

CEMENTO PÓRTLAND

El Cemento Pórtland es un aluminio silicato de calcio, patentado por J. Aspdin en 1824, y denominado Pórtland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente 1300 °C) de una mezcla de minerales finamente molidos, formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100m de largo.

El material obtenido denominado *clinker* se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente.

Los compuestos del cemento así formados son:

NOMBRE	FÓRMULA	FÓRMULA DE ÓXIDOS	PORCIENTOS
Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	$\text{SiO}_2, 2\text{CaO}$	32%
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	$\text{SiO}_2, 3\text{CaO}$	40%
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{CaO}$	10%
Ferroaluminato tetracálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3, 4\text{CaO}$	9%
Sulfato de calcio	CaSO_4		2-3%

En estos compuestos el magnesio puede reemplazar al calcio. Existen también silicatos y ferroaluminatos de sodio y potasio.

Para expresar la composición de un determinado cemento, generalmente se determinan en conjunto los óxidos que forman los compuestos antes mencionados.

La composición química media porcentual de dos tipos de cementos:

Componentes del cemento **Fraguado**.

Óxidos Componentes	lento	rápido
Sílice SiO ₂	20%	22%
Óxido ácido sulfúrico SO ₃	1.6%	2.7%
Óxido ferrico Fe ₂ O ₃	4%	4%
Óxido de aluminio Al ₂ O ₃	4%	10%
Óxido de calcio CaO	62%	55%
Óxido de magnesio MgO	2%	2.8%
Óxido de Na y K	0.3%	0.3%
Por pérdidas de calcinación	7.4%	3.1%

En forma simplificada podemos decir que en los distintos tipos de cemento su composición varía entre:

55-65% de CaO + MgO

20-25% de SiO₂ + SO₃

8-12% de Al₂O₃ + Fe₂O₃

Se denominan componentes ácidos al SiO₂, SO₃, Fe₂O₃ y Al₂O₃ y básicos al CaO, MgO, K₂O, Na₂O; se denomina índice de hidraulicidad a la relación entre éstos componentes:

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{SO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$$

De acuerdo al valor de este índice los cementos se clasifican en:

Cementos rápidos: $0.65 \leq I \leq 1.20$ fraguan en un tiempo menor a 1 hora.

Cementos lentos: $0.50 \leq I \leq 0.65$ fraguan en un tiempo mayor a 8 horas.

Fraguado del Cemento:

Se denomina fraguado al proceso químico por el cual el cemento adquiere dureza pétreo (proceso irreversible), a diferencia de las cales grasas el fraguado del cemento es

hidráulico por que se produce por reaccionar con el agua que provoca el fenómeno de hidrólisis de algunos compuestos y posteriores hidrataciones y recombinaciones.

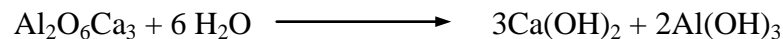
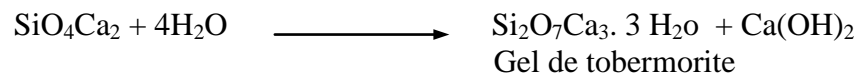
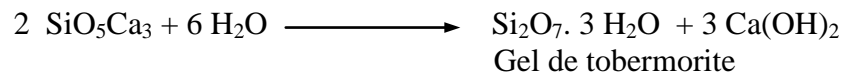
El fraguado se produce en dos etapas:

Fraguado: proceso que dura de minutos a 15 horas, en que la masa plástica adquiere rigidez.

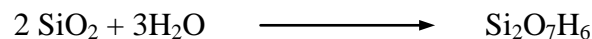
Endurecimiento: proceso en que la masa rígida aumenta su dureza y resistencia mecánica que demanda de 28 días a varios años.

Las reacciones en que suceden en esta etapa son complejas, simplificadaamente pueden considerarse así:

Ecuaciones del fraguado del cemento.



El gel de tobermorita es un tipo de silicato hidratado que podemos considerar proveniente del ácido *ortosilícico* o sea que se forma de la siguiente manera:



(1). Efecto de la adición de Yeso

El yeso retarda el fraguado inicial del cemento (de molerse el clinker sin yeso fragua instantáneamente), lo cual se debe a que el aluminato tricácico, en presencia del yeso, no se hidrata de inmediato sino que reacciona con el yeso produciendo con ello una doble sal cristalina o sulfoaluminato $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. manteniéndose así la concentración de aluminatos tricácico por debajo de la precisa para que empiecen a separarse sus hidratos cristalinos.

La adición de yeso no debe superar el 3%, porque de lo contrario, se dilata dentro del cemento fraguado produciendo fisuras.

CALCIO

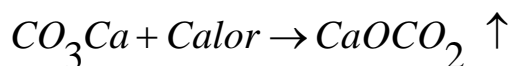
El calcio es un metal blanco plateado brillante, más blando que la mayoría de los metales, su peso específico es 1.58 y funde a 810° Celsius. La importancia de este metal está dada por los compuestos que forma y los productos que forma y los productos que con ellos se obtiene.

Compuestos del calcio

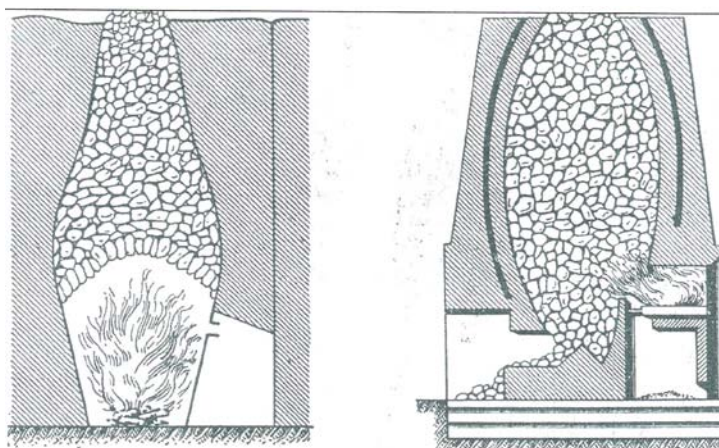
El calcio se encuentra en la naturaleza, no en estado libre sino en grandes cantidades de sus compuestos, siendo los más destacados los carbonatos de calcio. El carbonato de calcio CO_3Ca , aparece en la naturaleza en forma de *creta*, *caliza*, *mármol*, etc. Otros compuestos del calcio son la, *fluorita*, o espato de flúor (F_2Ca). La *fosforita*, $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$, feldespatos de calcio, $\text{Si}_2\text{O}_8\text{CaAl}_2$, etc.

Óxido de Calcio:

También llamada cal viva, se obtiene por calcinación en hornos abiertos, de la piedra caliza (CO_3Ca), en un rango de temperaturas de 800° a 1000° Celsius, la reacción es la siguiente:



La reacción no se lleva a cabo a menos que se deje salir el CO_2 (dióxido de carbono), de allí la necesidad de los hornos abiertos, los hornos utilizados pueden ser continuos o intermitentes, como se puede apreciar en la figura.



Horno intermitente de cal

horno continuo de cal

La temperatura de 1000° C. no debe ser sobrepasada en la calcinación para que la arena de la caliza no se combine con la cal dando una escoria de silicato de calcio. La cal obtenida a una temperatura excesiva se denomina cal *quemada* o *cal muerta*, y se apaga muy lentamente.

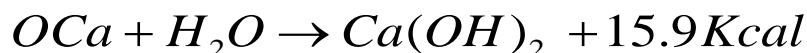
El OCa es un polvo blanco amorfo, que se obtiene en general en forma de trozos blancos duros. Si se calienta con un soplete emite una luz blanca brillante. La cal viva obtenida de caliza pura (caliza con más de un 95% de pureza) se denomina **cal grasa**, mientras que las cales obtenidas

de calizas con arcillas o CO_3Mg , son **cales magras**, llamadas también dolomíticas, ya que se obtienen de la dolomita ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$).

Las *cales grasas se apagan fácilmente*, mientras que las *cales magras se apagan lentamente* y a veces no del todo y de ser usadas en morteros, éstos tienen menor resistencia mecánica y tardan en fraguar.

Hidróxido de Calcio o cal apagada

La cal apagada se obtiene por acción del agua sobre la cal viva según la reacción:

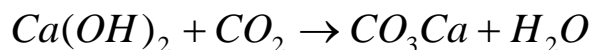


Como muestra la ecuación esta reacción es exotérmica (libera calor), y produce además un aumento de volumen. La cal apagada es un polvo blanco amorfo, poco soluble en agua, lo curioso es que en este compuesto la solubilidad disminuye al aumentar la temperatura. La solución es conocida como *agua de cal*.

Una suspensión de una cantidad considerable de agua de cal se denomina *lechada de cal*, ya que expuesta al aire por acción del CO_2 se pone "lechosa", formando carbonato de calcio insoluble.

Fraguado de cal apagada

La cal apagada o hidróxido de calcio en presencia del dióxido de carbono del aire (CO_2) (de allí el nombre de cales aéreas), fragua (adquiere dureza pétreas), según la reacción:



Uso de la cal viva

La cal tiene diversos usos siendo el más común en la preparación del *mortero de cal o argamasa*, que se obtiene mezclando arena, agua y cal y que en presencia del CO_2 adquiere dureza pétreas. Este mortero es utilizado para asentar mampostería, ejecutar revoques, y es bastante refractario (hasta 1200°C).

La lechada de cal se utiliza para blanqueo de muros aplicada con brochas o sopletes, ya en épocas antiguas era utilizada por egipcios y griegos apagando la cal con leche agria obteniendo una pintura a base de lactatos y caseinatos de calcio. También se obtienen pinturas apagando la cal en presencia de grasas animales. La cal apagada se utiliza para alcalinización del agua para su potabilización (corrección del PH); un uso doméstico de la cal viva es la desinfección de "pozos de balde", colocándola en una bolsa de tela y bajándola con un cordel, el calor liberado en el apagado calienta el agua desinfectándola. Otro uso es el suelo-cal, muy utilizado en la ingeniería.

El carburo de calcio, C_2Ca , es otro compuesto notable del calcio que tiene aplicación en la ingeniería, se obtiene por calcinación en un horno eléctrico como el de la figura, una mezcla pulverizada de cal viva y coque, según la reacción:

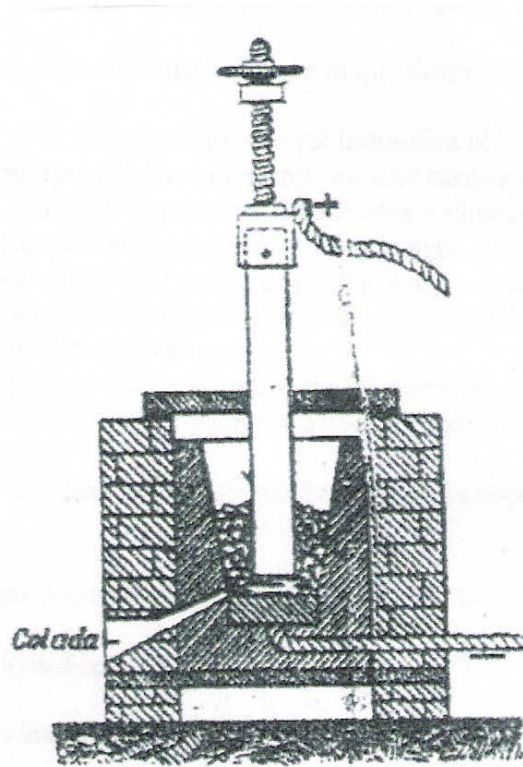
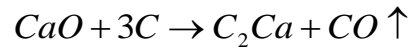
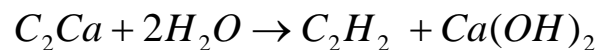


Fig. 238. — Obtención del carburo de calcio.

El carburo de calcio es un sólido duro, cristalino, duro, quebradizo, que reaccionando con agua libera acetileno, C_2H_2 , gas utilizado en la soldadura oxiacetilénica o autógena, según la reacción:



Cales Hidráulicas

Se denomina así a las cales obtenidas por calcinación de calizas en presencia de una cierta cantidad de arcillas, cuya cantidad es como mínimo un 8% y como máximo un 20%. La temperatura de calcinación es del orden de los $1000^\circ C$ (no se debe superar esta temperatura en

la calcinación). Tiene la particularidad de **fraguar en presencia de agua, de allí el nombre de hidráulicas**. No deben confundirse a las cales hidráulicas con las cales hidratadas, ya que las cales hidráulicas se diferencian de las cales grasas y magras por la presencia en su composición química de *silicatos* y *aluminatos de calcio*, que endurecen bajo el agua y bajo el aire, esto último debido a que en las cales hidráulicas hay una pequeña cantidad de cal libre (OCa), que se halla sujeta a carbonatación.

La presencia del óxido de calcio libre es lo que diferencia a las cales hidráulicas de los cementos.

La existencia del OCa libre obliga a la cal hidráulica al igual que la cal viva a ser apagada antes de ser incorporada a los morteros; en este caso la operación es delicada ya que conjuntamente con el OCa coexisten los silicatos y aluminatos de calcio.

Afortunadamente es mucho mayor la avidez de agua del OCa, que la de los silicatos y aluminatos de calcio, por lo que es posible apagar sólo la cal viva agregando el agua en forma de aspersión en cantidad adecuada, de allí que la Norma IRAM la denomina "cal hidráulica hidratada en polvo".

Desde el punto de vista de la composición química de las cales hidráulicas son intermedias entre las cales ordinarias y los cementos, su composición química es más cercana a la de un cemento.

Definimos como índice de hidraulicidad a la relación entre los óxidos ácidos y básicos;

$i = \text{óxidos ácidos} / \text{óxidos básicos}$

$$i = \frac{[Al_2O_3 + SiO_2 + SO_3]}{[CaO + MgO + Na_2O]}$$

Para las cales hidráulicas $i \geq 0.28$

Clasificación de las cales hidráulicas:

De acuerdo al índice de hidraulicidad, las cales hidráulicas pueden ser:

- a) medianamente hidráulicas $0.10 \leq i \leq 0.30$
- b) hidráulica normal $0.30 \leq i \leq 0.40$
- c) eminentemente hidráulicas $0.40 \leq i \leq 0.50$

La norma IRAM da la siguiente clasificación:

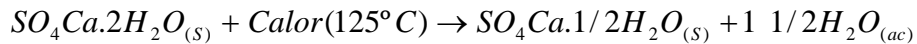
CLASE A: resistencia a los 7 días 15 kg/cm²

CLASE B: resistencia a los 7 días 10 kg/cm²

CLASE C: resistencia a los 7 días 5 kg/cm²

El yeso Plástico se obtiene por deshidratación del mineral llamado **gypsa** o también de la selenita o el alabastro, $SO_4Ca.2H_2O$.

Al calentar el mineral en un horno como el de la figura, a una temperatura no mayor a los $125^\circ C$, su molécula pierde $1 \frac{1}{2}$ molécula de agua según la reacción:



El producto es conocido con el nombre de yeso cocido o yeso mate. Si este producto se mezcla con agua forma una masa plástica moldeable, que fragua entre los 15 minutos y media hora en una masa sólida de cristales entrelazados de yeso (ver figura). La reacción de fraguado es entonces:

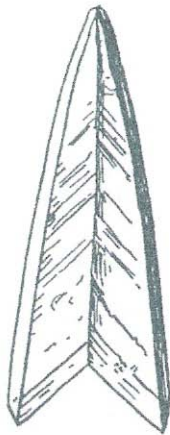
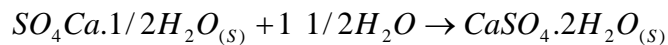


Fig. — Cristal de yeso en forma de hierro de lanza.

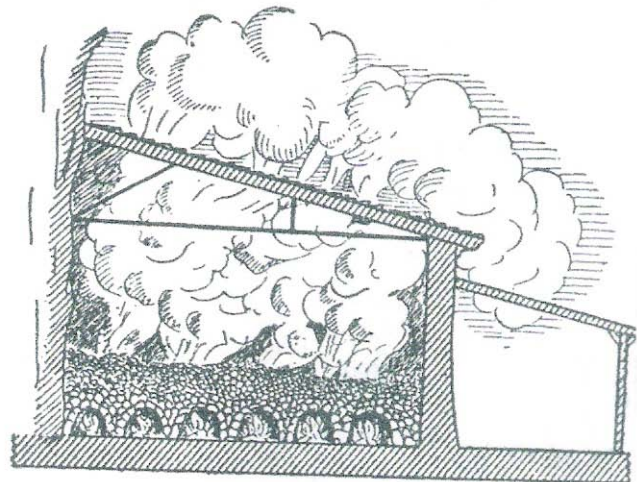


Fig. — Horno para la fabricación del yeso

Usos del yeso

Entre los usos del yeso podemos citar: estucados de paredes y cielorrasos, fabricación de molduras y de moldes, inmovilización de fracturas en medicina, etc.

Tiene aplicación en la fabricación del cemento Pórtland, ya que se le adiciona en un 3 a 4% al clinker en el momento del molido para evitar el fragüe instantáneo.

