



LA PUZOLANA



INTRODUCCION

Las puzolanas son materiales que contienen sílice y/o aluminio, los cuales por si solos tienen poca o ninguna propiedad cementante; sin embargo, cuando son mezclados con hidróxido de calcio, ante la presencia de agua, pueden endurecer como los cementos. Las puzolanas son un importante ingrediente en la producción de materiales ligantes alternativos en relación con el Cemento Portland. Además de proveer una excelente opción técnica ante los cementos ordinarios, su costo es mucho más bajo y tienen el potencial de hacer una contribución significativa en la provisión de materiales de construcción.

Las puzolanas pueden ser utilizadas en combinación con hidróxido de calcio o bien con Cemento Portland. Cuando se mezclan con hidróxido de calcio, mejoran las propiedades de los morteros que utilizan como base la cal. Alternativamente pueden ser mezclados con Cemento Portland para mejorar la durabilidad del hormigón y su trabajabilidad, reduciendo su costo considerablemente.

DEFINICIÓN DE PUZOLANA

La definición de PUZOLANA, se encuentra en la Especificación ASTM C-618: las puzolanas son: "materiales silicios o silicios y aluminosos, los cuales por si solos tienen muy poco o ningún valor cementante, sin embargo, finamente divididas y ante la presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes". Esta definición ha tenido muchas críticas y debe tomarse únicamente como punto de partida y no como una verdad absoluta, pues se han encontrado puzolanas que aún saliéndose de esta definición, han proporcionado excelentes resultados.

Origen e historia

La Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, que proviene de la población de Puzzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya era explotada en tiempos de los romanos. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la Puzolana de origen natural podían tener usos sustitutivos.

La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podían ofrecer. Uno de los mejores exponentes que podemos encontrar es el Panteón de Roma, construido en el año 123; fue durante 1.500 años la mayor cúpula construida y con sus 43,3 metros de diámetro aún mantiene el record de ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo. Esta construcción fue realizada mezclando cal, puzolana y agua; añadiendo en las partes inferiores ladrillos rotos a modo de los actuales agregados y aligerando el peso en las capas superiores, usando materiales más ligeros como piedra pómex y puzolana no triturada.

En época medieval fue utilizada en la construcción de las murallas de la ciudad medieval de Alarcos en España, mezclándola con cal, razón del color que poseen, y que recuerdan más a un moderno bunker de hormigón que a una muralla medieval.



Usos como aditivo al cemento

Hoy día, existen múltiples usos que pueden darse a la Puzolana, si bien de entre todos ellos se destaca la fabricación de cemento Pórtland Puzolánico. De acuerdo a la normativa vigente actualmente en Argentina (IRAM 50000), el cemento Pórtland compuesto puede contener hasta un 35% de Puzolana, y hasta un 50 % si es cemento Puzolánico.

Las ventajas que ofrece el cemento puzolánico sobre el resto se detallan a continuación:

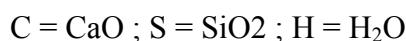
- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminución de la necesidad de agua.

La base de todas estas mejoras es el denominado “Efecto Puzolánico” en el cemento. Los Aluminosilicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del cemento Pórtland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el Hidróxido de Calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción llenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

La reacción química del fraguado del cemento es como sigue:

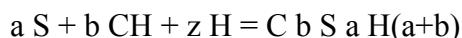


Donde:



Siendo el gel C-S-H el responsable de las propiedades mecánicas del cemento. Podemos observar que se produce un tercer producto, abreviado CH en la fórmula, que no es sino el $Ca(OH)_2$, con poco valor cementante, y que es responsable de la reacción con los sulfatos que degradan la calidad del mismo.

Para hacer frente a este problema, es por lo que se añade la Puzolana. Ésta, se compone de Aluminosilicatos que reaccionan con el componente CH de la forma siguiente:



Donde:

$S = Aluminosilicatos$ de la Puzolana (Composición tipo SiO_2 (75%) + Al_2O_3 (10%) y otros).
 $CH = Ca(OH)_2$; $H = H_2O$

Tal como se ha dicho hasta ahora, existen otros materiales que tienen actividad puzolánica en mayor o menor medida. Entre ellas se encuentran las escorias de fundiciones de acero, la microsílica o humo de sílice que se genera como producto secundario en la fundición de



aleaciones de ferrosilicatos, metacaolines procedentes del tratamiento térmico del caolín, y las cenizas volantes procedentes de la combustión del carbón en plantas térmicas.

No obstante, estos sustitutos de la puzolana no presentan la misma superficie de reacción que las de origen natural, debido a que la puzolana de origen volcánico presenta una mayor cantidad de poros originados por los gases de la erupción, no presentando hoy por hoy unas propiedades igual de óptimas.

Otros usos de la Puzolana Natural

La Puzolana de origen natural no sólo se emplea por sus propiedades como aditivo al cemento, sino como ornamento sustitutivo del césped en parques y jardines.

Además de los ya señalados como aditivo para el cemento, existen otras aplicaciones de interés para este material:

- Fabricación de hormigones de baja densidad (como ya se ha señalado en el caso del Panteón de Roma).
- Drenaje natural en campos de fútbol e instalaciones deportivas.
- Filtro natural de líquidos por su elevada porosidad.
- Absorbente (en el caso del agua del 20 al 30 % del peso de árido seco) y preparación de tierras volcánicas olorosas.
- Aislante Térmico (0,21 Kcal / Hm² C)
- Sustrato inerte y aireante para cultivos hidropónicos.
- Arqueología. Protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación por construcción sobre ellos o con carácter temporal.

BIBLIOGRAFIA:

- La puzolana, Valerio Cortés Ayllón, Ingeniero Técnico de Minas, Universidad Castilla la Mancha. España, 2006
- ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS PUZOLANAS EN GUATEMALA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ, Francisco Javier, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2004
- Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre “Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción”. Programa CYTED. Madrid. (Calvo, B., Maya, M., Parra, J.L., 2001, Editores).
- TECNOLOGÍA DEL CONCRETO. Tomos 1, 2 y 3 Adam Neville Editorial Limusa



CAL



INTRODUCCION

La cal es uno de los primeros aglomerantes descubiertos por el hombre; se han encontrado vestigios de su empleo en yacimientos con más de 10.000 años de antigüedad y hasta los principios del siglo XX constituyó el principal conglomerante utilizado en la construcción; ha tenido un desarrollo importante en su proceso de fabricación, pasando de un sistema artesanal a un sistema industrial moderno con la automatización correspondiente.

Este material tiene muy diversas aplicaciones, por ejemplo, como fundente en el proceso de refinado del acero, como aglomerante en la construcción y como agente precipitador de impurezas en los sistemas de tratamiento de aguas. También se utiliza para neutralizar los componentes ácidos de los vertidos industriales y de los gases de combustión.

La producción anual de cal en nuestro país, en el año 2010, fue de 2,6 millones de toneladas.

Fabricación de la cal

El proceso de fabricación consiste en calentar carbonatos de calcio o magnesio en un horno para liberar dióxido de carbono y obtener óxido de calcio



Por regla general, el producto del horno es machacado, triturado y tamizado antes de ser transportado al silo de almacenamiento, desde donde se envía al usuario final para su aplicación en forma de cal viva o pasa a una planta de hidratación, donde se mezcla con agua para obtener cal apagada.

El término “cal” hace referencia tanto a la cal viva como a la cal apagada y es sinónimo del término “derivados de la cal”.

La cal viva, o calcinada, es óxido de calcio (CaO).

La cal apagada se compone principalmente de hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y el término hace referencia tanto a la cal hidratada (hidróxido de calcio seco en polvo) como a la lechada de cal y a la cal en pasta (dispersiones de partículas de hidróxido de calcio en agua).

En la producción suelen utilizarse entre 1.400 y 2.200 kg de caliza por tonelada de cal viva comercial. El consumo depende del tipo de producto, de la pureza de la caliza, del grado de calcinación y de la cantidad de productos residuales. La mayor parte de la materia restante se pierde en el proceso en forma de emisiones atmosféricas de dióxido de carbono.

La tecnología de la fabricación de la cal es muy simple, pero deben observarse condiciones mínimas:

- Liberar el anhídrido carbónico (CO₂) y llevarlo rápidamente fuera del horno.
- Durante el calentamiento a temperaturas en que se produce la reacción se produce un nuevo ordenamiento estructural de la roca, con formación de canalículos por donde penetrará el agua para la hidratación.
- Uniformidad de las rocas calcáreas que producirá calentamiento uniforme. En caso contrario, hay escape preferencial de gases de la combustión y, por lo tanto, calentamiento no uniforme.



- Trozos no demasiado grandes para acelerar la calcinación ni demasiado pequeños para favorecer la circulación de gases

En la actualidad encontramos distintos tipos de hornos, siendo los más relevantes los rotativos y los verticales.

Hornos Rotativos

Usados generalmente para calentar una caliza con un tamaño pequeño de partícula (6-60 mm).

El horno (Figura 1) consta de la parte rotativa, con una zona de entrada de piedra caliza y salida de humos y una zona de evacuación donde se instala el quemador. La cal cae a una tolva para su posterior evacuación. La rotación se consigue mediante un motor reductor.

La carga del material, generalmente triturado en trozos de tamaño inferior a 5 cm, se realiza a través de un tornillo sinfín alimentado por una tolva.

El calentamiento se realiza por combustión, mediante quemadores adaptados a distintos tipos de combustible, sin sobrepasar la capacidad máxima del horno ni la temperatura máxima de operación (1.100°C.). El consumo es del orden de las 800 Kcal por Kg de carbonato de cal tratado.

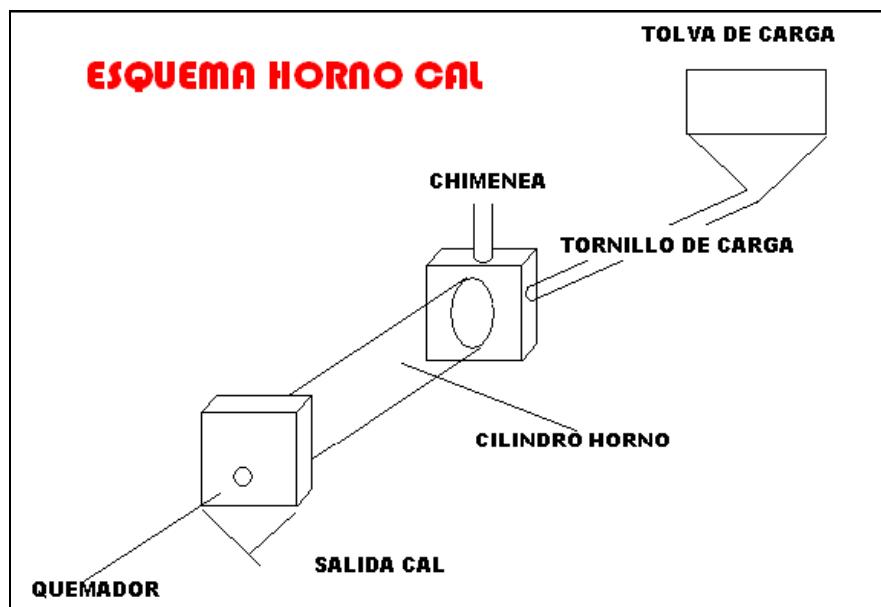


Figura 1: Esquema de horno de cal

Hornos Verticales (Figura 2)

La carga del material se realiza a través de la boca de carga situada en la parte superior. El horno consta de un cuerpo central, una chimenea abatible con boca de carga, una parrilla removible para soporte de las piezas de caliza y un hogar para quemar los materiales que calentarán la carga.



El calentamiento se realiza por combustión. La cámara de combustión está construida en material refractario.

La combustión puede adaptarse a distintos tipos de combustibles (sólidos o líquidos), siendo el consumo del orden de las 1.000 – 1.100 Kcal por Kg de carbonato de calcio tratado.

Estos hornos funcionan en continuo, llenando el horno de trozos de caliza y procediendo a su calcinación. A medida que se carga por arriba la piedra caliza, en trozos de 80 – 120 mm, se descarga por debajo la cal obtenida.

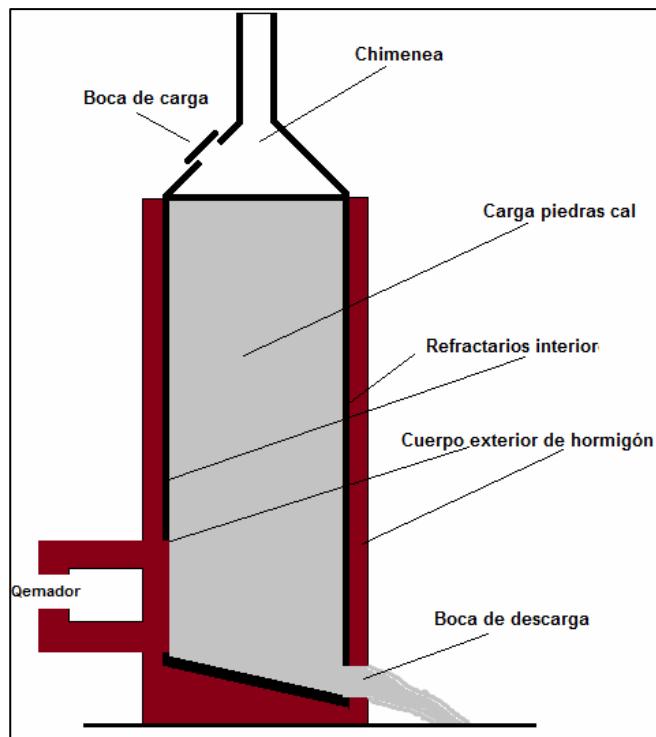


Figura 2: Esquema de Horno Vertical

Según la calidad, podemos tener:

Cal grasa.

Proviene de la calcinación de las piedras calizas de elevada pureza. Estas cales contienen más del 95 % de CaO y al calentarse, éste último, por encima de los 1000°C y posteriormente adicionando agua se produce una cal apagada que libera gran cantidad de calor. Este tipo de cal se apaga fácilmente.

Cal magra o árida.

Proviene de calizas magnesianas (dolomitas) y pueden contener hasta un 50 % de MgO pero sólo un 10 % de óxido es suficiente para lograr una cal árida.

De acuerdo al origen de las calizas pueden también contener arcilla.

La cal magra, se apaga lentamente (a veces no del todo), y cuando se usa para mortero, éste, tarda en fraguar.



De acuerdo a la forma de fraguado podemos clasificar en:

Cal aérea.

Es la cal que endurece al aire. Se emplea en la construcción, mezclada con arena, con el objeto de incorporar porosidad a la mezcla facilitando la incorporación de dióxido de carbono del aire.

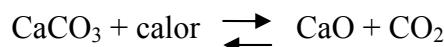
Cales hidráulicas.

Provienen de la calcinación de calizas, y contienen de un 5 a un 22 % de arcilla. En el apagado de la cal hidráulica se hidrata la cal libre y no los silicatos o aluminatos de calcio. Si se produce la hidratación de estos compuestos el material resultante no tendrá propiedades hidráulicas y en ese caso se llamarían cales ahogadas.

Ciclo de la cal

Calcinación

El carbonato de calcio es el compuesto de calcio más abundante en la naturaleza. Se lo encuentra formando varios minerales. El mármol es una roca que contiene como componente principal carbonato de calcio y lo mismo sucede con la piedra caliza. Esta última es la materia prima con la cual se prepara la cal viva. Para obtener ésta, se calcina la piedra caliza, con lo cual el CaCO_3 que contiene, se transforma en CaO (llamada “cal viva”), desprendiendo CO_2 .



Esta reacción es reversible, como indica la ecuación anterior, por lo que es necesaria la rápida eliminación del CO_2 .

En la fabricación de la cal, la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inferior a la del equilibrio insuflando a través del horno una corriente de aire que arrastra el CO_2 y mantiene una atmósfera pobre en este gas. Se evita elevar mucho la temperatura en el horno para que la arena de la caliza no se combine con la cal, formando escoria. La cal producida a temperatura excesiva se llama “cal quemada” y se apaga muy lentamente.

Hidratación de la cal

La cal viva reacciona con el agua, desprendiendo calor. El producto de la reacción es el hidróxido cálcico, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, y se llama cal apagada.



Esta reacción aparte de ser exotérmica también produce un aumento de su volumen.

El proceso de hidratación cuando se hace con la cantidad de agua justa se llama “Hidratación Seca”. En este caso de hidratación el producto es un polvo seco (cal hidratada).



Este procedimiento se utiliza en ciertas ocasiones para desecar ambientes excesivamente húmedos aprovechando la avidez de agua del CaO.

La “hidratación seca” tiene tres variantes:

- 1) Aspersión: se colocan las piedras de CaO en capas de 15 a 20 cm. de altura y se riega la superficie con aproximadamente un 33 % de su peso en agua. La piedra se transforma en un polvo blanco de densidad entre 0.35 y 0.40 Kg./dm³, con notable aumento de volumen que puede llegar hasta 2.5 veces su volumen primitivo, es poco soluble en agua pero reacciona con ella para formar una pasta que endurece lentamente por carbonatación
- 2) Inmersión: es una variante que consiste en introducir el CaO reducido al tamaño de una nuez en canastos que se sumergen en agua durante algunos minutos.
- 3) En autoclave: utilizada para obtener cales más plásticas o para el apagado de cales dolomíticas. Es un procedimiento que demanda menos tiempo para su ejecución.

Cuando se usa un exceso de agua en la hidratación el proceso se llama “Apagado”, en este caso el producto resultante de la hidratación tiene la forma de una lechada (cal en pasta).

En este segundo caso o sea por anegamiento, se mezcla el OCa en un recipiente con aproximadamente 1.5 veces su peso en agua, dando como resultado una pasta untuosa al tacto de densidad 1.15 kg/dm³, que debe protegerse de la acción del aire cubriendola con una capa de arena húmeda o manteniéndola bajo agua. Debe estacionarse como mínimo un día antes de ser utilizada.

Carbonatación



Reacción en donde el CO₂ proveniente del aire, reacciona con el hidróxido de calcio, dando origen al proceso de fraguado, en donde se observa el “mojado” de las superficie como consecuencia de la aparición de agua que químicamente puede verse en el segundo término de la ecuación. Este es el fenómeno que se produce en las paredes a las cuales se les ha aplicado un revoque a la cal, en donde se puede observar el humedecimiento de las mismas los días posteriores a su ejecución.

El mortero se obtiene al mezclar cal apagada con arena y agua formando una masa pastosa. Exposto al aire, fragua despacio, y al endurecerse forma un material poroso por pérdida de agua y absorción de dióxido de carbono.

El hidróxido de calcio es poco soluble en agua, disminuyendo la solubilidad al aumentar la temperatura. La disolución se llama agua de cal. Una suspensión de hidróxido en agua se llama lechada de cal, que se usa a veces para blanquear. El hidróxido de calcio es la más barata de todas las bases.



Comparación entre cal en pasta y cal hidratada (polvo)

Surge desde el proceso de hidratación; la cal viva para llegar a cal en pasta necesita el proceso de apagado y del proceso de estacionamiento, lo que se traduce en una pérdida de tiempo.

Es un proceso húmedo por lo que en algunos casos puede complicar la obra, con problemas de seguridad para los operarios debido al aumento de temperatura durante el proceso de hidratación. También puede haber riesgo de un mal apagado.

La cal hidratada se mezcla mejor con arena que la cal viva, ya que viene apagada y envasada en bolsas, trabajándola en seco.

La cal hidratada produce mezclas menos plásticas y trabajables que la cal en pasta, con un menor rendimiento, por lo cual su uso es de mayor costo.

Usos de la cal y características de la caliza de donde se obtienen estas cales

Respecto a los usos que se le da a la cal obtenida dependen los distintos grados de pureza que requiera la caliza, por ejemplo para la cal usada en la industria se requiere un grado de pureza mucho mayor de la caliza, si lo comparamos con la pureza requerida para usos agrícolas así para cada uso se dan características de la caliza para satisfacer necesidades; aquí se presenta un resumen:

Para usos en construcción

La cal se usa principalmente en enlucidos, estuco, asiento de mampostería, etc.

Para usos agrícolas

La cal se usa generalmente para neutralizar los ácidos presentes en el suelo aunque se usa más la caliza directamente para estos fines en donde se requiere poca pureza

Para usos metalúrgicos

La cal viva tiene un gran uso como fundente en la manufactura del acero donde se requiere una cal de una gran pureza, además la cal se usa en el trenado de alambres como lubricante, también se usa en la fabricación de lingotes en moldes de hierro para evitar la adherencia de estos lingotes.

Para usos varios

La cal se usa también en el tratamiento de residuos de la industria del papel. En el tratamiento de las aguas potables, para mejorar su calidad y también para ablandar el agua; junto con sales de hierro se usa para coagular sólidos suspendidos en el agua y también para neutralizar el “agua ácida” que produce la corrosión de las cañerías.



BIBLIOGRAFIA

- Apunte de la Cátedra “tecnología de los materiales de la construcción”.F.C.E.F.y N. Universidad Nacional, Edición 1985.
- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, M.F. Pasman. Editorial Construcciones Sudamericanas
- UNA PERSPECTIVA GENERAL DEL APAGADO DE LA CAL Y LOS FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO, Mohammad Hassibi “3er Symposium Internacional Sorbalit” en Noviembre de 1999.
- T.C. Miller “ A study of reaction between Calcium Oxide and Water ”, publicado por National Lime Asociation, Washington D.C.