

- 24 -

612-4 EJEMPLOS DE COCCION DE CALES HIDRAULICAS

(Exemples de cuisson de chaux hydrauliques)

J. Deforge

De: "REVUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION", 426, Diciembre 1949

La fabricación de cales hidráulicas tiene, en general un carácter mucho más "artesano" que la del portland y otros tipos de cementos artificiales. En muchas ocasiones, la explotación de una cantera se hace de modo precario, con pocas posibilidades económicas que gravitan sobre los componentes de una familia o empresario, por lo que los problemas de fabricación y económicos de este tipo de industria son bien distintos de los de una gran fábrica de cemento.

Las dos cuestiones inmediatas que se plantean al principiante o al que va a poner en explotación un criadero, son la elección del sistema de horno y el tipo y forma de empleo del combustible. A juicio del autor, viejo maestro en estas lides, un horno con cámara útil de 12 m. de alto, desde la parrilla al tragante, constituye una buena solución desde todos los puntos de vista. Un horno de este tipo debe tener un diámetro, en el tragante, de 2,8 m. y sobre la parrilla de descarga unos 3,0 m., una parrilla vertical en la parte baja del horno a una altura de 3 m., dejando un hueco de 0,2 m. entre la parrilla y la camisa del horno. Debe llevar también 4 - puertas de desenhornado y un ventilador capaz para una presión

- INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO -

de 170-200 mm. de agua, que insufla el viento por debajo de la parrilla. La camisa debe estar formada por gruesos bloques refractarios, con junta de dilatación rellena con escorias férricas colocadas entre la camisa y la estructura externa. Por debajo de la parrilla de descarga debe ir la tolva de recogida, y, en caso de que se disponga de altura bastante, las vagonetas colectoras. Deben evitarse los tubos complicados que se prestan a taponamientos y, en general, se tenderá a la simplicidad y solidez del sistema.

Un horno como el mencionado tiene un volumen de unos 72 m³ y su producción en cal hidráulica 30/60 viene a ser de 27 a 30 Tm en jornada de 24 horas, quemando carbones cuyo contenido en cenizas no sobrepase el 15 % y que no sean muy ricos en volátiles. Si se emplean combustibles de calidad inferior, se hace necesario un soplado fuerte para mantener la combustión.

En cuanto a la calidad de carbón a consumir, ésta dependerá el contenido en arcilla de la caliza y de la proporción de alúmina + hierro en aquélla. Solamente los ensayos prácticos pueden servir para fijar la cantidad de combustible a consumir. Para hacer estos ensayos previos, deberá cargarse el horno con 120 Kg. de carbón de 15% de cenizas por Tm. de cal, cuando se emplean calizas de 18 % de arcilla. Para calizas que tengan 20-22 % de material arcilloso se necesitan 110 kg. de carbón por tonelada, y, para las calas menos hidráulicas (con 15 % de arcilla, por ejemplo), dicha cifra sube a 140 kg/Tm. Queda sobreentendido, en todos los casos, que el horno deberá

ser descargado regularmente durante el día y por la noche. Si no se quiere hacer ésto, es mejor efectuar la descarga solamente dos veces, una a las seis de la mañana y otra a las seis de la tarde. La cantidad que habrá de descargarse será del orden de $1/6$ del volumen del horno, en cada extracción, salvo en el caso de que la cocción haya sido insuficiente. Los límites de contenido en CO_2 del producto cocido oscilan entre 1,9 y 4 % cuando se emplean carbones de buena calidad y en cantidad suficiente.

Cuando se dispone de carbones de calidad mediocre (70% de carbono fijo) puede mantenerse la producción de 27 Tm. en 24 horas, insuflando cantidad suficiente de aire.

En cuanto a la cantidad de combustible a emplear, pueden hacerse algunos cálculos a grosso modo, basados en datos de la experiencia. Como 12 gr. de carbono fijo se combinan con 32 de oxígeno desprendiendo 94 calorías, si se parte de un carbón con 70% de C., se tendrá: $70 \times 94/12 = 5.400$ calorías en números redondos. Para descarbonatar un kilogramo de caliza se necesitan 436 calorías y como las cales hidráulicas contienen aproximadamente 33% de CO_2 , es fácil deducir que se necesitarán 70 kilogramos de dicho carbón para cocer una Tm. de cal. Además del calor anterior se necesitan ciertas cantidades para provocar la combinación de la sílice y la alúmina con el óxido de calcio.

Sin entrar en cálculos detallados, impropios para la pequeña industria de caleras hidráulicas tal como las estamos describiendo, podemos admitir, en la práctica, que se necesita doble cantidad de carbón que la deducida en el cálculo anterior,

es decir, $70 \times 2 = 140$ kg/tonelada. Si hablamos en volumen, esta cifra de carbón es la misma que se emplea para tratar 1 m^3 de piedras calcáreas. El cálculo aproximado de los sopladores se hace también de forma sencilla: Para quemar los 140 kg. de carbón (con 70% de carbono fijo) se necesitan 300 kg. de oxígeno que equivalen a 1.000 m^3 de aire. En la práctica se emplea el doble de la cantidad calculada, es decir, 2.000 m^3 de viento por Tm de cal. Si se produce una tonelada por hora, será preciso que los ventiladores tengan una capacidad de $33 \text{ m}^3/\text{minuto}$, de viento. Si se aumenta la velocidad de soplado, para un mismo tonelaje de carbón la combustión es más rápida pero hay que tener en cuenta, entonces, que los gases de escape salen demasiado calientes con las consiguientes pérdidas de calor por la chimenea. Estas pérdidas pueden alcanzar a dos veces la cantidad teórica. En un horno con soplado, la llama debe mantenerse a unos 2 m. por debajo del tragante si se quieren evitar pérdidas térmicas excesivas.

Con respecto al grado de cocción, hay que tener en cuenta la capacidad de retención de agua después del apagado de la cal. Si una piedra que tenga 37,5% de CO_2 total y cuya densidad aparente sea de $2.350 \text{ kg}/\text{m}^3$, se cuece poco, hasta dejar sobre la cal un 3,5% de CO_2 , este producto, después de apagado, tendrá un poder de absorción de agua de 10% aproximadamente, lo que equivale a que se obtengan 1.780 kg. de cal hidráulica por m^3 de piedra. Si la misma caliza se cuece hasta que solo contenga 0,95% de CO_2 , el rendimiento en cal, des

pués del apagado, será de $1,632 \text{ kg/m}^3$ de piedra. Claro es que, en el segundo caso, la calidad del producto fabricado será superior. Como regla general puede recomendarse que, cuando la calidad de una cal fabricada es adecuada (como puede comprobarse por las resistencias mecánicas), la cocción no debe llevarse más lejos del 3 % de CO_2 , puesto que la prolongación de ésta supondrá, en todo caso, un gasto inútil de carbón.

El tiro forzado supone, en términos generales, una economía en la fabricación. Así, por ejemplo, si queremos cocer una piedra tal como la que hemos mencionado en el párrafo anterior, se necesitarían unos 200 kg. de carbón por tonelada de caliza, en el caso de tiro natural. Mediante el soplado, dicha cantidad se rebaja, como hemos dicho, a la cifra de 140 kg., lo que supone un ahorro de 60 kg. de carbón por Tm. de cal. Claro que de esto hay que descontar el importe de la energía gastada para mover los ventiladores. La presión del viento insuflado debe ser la máxima compatible con la marcha normal del horno: consumo razonable de carbón, producción normal (19/20 Tm/día) y mantenimiento de las llamas a unos dos metros por debajo del tragante. En un horno de 10 m. de alto, la repartición de las distintas zonas debe ser: Precafección, 2 m.; cocción 3 m.; enfriamiento, 5 m. Con un horno de este tipo la cal tardará 24 horas en atravesar la zona de cocción. La formación de encolados debe ser evitada, sobre todo cuando se emplean carbones de elevado contenido en cenizas muy aluminosas y ricas en óxidos de hierro. Cuando se dispone de estos carbones malos, cu-

Las cenizas llevan 50% de SiO_2 , 25% de Al_2O_3 y 8% de Fe_2O_3 , podrán conseguirse algunas mejoras mezclando con el combustible ciertas proporciones de coque, con lo cual se disminuye la fusibilidad de las cenizas gracias a la aportación de sílice.

Hay que tener gran cuidado en evitar la sobrecocción es decir, la calcinación "a muerte" de la piedra. Ya se sabe que un producto muy cocido tarda muchísimo tiempo en apagarse y tiene que estar en las fosas durante largos periodos, a pesar de lo cual, siempre son de temer expansiones en las obras realizadas con estas sales hidráulicas. Si, por descuido u otra causa, el fabricante se encuentra con 200 ó 300 Tm. de cal sobrecocida, ¿qué debe o puede hacerse con este producto?. La contestación es algo difícil si se ha de obrar con cierta honradez comercial. La única solución parece ser añadir al producto una cantidad bien determinada de escoria básica de alto horno, para que la sílice y la alúmina contenidas en ella se combinen con la cal libre de la cal hidráulica. Cuando no es factible procurarse dicha escoria puede sustituirse por cemento de escorias "al portland" tal como el que fabrican en las fundiciones de hierro con las escorias básicas granuladas. La escoria debe ir triturada hasta 8% de residuo sobre tamiz nº 200.

Hay otras particularidades "de marcha" sobre las que insiste M. Deforge con la autoridad que le dá su larga experiencia.

Tales son el mojado del carbón, que se recomienda en

casi todos los casos. Una humectación moderada del combustible facilita la adherencia de ésta a la piedra, dentro del horno, evitando pérdidas de carbón por la chimenea, sobre todo con el tiro forzado. Por otra parte, la evaporación de vapor de agua facilita la transformación del CO en CO₂ y por tanto se asegura un mejor rendimiento térmico en la combustión de la hulla.

Respecto a ésta, no pueden darse datos concretos. En realidad cada fabricante utiliza lo que tiene más a mano. En general, el carbón menudo (5-25 mm.) es muy conveniente pues, cuando el grano es más fino, el polvo se introduce entre los intersticios de la piedra taponando los canales con lo cual hay que forzar el paso de viento. Por otra parte, la cocción es irregular y pueden aparecer piedras no cocidas y sobrecocidas. El coque metalúrgico es, en todo caso, superior al coque de gas. Cuando no se pueden encontrar más que carbones (?) de 40-50% de cenizas, hay que considerar que, para tener 100 kg. de carbón verdadero hay que echar al horno 250 kg. de combustible. Para quemar estos mal llamados carbones, el tiro debe reforzarse a unas 4 veces su valor normal, es decir, utilizar unos 4.000 m³ de viento por hora.

Con estos combustibles se producen frecuentes encolados para eliminarlos puede seguirse la práctica siguiente: Un tubo de hierro, de 30 mm. de diámetro, con su boca aplastada en bisel, se introduce en el horno y se coloca cerca de las incrustaciones. Entonces se echan, con un embudo, 2 o 3 li-

tros de agua por el tubo. Cuando el agua llega sobre la masa fundida se vaporiza bruscamente desagregando el encolado. La operación se repite tantas veces como sea preciso. Los encolados suelen formarse a unos 4 metros por debajo del tragante, en plena zona de fuegos.

En lo que se refiere a la extracción de la carga, ésta debe hacerse a un ritmo de 2 m³ cada dos horas, lo cual, para un horno de 3 m. de diámetro supone un descenso de la carga de unos 35 cm. Con esta cadencia la cocción resulta muy económica, pudiendo bajarse incluso de los 140 kg. de carbón por Tm. Los horneros son, en todo caso, los que han de tener en cuenta la marcha normal del horno corrigiendo las anomalías que se presenten en el funcionamiento. Al cabo de un cierto tiempo, los operarios aprenden a conocer el horno con que trabajan y son, en definitiva, los que vigilan y controlan la carga, descarga y marcha del fuego.

Cuando se dispone de combustibles líquidos o gaseosos (cuyo caso no se da en España), puede emplearse horno completamente automático, tales como el DIS.CO.GAS con alimentación y descarga mecánicas, del cual se da un croquis en el original. Lleva dos ventiladores potentes y funciona con mazut o gas de gasógeno. Un horno de este tipo presenta, a parte del ahorro de operarios, numerosas ventajas de funcionamiento: se suprimen por completo los encolados, la marcha del horno es independiente de la mano de obra y tanto las temperaturas en las distintas zonas como las alturas de material dentro -

del horno se mantienen con una regularidad y uniformidad notables.

Veamos, para terminar, algunos datos de interés para el fabricante de calces hidráulicas. Se parte de una caliza cuya composición es la siguiente:

Pérdida al fuego, total	36,7 % (33,8% es CO ₂)
Insoluble en CH.	16,5 %
Sílice soluble	0,35%
Alúmina y óxido férrico	1,3 %
Cal	43,0 %
Magnesia	0,3 %
Anhidrido sulfúrico	0,0 %

Después de la cocción, esta caliza proporciona una cal hidráulica que, apagada en un aparato automático Moustier y triturada en caliente, corresponde al análisis que sigue:

Sílice total	23,30%
Alúmina	5,75%
Oxido de hierro	1,25%
Cal	64,00%
Magnesia	1,22%
Acido sulfúrico	1,52%
Anhidrido carbónico	0,95%

El producto triturado se divide en tres fracciones diferentes, con arreglo a su densidad, cuyas propiedades mecánicas se indican a continuación: (para mortero plástico 1:3)

a) Cal de 700 kg por m³

Resistencia a tracción: 7 d., 7,5 kg/cm²; 28 d. 12 Kg/cm²
" a compresión: 7 d., 50 " 28 d., 80 "

b) Cal de 750 kg/m³

Resistencia a tracción: 7 d., 11 kg/cm²; 28 d. 16 kg/cm²
" a compresión: 7 d., 80 " 28 d. 155 "

c) Cal de 850 kg/m³

Resistencia a tracción: 7 d. 19,7 kg/cm²; 28 d. 24,2 kg./cm²
" a compresión: 7 d. 160 " 28 d., 260 kg/cm²

La fabricación de cal hidráulica constituye una industria muy dispersa y de tipo regional, pero su importancia económica total es considerable (al menos en Francia). La tendencia moderna se encamina a la producción de cales hidráulicas de alta resistencia y de elevada densidad (900 kg/m³) con las que pueden lograrse resistencias a la compresión muy cercanas a los 300 kg/cm². Para la preparación de estos productos de alta calidad hay que tener en cuenta los puntos que siguen:

1º.- Una cocción perfecta hasta que el producto no contenga más de 1% de CO₂, pero evitando sobrecocciones.

2º.- El apagado de las cales deberá hacerse en aparatos automáticos, a alta temperatura y con vapor de agua. Debe abandonarse el viejo procedimiento de las fosas.

3º.- El molido de la cal se hará en caliente e inmediatamente después del apagado.

Con los tipos de cal así obtenidos y que pueden venderse a un precio muy razonable, es posible hacer la competencia al portland, bien sea en forma de sustitución completa o para emplear en mezclas portland-cal hidráulica en proporciones muy altas (hasta el 50 %).