



## ESPACIO CURRICULAR: QUÍMICA INDUSTRIAL I

DOCENTE: M. CELINA DURÁN

CURSO: 5º B

GUÍA PEDAGÓGICA

UNIDAD 3: CAL, YESO, CEMENTO

OBJETIVO: Desarrollo de conceptos y resolución de actividades

### 1. CAL, CLASIFICACIÓN.

CAL: La cal es el producto obtenido a partir de la calcinación de piedra caliza y uno de los más antiguos conocidos por la humanidad. Posiblemente, la cal viva fue descubierta por el hombre cuando realizaba fogatas sobre rocas calcáreas que luego apagaba con agua, las rocas sufrían cambios físicos durante su calcinación (transformación a cal y posteriormente a cal apagada con adición de agua) permitiendo la formación de una pasta moldeable y que adquiere dureza propia del carbonato de calcio (transformación a carbonato) con el paso del tiempo.

A través del tiempo fue perfeccionándose la técnica y así es como el estuco (mortero) de hidróxido de calcio (cal apagada) comenzó a utilizarse.

Uno de los usos más antiguos de la cal viva fue en la agricultura, como abono de cal para estabilizar suelos, neutralizar suelos ácidos y suministrar nutrientes de calcio y magnesio.

#### CLASIFICACIÓN DE CALES:

La piedra caliza es la materia prima utilizada para la producción de cal. Según su naturaleza, se establece una primera clasificación diferenciando la cal aérea de la hidráulica. Se denomina cal aérea, a aquella que tiene la propiedad de endurecer en contacto con el dióxido de carbono del aire y se denomina cal hidráulica a aquella que endurece en contacto con agua. Ambas se obtienen de la calcinación de calizas, aunque la cal hidráulica utiliza caliza con mayor concentración de elementos arcillosos, sílice y alúmina, las cuales confieren al aglomerante hidraulicidad (capacidad de endurecer en contacto con agua).

\*CAL AÉREA (<5,3 % EN ARCILLAS. ALTAMENTE CÁLCICAS >90 %)

\*CAL HIDRÁULICA (>5,3 % EN ARCILLAS. ALTAMENTE HIDRÁULICAS <50 % EN CAL)

La cal aérea también utiliza piedra caliza como materia prima para su producción y puede estar compuesta por carbonato cálcico y carbonato magnésico en diferentes proporciones. El carbonato de calcio se descompone al calcinarse para formar óxido de calcio (Oca) y el carbonato de magnesio en óxido de magnesio (OMg). De acuerdo a la proporción de calcio y magnesio (Oca y OMg) presente en la cal, es posible clasificarla en:

- cal cálcica: con altos porcentajes de Oca y porcentajes de OMg inferiores al 5 %. Este tipo de cal se denomina "Cal aérea cálcica"
- cal dolomítica con altos porcentajes de OMg (Aproximadamente 30%). Este tipo de cal se denomina "Cal aérea dolomítica"

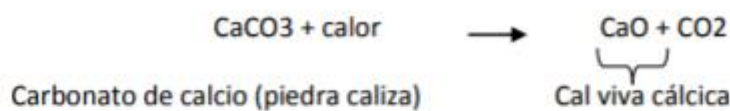
Ambas se comercializan como cal viva y apagada o hidratada. La cal dolomítica, dada la dificultad de hidratación, pueden subministrarse apagadas, es decir, conteniendo hidróxido cálcico y óxido de magnésico.



## 2. CAL, PRODUCCIÓN.

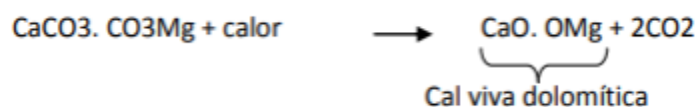
La obtención de cal viva cálcica o dolomítica, es una reacción endotérmica (necesita calor). La velocidad de descomposición del carbonato de calcio a unos 900 °C es muy pequeña, entonces resulta conveniente y económico efectuar la calcinación a una temperatura entre 1100 °C y 1200 °C. Esta calcinación se realiza en hornos que pueden ser verticales u horizontales y su elección dependerá de aspectos técnicos y económicos.

En el caso del carbonato de calcio, ocurre la siguiente reacción química:



Nombre	Carbonato de Calcio	+	Calor	$\rightleftharpoons$	Oxido de calcio	+	Dióxido de carbono
Fórmula	$\text{CaCO}_3(\text{s})$	+	$\Phi$	$\rightleftharpoons$	$\text{CaO}(\text{s})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$
Peso Molecular	100				56		44

En el caso del carbonato doble de calcio-magnesio (dolomita), ocurre la siguiente reacción química:

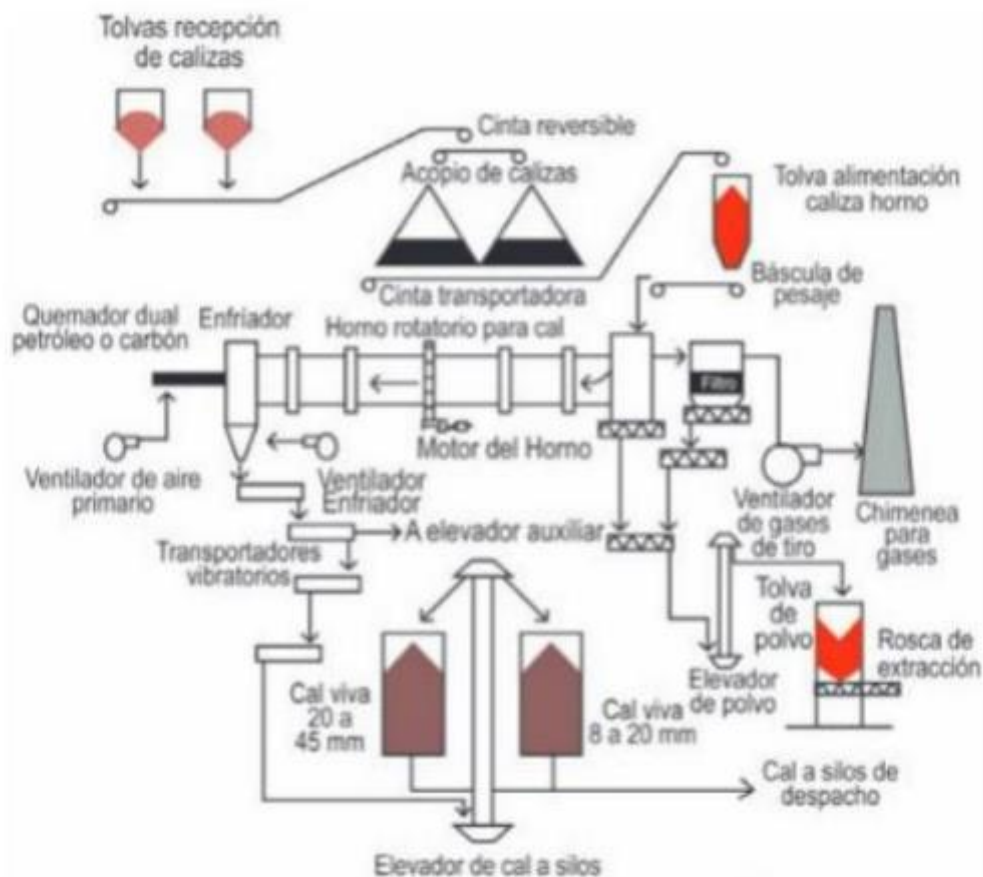


Los pasos para la producción de cal son los siguientes:

1. Obtención de la piedra caliza: Incluye todos los procesos en la cantera, a través de los cuales se obtiene la piedra caliza (materia prima del proceso). La explotación de la cantera se realiza después de un proceso de análisis de caliza, según su pureza y composición.
2. Preparación de la piedra: Aquí se incluye el proceso de trituración primaria y secundaria, así como la clasificación del material para obtener piedras con el diámetro requerido en el horno de calcinación.
3. Calcinación: La calcinación consiste en la aplicación de calor para la descomposición del mineral por reacción térmica de la caliza. En este paso se pierde cerca de la mitad de peso de la materia prima debido a la descarbonatación o pérdida del dióxido de carbono de la caliza original. La piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) se transforma en cal viva ( $\text{CaO}$ ) que puede pasar a un proceso de molienda para su posterior almacenamiento, fraccionamiento, envasado y comercialización, o para ir a una línea de hidratación para producir cal hidratada (también llamada hidróxido de calcio).



- Hidratación: la industria calera también se dedica a hidratar cal para su posterior comercialización. En esta etapa, parte del óxido de calcio o cal viva obtenida se lleva a un hidratador, se agrega agua y la cal viva se convierte en un polvo fino que conocemos como cal hidratada (hidróxido de calcio). Este proceso es un exotérmico (Se libera calor durante la reacción de cal viva con agua).
- Almacenamiento: la cal hidratada es almacenada en silos.
- Envasado / Empaque / Despacho: Luego de la hidratación el producto se almacena en grandes silos, es envasada y comercializada.



Todos los procesos anteriormente, son completamente industriales. En los mismos se llevan a cabo estrictos controles de calidad que permiten alcanzar las normas requeridas para la fabricación de cal viva e hidratada. Para ello, se determina el cumplimiento de los requerimientos químicos (dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido férrico, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxidos no hidratados y dióxido de carbono) y de los requerimientos físicos de granulometría y retención de agua. Esto permite ofrecer un producto de excelente calidad.

### 3. PRODUCCIÓN DE CAL CÁLCICA– DIAGRAMA DE PROCESO



**Preparación de materia prima:** la materia obtenida en la explotación no presenta tamaño uniforme y es de elevada dimensiones. En esta etapa es triturada mediante proceso trituración primaria y secundaria hasta lograr el tamaño de roca adecuado para su calcinación en horno.

Piedra caliza  $\text{CO}_3\text{Ca}$

**Calcinación:** la piedra caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) es sometida aproximadamente a  $1000^\circ\text{C}$ . Es calcinada para lograr su descomposición térmica y transformación a cal viva (Oca), la reacción involucra la liberación de dióxido de carbono y el mineral se transforma pasando de su apariencia de roca gris a terrón blanco. Considerando que el carbonato de calcio es puro, la reacción involucrada en el proceso es la siguiente:  
 $\text{CO}_3\text{Ca} + \text{Calor} \longrightarrow \text{Oca} + \text{CO}_2$

Cal viva OCa

**Trituración:** la cal viva obtenida, con apariencia de terrón, puede ser comercializada de esta forma o pasar a un proceso posterior de trituración, molienda y clasificación hasta ser pulverizada, almacenada en silos, embolsada y comercializada o pasar a una etapa de hidratación.

Cal viva OCa triturada

Almacenamiento,  
embolsado y  
comercialización

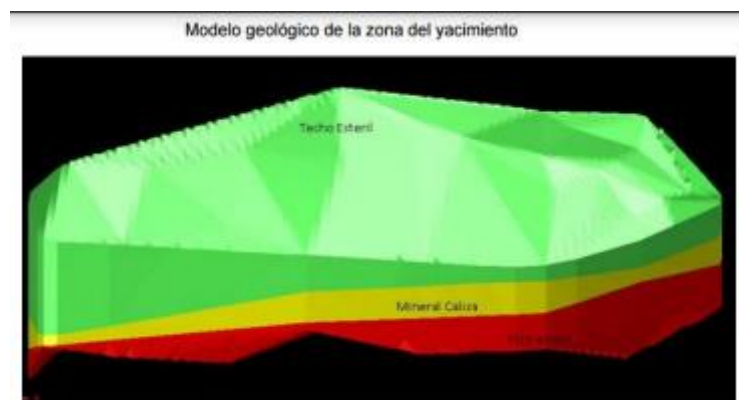
**Hidratación:** la cal viva (Oca) almacenada en silos se mezcla con agua en equipos llamados hidratadores. Se genera una reacción exotérmica y liberación de calor, provocando la combinación de la cal viva con agua para producir cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  según la siguiente reacción.  
 $\text{OCa} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$

Cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

**Almacenamiento, embolsado y comercialización:** la cal hidratada obtenida, con apariencia de polvo blanco similar a talco, se almacena en silos, posteriormente es embolsada y comercializada.

#### 4. EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA.

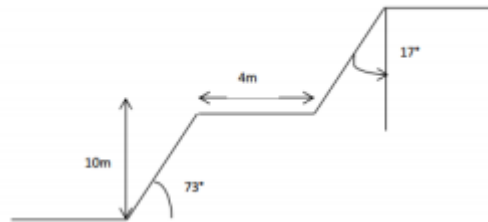
Como primera medida se identifican los yacimientos de piedra caliza y se hace un cateo que consiste en tomar muestras de diferentes puntos con el objetivo de determinar la pureza del yacimiento mediante su evaluación geológica, química y fisicoquímica. Posteriormente, se elaboran modelo geológico de la zona y planos cartográficos que contemplen ubicación de la mina y calidad del yacimiento en cada punto de muestreo. Este trabajo inicial generalmente es efectuado por geólogos e ingenieros en minas.



Para iniciar con la obtención de materia prima, previamente se establece si la explotación del yacimiento se hará en banco único o escalonado, altura y ancho de los mismos



. Perfil de los bancos de explotación.



Finalmente, se inicia la perforación y voladura de la mina para obtener la materia prima mencionada, pero el trabajo no termina aquí. El mineral obtenido en la explotación no presenta tamaño uniforme, es de elevadas dimensiones y necesita ser reducido de tamaño. Para ello, es transportado con la ayuda de palas mecánicas y camiones hasta las plantas trituradoras primaria y secundaria (dotadas de trituradoras a mandíbula, martillo y separadores) que permiten la reducción de tamaño y clasificación del mineral para su posterior calcinación.

## 5. HORNOS DE CALCINACION.

El proceso de calcinación de la piedra caliza se produce en hornos verticales (de una cuba o de dos cubas) u horizontales, usando como combustible gas, coque, fueloil o una combinación de dos de ellos.

PARA QUE LA CALCINACIÓN SE LLEVE A CABO DEBEN CONCORDAR TRES FACTORES:

1. La piedra debe ser calentada hasta la temperatura de disociación de los carbonatos.
2. El piso térmico (temperatura de calcinación) debe ser mantenido durante cierto lapso de tiempo.
3. El gas carbónico que se genera, a partir de la disociación, debe ser removido de la zona donde se genera (se extrae superiormente).

### ¡Recordemos las Reacciones de calcinación!



**Hornos horizontales:** normalmente son de gran capacidad, pueden superar las 1000 tn/día, permiten calcinar calizas de baja calidad y obtener cal de alta reactividad. Tienen un solo quemador y se usan diferentes combustibles de distintas calidades o de baja calidad sin afectar el producto, Ej. Coque con alto contenido de azufre.

Estos hornos poseen costos de inversión y producción más elevados que los hornos verticales. El consumo térmico se sitúa entre 950-1300 Kcal/Kg de cal, dependiendo de si dispone o no pre calentador.



Hornos rotatorios, proceso continuo, con y sin precalcinador.

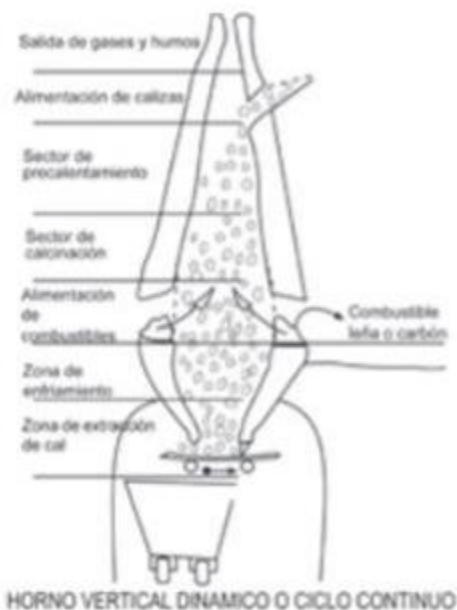


**Hornos verticales:** Pueden estar constituidos por una o dos cubas y ser continuos o discontinuos. Se cargan por el extremo superior y la calcinación del mineral se produce a medida que la caliza se desplaza hacia abajo. Si la calcinación es a gas, la llama de combustión se dosifica aproximadamente a la mitad de la cuba. Es decir, la piedra que ingresa por el sector de carga (extremo superior) se va calentando a medida que se mueve a lo largo de la/s cuba/s, luego pasa al sector de calcinación y finalmente por el sector de enfriamiento ubicado en el extremo inferior.

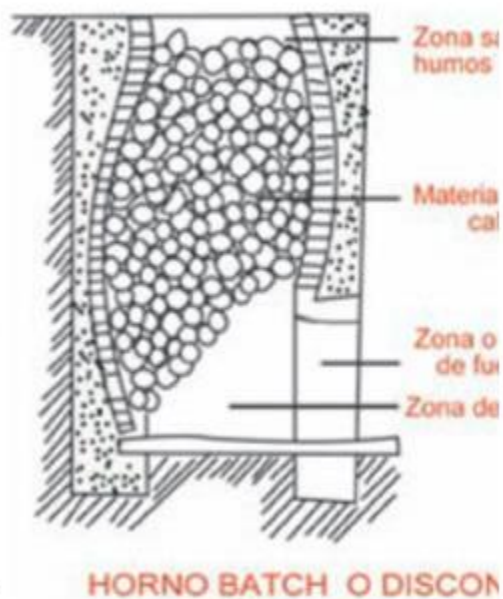
Si la calcinación se efectúa con coque recibe el nombre de lecho mixto, en el extremo superior (zona de carga) se incorpora una capa de piedra y otra de coque en forma intercalada. Se enciende la carga y se continúa con la combinación de mineral y carbón a medida que se produce la descarga de la cal por el extremo inferior (descarga).



Horno vertical proceso continuo



Horno vertical proceso batch





## 6. CAL APAGADA O HIDRATADA:

El proceso de agregar agua al óxido del calcio, para producir hidróxido de calcio, es llamado proceso de hidratación o apagado de la cal. La hidratación del CaO, comercialmente llamado cal viva, es un proceso exotérmico, que libera una gran cantidad de calor. Cuando se realiza con la cantidad justa de agua recibe el nombre de “Hidratación Seca” y se obtiene un polvo muy fino y seco. Si se utiliza un exceso de agua el proceso es llamado “Apagado” y se obtiene una suspensión, pulpa, o lechada, donde las partículas de hidróxido de calcio se encuentran dispersas en agua.

Los fabricantes de cal generalmente usan el proceso de hidratación seco, para producir cal hidratada en polvo de dos tipos:

\*Cal apagada de alto calcio: de acuerdo a la siguiente reacción:



\*Cal apagada dolomítica: Se obtiene por hidratación bajo condiciones ambientales normales, resultando la hidratación del óxido de calcio, formando el hidróxido de éste y, quedando inalterable el óxido de magnesio, según la siguiente reacción.



Entre los equipos utilizados para la hidratación tenemos:

Apagadores cerrados para pulpa

Apagadores para pasta

Apagadores en molino de bolas

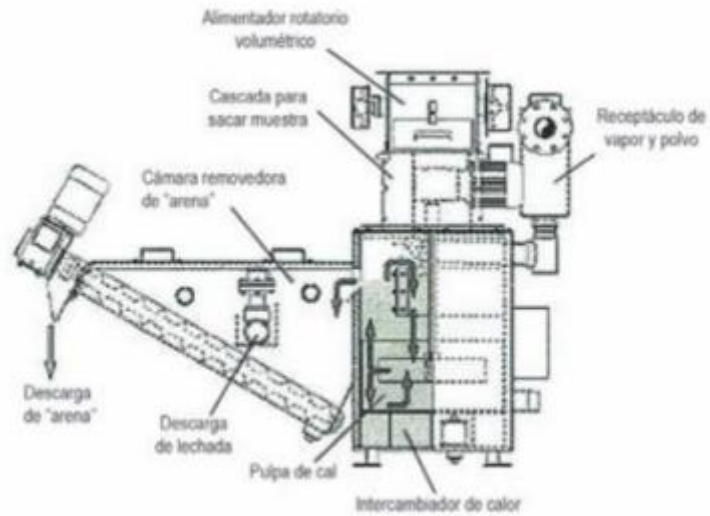


Figura 24: Apagadores cerrados para pulpa

<https://studylib.es/doc/5352764/descargar-manual>

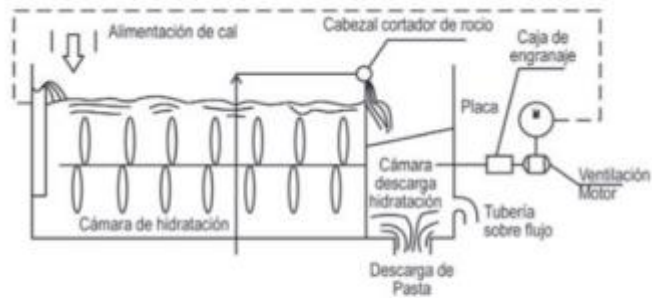


Figura 25: Apagadores para pasta

<https://studylib.es/doc/5352764/descargar-manual>

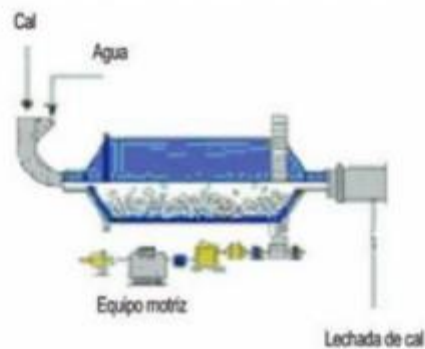


Figura 26: Molino de bolas horizontal

<https://studylib.es/doc/5352764/descargar-manual>



50  
AÑOS  
1970-2020

Colegio Secundario  
E.T.P. SAN JOSÉ



## 7. YESO, COMPOSICIÓN, ELABORACIÓN Y USOS.

**YESO:** Denominación usada para referirnos:

\*Mineral o piedra natural, compuesta por dos moléculas de agua por cada molécula de sulfato cálcico, es decir, sulfato cálcico dihidratado o doble hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

\*Producto en polvo obtenido industrialmente (es sulfato de calcio semi hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ), también conocido como yeso cocido o yeso de París), obtenido a partir de la calcinación y molienda del mineral de yeso que, al amasarse con agua, tiene la propiedad de endurecer mediante un proceso físico químico, denominado fraguado.

Se elabora a partir de un mineral natural yeso o aljez (sulfato de calcio dihidrato:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), mediante un proceso de deshidratación.

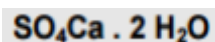


*Yacimiento del mineral*



*Producto*

**COMPOSICIÓN DEL YESO.** El yeso es un conglomerante no estable en presencia de humedad, constituido por sulfato de calcio con dos moléculas de agua.



Su composición química aproximada es la siguiente:

32.6 % CaO

46.5 %  $\text{SO}_3$

20.9 %  $\text{H}_2\text{O}$

Las propiedades principales de los yesos son:

- Material conglomerante aéreo
- Excelente adherencia
- Fraguado rápido y modificable
- Propiedades aislantes: térmicas y acústicas
- Baja transferencia de calor



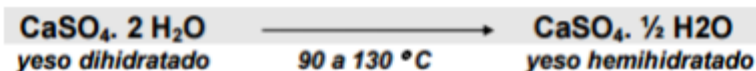
- Bajo peso
- Bajo costo de producción
- Elemento poroso de baja conductividad

Naturalmente se encuentra como un mineral de pureza y composición variables. Cuando posee cantidades importantes de cloruros, magnesio, u otras sales solubles no debe emplearse para producir materiales de construcción. Las impurezas del yeso de mina, son generalmente arcillas, cuarzos, dolomitas y calcitas.

La pureza requerida para obtener un buen yeso aglomerante, debe ser mínima del 90% en sulfato de calcio (SO<sub>4</sub>Ca) aunque 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.

### ELABORACION DE YESO

El yeso se encuentra en estado natural como sulfato de calcio dihidratado, es decir, tiene dos moléculas de agua de hidratación. En el proceso de calcinación pierde parte de esa agua e idealmente se debe alcanzar la forma de hemidrato (ver reacción), en la cual el yeso ha perdido molécula y media de agua.



A temperaturas mayores de 130° C el yeso puede continuar perdiendo agua, hasta llegar al estado de anhidrita.

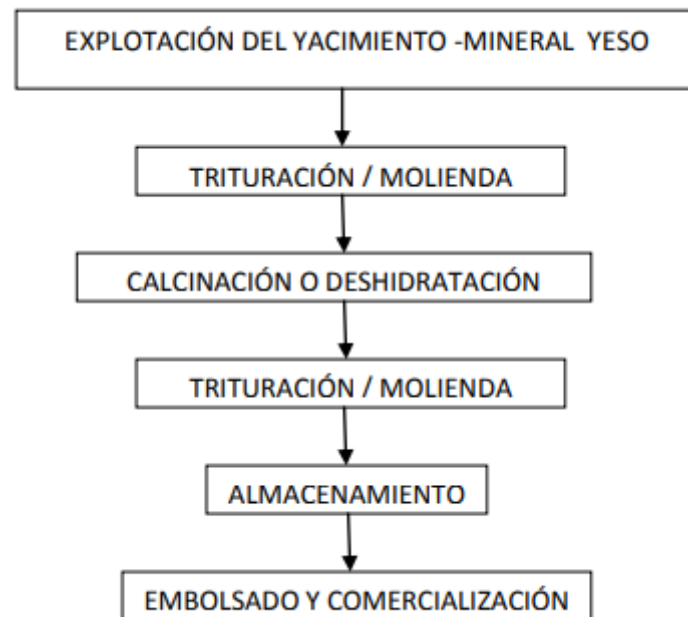


Esta anhidrita producida fragua rápidamente y reacciona ávidamente con agua o con la humedad del aire para formar nuevamente yeso hemidrato. Por esta razón se recomienda estabilizar el yeso en grandes silos antes de comercializar el producto.

Industrialmente (en los procesos de calcinación), se obtiene yeso hemidrato y partículas finas de anhidrita. Es por esto que el yeso comercial contiene, además de hemidrato, cantidades variables de anhidritas y de dihidratos. La presencia de uno u otro, afecta la calidad de los yesos producidos.

Cuando se utiliza yeso de roca como materia prima y se introduce al horno un material con un amplio rango granulométrico, se genera toda la gama de yesos descrita anteriormente dificultando la estandarización de la calidad del producto final. Cuando se utiliza como materia prima sulfato de calcio de origen químico (obtenido industrialmente), se tiene un material de alta pureza y una distribución del tamaño de las partículas dentro de un rango más estrecho y calidad uniforme.

A continuación, se adjunta un diagrama de procesos que ejemplifica las etapas de producción de yeso.



#### **USOS DEL YESO.**

Son múltiples y variadas las aplicaciones del yeso, siendo las principales las siguientes:



50  
AÑOS  
1970-2020

Colegio Secundario  
E.T.P. SAN JOSÉ



- En la Albañilería:
  - Como aglomerante de morteros simple o compuestos
  - Para fabricar hormigones de yeso
  - En la construcción de muros y paredes
  - En la construcción de tabiques y paneles.
  - Para revoques, enlucidos y estucos diversos
  - Para aislamiento térmico y acústico de paredes y cielos rasos.
  - Como defensa contra incendios
  
- En la Prefabricación:
  - Elaboración de ladrillos y bloques
  - Fabricación de baldosines
  - Construcción de placas decorativas
  - En moldeo y vaciado
  - En elementos decorativos
  - En esculturas
  
- Industrialmente:
  - Como carga en la fabricación de papel
  - Como mastico adhesivo en la fabricación de bombillas
  - Como pigmento y relleno inerte de pinturas y tintas
  - Como vehículo de sustancias químicas
  - Como floculante en la industria cervecera
  - Como fijador de sustancias volátiles
  - Como retardador en la fabricación de cemento
  
- Medicinalmente:
  - Como férula para fracturas
  - En el moldeo de piezas dentales
  - En los moldes ortopédicos
  
- En la Agricultura:
  - Para la corrección del pH y fijación del calcio
  - Para el tratamiento de aguas

## ACTIVIDAD-

1- Explique brevemente las etapas detalladas en el diagrama de procesos. Recuerde que es similar a los estudiados.

## 8. CEMENTO.

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos calcáreos, silicatos y aluminatos de cal, entre otros. Tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua.

## PROCESO PRODUCTIVO (MATERIA PRIMA, MOLIENDA, PREPARACIÓN DE MEZCLAS, HORNO GIRATORIO)



El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente las materias primas “principalmente caliza” y mezclarla en diferentes proporciones con arena, minerales de hierro, arcilla, yeso y caolín antes de calcinarla en un horno rotativo a 1300- 1400°C.

La mezcla se sintetiza y se funde a estas temperaturas, formando grumos o bolas conocidas como clinker. El denominado clinker se enfría y tritura hasta obtener un polvo fino; a continuación, se adiciona un poco de yeso y aditivos para obtener el cemento. La mezcla y la trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en húmedo como en seco; de aquí provienen los nombres de proceso "húmedo" o "seco". El método de fabricación a seguir depende, además, de la naturaleza de las materias primas usadas.

### **1ª Etapa -Preparación de las materias primas**

**Extracción:** Es el primer paso del proceso industrial. Inicialmente se realiza la etapa de perforación, para el seguimiento y control de muestras en laboratorio. Esta etapa tiene como finalidad la selección de yacimientos que permitan obtener cemento de buena calidad. La extracción se realiza mediante la explotación de la cantera a cielo abierto y la principal materia prima explotada en cantera es la caliza, aunque también se necesitan arena, minerales de hierro, arcilla, yeso y caolín para producir cemento.

**Trituración:** Posteriormente a la explotación o extracción de cantera, se traslada el mineral en camiones hasta las trituradoras antes de pasar a las etapas siguientes. Este proceso permite reducir el tamaño del mineral recibido de cantera, se tritura hasta cumplir con los requerimientos granulométricos requeridos para su calcinación. Generalmente se utiliza trituración primaria y secundaria.

El mineral triturado se mueve por medio de cintas transportadoras hasta silos de almacenamiento y posteriormente se mezcla en proporciones adecuadas para obtener determinadas características en el producto final. La mezcla es muy fina y recibe el nombre de "Harina de Crudo".

### **2ª Etapa - Cocción: El Clinker**

La "harina de crudo" se introduce a un intercambiador de calor donde se lleva a cabo un proceso de calentamiento progresivo hasta alcanzar los 1000°C. Este proceso de calentamiento del crudo se realiza por intercambio de calor entre los gases calientes ascendentes procedentes de la combustión en el horno, y la materia cruda descendente que recorre el intercambiador. Posteriormente, la materia entra en el horno giratorio donde se produce la combustión controlada de un combustible hasta alcanzar temperaturas de calcinación.

Dentro el horno, el crudo sigue aumentando de temperatura hasta alcanzar un máximo de 1.450°C, necesario para la correcta formación de los componentes responsables de las propiedades mecánicas de los cementos. El material que sale del horno tiene aspecto de gránulos redondeados y se conoce con el nombre de "clinker". Para mantener su estructura cristalina y estabilizar los componentes formados a 1450°C, el clinker sale del horno y se enfría con aire por debajo de los 120°C antes de pasar a la etapa siguiente.

### **3ª Etapa - Molienda.**

El clinker formado en la etapa de calcinación es triturado por medio de molinos a bolas. En esta etapa se incorporan aditivos como yeso, que confieren características específicas al cemento que se desea producir.

El Cemento está constituido por:



- Clinker

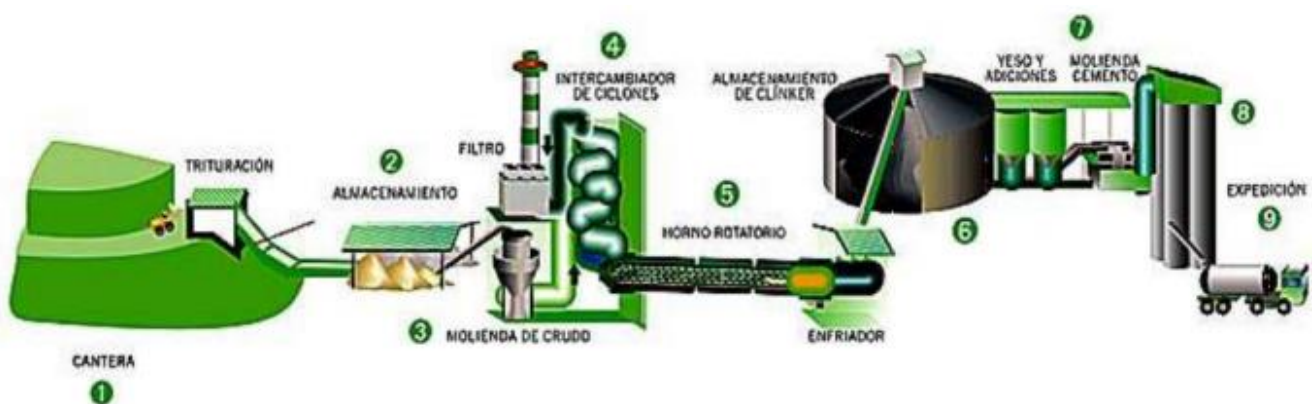
- Componentes principales, tales como; Escoria de Alto Horno, Sílice, Puzolana, Cenizas volantes, y Caliza.

- Componentes minoritarios

- Regulador de fraguado (por ejemplo, yeso)

**4ª Etapa – Almacenamiento, fraccionado y despacho.** El producto se almacena en silos, posteriormente es embolsado en bolsas de papel y finalmente comercializado.

A continuación, se grafica el proceso de producción de Cemento.



Vea el siguiente video explicativo: Producción de cemento.

<https://www.youtube.com/watch?v=CZs8-b3bqfA>

### CEMENTOS ESPECIALES - TIPOS DE CEMENTO.

Cuando nos hablamos de cemento, es necesario conocer que nos referimos a diferentes productos, hay distintos tipos de cemento y sus características dependen de las proporciones de materia prima utilizada durante la mezcla previa a la calcinación y de los aditivos incorporados al finalizar el proceso. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

- ▶ Cementos comunes, **CEM**, constituidos fundamentalmente en base a clínker de cemento portland, junto con una pequeña cantidad de yeso (retardador de fraguado). Una vez alcanzada la finura adecuada, se almacena en silos antes de su comercialización.
- ▶ Cementos blancos, **BL**, son cementos comunes con determinada composición e índice de blancura.
- ▶ Cementos para usos especiales, **ESP**. En estos cementos, el clínker de cemento portland ocupa un lugar secundario frente a las adiciones de escorias, puzolanas o cenizas volantes.
- ▶ Cemento de aluminato de calcio, **CAC/R**. Se trata de cementos con alto contenido de aluminatos de calcio (cementos aluminosos).
- ▶ Cementos con características adicionales. Estos cementos son de los tipos anteriores que, además, presentan características adicionales como la *resistencia a los sulfatos y/o al agua de mar (SR y/o MR)* o desarrollan un *bajo calor de hidratación (BC)*.



### FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO DEL CEMENTO:

El fraguado indica de una forma aproximada el comienzo de la hidrólisis inicial, de la hidratación y el comienzo del endurecimiento del conglomerante. La norma DIN 1164 establece que el fraguado deberá iniciarse una hora después del amasado del cemento y que debe finalizar después de 12 horas. El proceso del endurecimiento va unido al del fraguado, comprobándose normalmente con morteros en los que hay una parte de cemento y tres partes de arena, con una relación de a/c de 0,5.

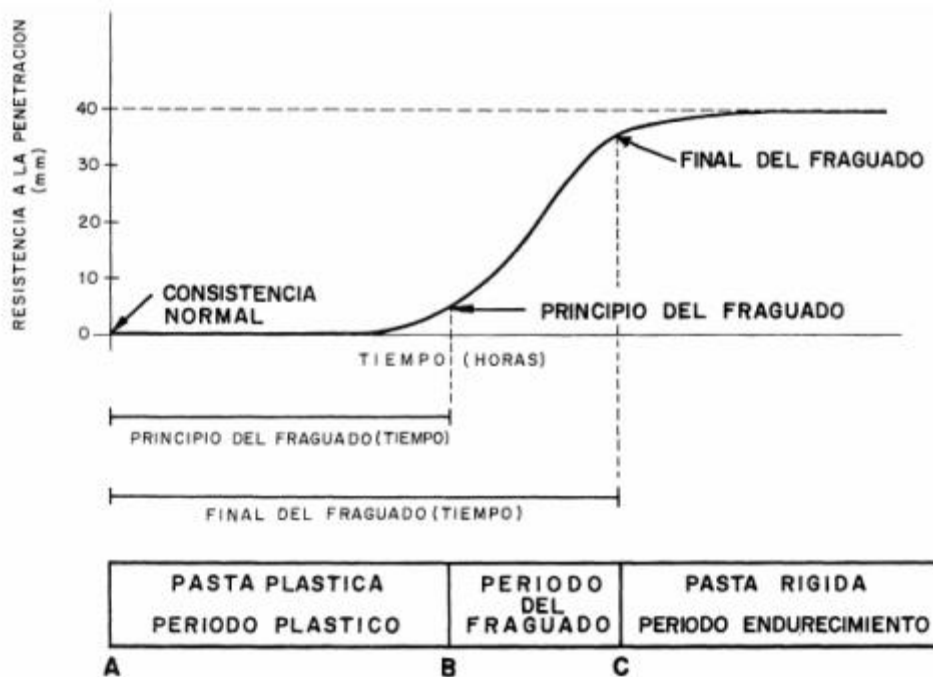


Fig. 1.—Resistencia a la penetración de una pasta de cemento Portland (consistencia plástica).

### ACTIVIDADES.

- 1- Investigue y explique brevemente: ¿Qué es el fraguado del cemento?
- 2- En función de lo detallado anteriormente, diseñe el diagrama de proceso de producción de cemento.
- 3- Nombre industrias dedicadas a la producción regional y nacional de cemento.