últimos de carácter orgánico.

En el tratamiento de agua, limpieza de vinos, refinación de azúcar, vegetales enlatados y alimentos para animales.

Obras mineras

En la elaboración de polvos que se aplican en los cruces de galerías en minas de carbón para reducir explosiones y riesgos de silicosis. Fundición Forma parte de los fundentes de minerales de níquel. Tratamiento del agua Para mejorar la calidad del agua. Papel Como relleno en el papel.

Fundición

Forma parte de los fundentes de minerales de níquel.

Tratamiento del agua

Para mejorar la calidad del agua.



Papel

Como relleno de celulosas en la fabricación del papel.

Pinturas

Como pigmento en papel, algodón y pinturas.

Ornamentos

Cuando aparece en forma masiva se usa como roca ornamental. En ocasiones se talla para coleccionistas debido a que es muy blando. Puede ser pulido o **tallado en cabujón para joyería.**●