

Fabricación de Mortero y Cemento Natural: Cal Hidráulica y Puzolanas

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Seguridad Perimetral

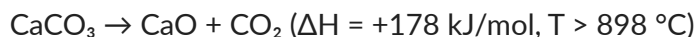
Etiquetas: Sin etiquetas

Fabricación de Mortero y Cemento Natural: Cal Hidráulica y Puzolanas

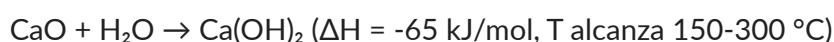
Antes del cemento Portland (patentado en 1824), la humanidad construyó acueductos, puentes y edificios que perduran milenios usando cal hidráulica y morteros puzolánicos. La cal aérea (Ca(OH)_2) solo fragua por carbonatación con el CO_2 atmosférico, un proceso lento que no funciona bajo agua. La cal hidráulica, en cambio, contiene silicatos de calcio que fraguan por reacción con agua (hidratación), incluso sumergidos. Los romanos descubrieron que mezclar cal con cenizas volcánicas de Pozzuoli (puzolanas) creaba un cemento resistente al agua de mar — el opus caementicium del Panteón de Roma (126 d.C.) sigue intacto. Este conocimiento es reproducible con materiales locales: caliza, arcilla y cenizas.

Química de la cal: del horno a la hidratación

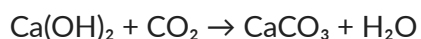
La fabricación de cal comienza con la calcinación de piedra caliza (CaCO_3) en un horno a 900-1000 °C durante 24-72 horas, según el tamaño de la piedra. La reacción endotérmica de descomposición es:



El óxido de calcio resultante (cal viva, CaO) es un sólido blanco muy reactivo y cáustico. Se "apaga" añadiendo agua en una reacción fuertemente exotérmica:



La cal apagada o hidróxido de calcio es la base de todos los morteros de cal. Como material aéreo, fragua exclusivamente por carbonatación atmosférica:



Este proceso es lento (meses o años para muros gruesos) y no funciona en ambientes saturados de agua. Un horno de cal artesanal tipo "flare kiln" se construye con una fosa circular de 1,5-2 m de diámetro y 2-3 m de profundidad, revestida de ladrillos refractarios o piedras que soporten el calor. Se alternan capas de caliza troceada (10-15 cm) con combustible (leña, carbón). Se necesitan aproximadamente 3-4 toneladas de leña por tonelada de cal viva producida.

Tipo de cal

Composición

Fraguado

Resistencia a 28 días

Cal aérea (CL-90)

> 90% Ca(OH)_2

Carbonatación (CO_2)

0,5-2 MPa

Cal hidráulica natural (NHL 2)

Ca(OH)_2 + silicatos

Hidratación + carbonatación

2-7 MPa

Cal hidráulica natural (NHL 5)

Mayor % silicatos

Hidratación predominante

5-15 MPa

Cemento Portland (CEM I)

Silicatos de Ca puros

Hidratación

30-60 MPa

Cal hidráulica natural: cuando la caliza tiene arcilla

Si la piedra caliza contiene entre un 5% y un 20% de arcilla (silicatos de aluminio, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), al calcinarla a 900-1200 °C se forman silicatos de calcio (C_2S , belita) además del CaO libre. Estos silicatos reaccionan con agua formando silicato de calcio hidratado (C-S-H), el mismo gel que da resistencia al cemento Portland:

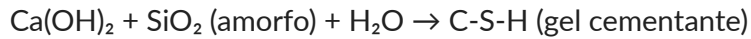


La cal hidráulica natural (NHL) se clasifica por su contenido de arcilla y resistencia: NHL 2 (arcilla 5-8%, más flexible), NHL 3.5 (8-14%) y NHL 5 (14-20%, casi como cemento). Para fabricarla artesanalmente, se buscan calizas margosas (que contengan arcilla visible como vetas grisáceas). Una prueba sencilla: si la caliza al romperse tiene olor a tierra mojada y deja residuo al disolverla en ácido clorhídrico, contiene arcilla. La proporción de arcilla se puede estimar pesando el residuo insoluble en HCl.

La temperatura de calcinación es crítica: por debajo de 900 °C no se forman silicatos; por encima de 1250 °C se forma clinker (exceso de vitrificación que dificulta la molienda artesanal). El rango óptimo es 1000-1200 °C, alcanzable en un horno de tiro natural bien diseñado con carbón vegetal como combustible.

Reacción puzolánica: cenizas volcánicas, ladrillo molido y otros aditivos

Una puzolana es cualquier material silíceo amorfo que, por sí solo no tiene propiedades cementantes, pero en presencia de cal y agua reacciona formando compuestos cementantes (gel C-S-H y aluminatos de calcio hidratados):



La clave es que la sílice sea amorfa (desordenada a nivel atómico), no cristalina. Las puzolanas naturales incluyen cenizas volcánicas (la original de Pozzuoli), tobas volcánicas y tierras de diatomeas. Las puzolanas artificiales se obtienen calcinando materiales arcillosos a 600-900 °C: ladrillos molidos (chamota), tejas rotas, arcilla cocida triturada, cenizas de cáscara de arroz (contienen 85-95% de SiO₂ amorfa tras quemar a 500-700 °C) y cenizas volantes de carbón.

Puzolana

SiO₂ (%)

Disponibilidad

Proporción cal:puzolana

Ceniza volcánica

45-70

Zonas volcánicas

1:2 a 1:3

Ladrillo molido (chamota)

55-65

Universal (reciclar escombros)

1:2

Ceniza de cáscara de arroz

85-95

Zonas arroceras

1:1,5 a 1:2

Tierra de diatomeas

70-90

Depósitos lacustres

1:1,5

Metacaolín (arcilla a 700°C)

50-55

Universal

1:2

Ceniza de madera

10-30

Universal

Poco reactiva sola

Dato histórico: El hormigón romano del puerto de Cesarea (22 a.C.) usó cal + puzolana volcánica + agua de

mar. Estudios de 2017 (Universidad de Utah) demostraron que el agua salada formó cristales de tobermorita de aluminio que en realidad reforzaron el hormigón con el tiempo, al contrario que el cemento Portland moderno.

Formulación de morteros prácticos

Las proporciones se expresan en volúmenes de materiales secos. Para cada aplicación existe una mezcla óptima:

Aplicación

Cal apagada

Puzolana

Arena

Agua (aprox.)

Mortero de juntas (muros)

1

0,5

3

0,8-1,0

Enfoscado exterior

1

1

3

0,9-1,1

Mortero hidráulico (bajo agua)

1

2

2

0,7-0,9

Solera / base de suelo

1

1,5

4

0,8-1,0

Estuco decorativo (fino)

1

0

2 (fina)

0,6-0,8

La arena debe ser limpia, sin arcilla ni materia orgánica (lavar si es necesario). La granulometría ideal es variada: mezclar arena gruesa (2-4 mm) con fina (0,1-1 mm) para lograr máxima compacidad. La arena de río redondeada da morteros más trabajables; la arena de cantera angular da mayor resistencia. Nunca usar arena de playa sin lavar a fondo (las sales causan eflorescencias y corroen armaduras metálicas).

El mortero puzolánico se mezcla en seco primero (cal + puzolana + arena) y se añade agua gradualmente hasta obtener una consistencia plástica (que mantenga la forma al apretar con la mano pero no gotee). El fraguado inicial ocurre en 24-72 horas y la resistencia sigue aumentando durante meses. Para curado, mantener húmedo los primeros 7 días (cubrir con tela húmeda o plástico).

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.