

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618-25 EL HORNO VERTICAL (Continuación)

(Der Schachtofen)

Wilhelm Anselm

- - -

III. Crudos y calidad del clinker

El análisis de los crudos es un punto de gran importancia, porque la reactividad de los mismos influye sobre la velocidad de cocción. En el horno vertical se pueden cocer crudos, constituidos por calizas y margas, de la más variada composición, pero, en este caso, el módulo de alúmina tiene una importancia decisiva. Si se rebaja éste a 1,5-1,7 a diferencia de 2,2 en los hornos rotativos, el crudo se cuece muy bien, si al mismo tiempo se eleva el módulo de sílice por adición de arena de cuarzo. También se añade grava calcinada con un 50-80% de  $Fe_2O_3$  para mejorar más aún las condiciones de cocción. En general, en los hornos verticales de gran rendimiento, el crudo molido debe contener más sílice y, con ello, una mayor cantidad de cal, a fin de conseguir una cocción completa, pues las mezclas ricas en sílice pueden combinar más cal. El conocimiento empírico de que las calizas triásicas se cuecen difícilmente en los hornos verticales, se desprende simplemente del hecho de que a veces estas calizas son pobres en cal. Por las razones apuntadas, cuando funcionan conjuntamente hornos verticales y hornos rotativos, hay que utilizar dos mezclas crudas distintas. Esto se puede conseguir a partir de las mismas materias primas originales, añadiendo grava calcinada de un modo uniforme en el tornillo sin fin de mezclado, instalado ante la en

trada del horno vertical. Cuando se trata de un crudo con un elevado tanto por ciento de caliza y arcilla, por ejemplo, una mezcla 80:20, las cosas cambian; son entonces los álcalis los que representan un papel predominante (téngase en cuenta que arcilla = feldespató meteorizado). En este caso no hay que modificar el módulo de alúmina, sino aumentar la proporción de cal, sobre todo cuando el crudo tiene tendencia a la formación de adherencias. Para rebajar la temperatura de sinterización se añade con éxito fluoruro cálcico. El contenido de álcalis de la mezcla cruda es un criterio para la elección de las sustancias a añadir. La adición de pirita tiene un efecto catalítico sobre la cocción, análogo al que sobre la combustión del azúcar tiene la presencia de trazas de ceniza. (El contenido de álcalis es menor si se añade pirita o arena). La adición de grava calcinada intensifica el color gris azulado del clinker.

La velocidad de reacción y de cocción depende también mucho de la finura de molienda del crudo; en particular, debe prestarse atención al residuo sobre el tamiz de 900 mallas, que no ha de exceder del 1%. Las fracciones de 20 a 60 micras se obtienen de un modo óptimo en un molino separador, con lo que al mismo tiempo se consigue un ahorro de energía. En presencia de cuarzo y sílex es preciso moler hasta un mayor grado de finura.

Es recomendable realizar el ensayo de cocción por determinación del residuo insoluble de 1 g de crudo molido calentado a 920° C (para obtener buenos resultados, según la materia prima de que se trate, conviene cocer a distintas temperaturas comprendidas entre 920 y 1000° C, y a veces incluso más elevadas) durante media hora (reacciones en estado sólido); este ensayo proporciona un conocimiento aproximado sobre la capacidad de sinte-

rización y sobre la estabilidad del forro. En general, la adición de un 0,5-1% de fluoruro cálcico influye favorablemente sobre la cocción, consiguiéndose un ahorro de calor al descender la temperatura de sinterización. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto un ahorro de calor del 2 al 3% por adición de espato fluor, y un aumento de las resistencias de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla VII  
Elevación de las resistencias (DIN 1164) por  
adición de fluoruro cálcico

	3 días	7 días	28 días
Flexión-tracción	20%	25%	8%
Compresión	35%	40%	25%

El coste del fluoruro cálcico añadido se amortiza siempre por las mejores conseguidas en la calidad del producto. La cantidad de cal libre disminuye mucho; se consigue un contenido por debajo del 1%, a diferencia del 3%, que era lo ordinario. Es sabido que los cementos de horno vertical poseen frecuentemente resistencias al cabo de 1 día superiores a las de los cementos de horno rotativo, y que aquellos se comportan bien cuando se airean. Si el horno vertical se conduce de un modo adecuado, se consigue siempre un producto de alta calidad.

Debe mencionarse también que la adición de cenizas de pirita condiciona una cocción mejor, quizá debido también a la conductividad térmica de la pirita ( $0^{\circ} 0,049$ ), mucho mayor que la del cemento portland ( $0^{\circ} 0,0019$ ) o la de la cal. Este aditivo contri-

buye seguramente a disminuir la viscosidad de la fase fundida, - necesaria para que comiencen las reacciones de formación de cal, y, con ello, se acorta el tiempo de reacción.

#### IV. Consumo de calor

Operando de un modo racional se ha conseguido reducir el consumo de calor a 1000 Kcal/Kg de clinker, e incluso por debajo de 1000, con lo que el horno vertical de gran rendimiento - hace una seria competencia a los mejores hornos rotativos. Sin em bargo, es preciso tener rigurosamente en cuenta todos los puntos mencionados anteriormente a fin de evitar pérdidas. La fig. 5 (1) da el consumo medio de calor en función de la producción.

#### V. Consumo de energía

Cuando las materias primas no son plásticas es preciso prestar atención al consumo de energía. Este viene indicado en - la fig. 10 en Kw y en Kwh/Tm en función de la producción. Se ve que dicho consumo es superior al del horno rotativo con las producciones actuales, incluso empleando un sistema racional de mol deo del crudo. Pero debemos tener en cuenta que los hornos rotativos en el caso más favorable consumen 1100 Kcal/Kg de clinker y los hornos verticales 1000. Una diferencia de 100 Kcal supone actualmente en Alemania 0,70 DM/Tm, mientras que un consumo en - exceso de 5 Kw cuesta 0,30 DM/Tm, de modo que la economía de calor realizada supera el gasto adicional en energía. En esta comparación se supone 1 Kg de carbón equivalente a 0,75 Kw y 1 Kw = = 1,33/Kg de carbón. El consumo de energía en un horno de 180 to neladas diarias de producción tendrá, en Kw, los valores que se

---

(1) Del nº 39, marzo de 1953, de U.A.M.C.

indican en la Tabla 8.

Tabla VIII

Consumo de energía en un horno vertical de 180 toneladas diarias de producción

Elevador de cangilones (según altura)	5
Dispositivo de pesada	3
Dosificador	3
Tornillo sin fin de mezclado	20
Tambor de granulación	20
Plato granulador	4
Prensa de extrusión	5
Dispositivo de alimentación	2,5
Parrilla giratoria	4
Parrilla de rodillos	7
Cierre de esclusas	2,0
Inyector de pistón giratorio	90-120
Ventilador de succión (eyector)	18
Canalón de descarga del clinker (según longitud)	5

#### VI. Mano de obra

Cada hornero debe servir a dos hornos verticales, pues de otro modo se obtiene un mayor gasto en jornales, referido a 1 Tm de clinker, que en los hornos rotativos, con una mayor producción. El hornero puede servir también simultáneamente el tambor de granulación, cuando se puede controlar éste desde la plataforma. El granulador y el hornero debieran recibir mensualmente primas según la producción, el calor consumido teniendo en cuenta - el valor del combustible (poder calorífico, cenizas, volátiles) y la calidad del cemento (resistencias).

### VII. Balance de material y balance térmico

Las figs. 11, 12 y 13 representan, respectivamente, el balance de material, el balance térmico y el diagrama de distribución del calor de un horno vertical de gran rendimiento, según Anselm (6).

Con un consumo de calor de 1100 Kcal se observan unas pérdidas de calor de 180 Kcal debido al CO y de 60 Kcal debido al residuo incombustible. Este hecho tiene su causa exclusivamente en un tamaño inadecuado de los nódulos de crudo y del combustible y, sobre todo, en la falta de aire (magnitud del inyector). Por esta razón, si el inyector es de una magnitud suficiente, se debiera trabajar con un coeficiente de aire algo superior a 1,1. La temperatura de los gases desprendidos y del clinker se encuentra entre los 250 y los 280°.

### VIII. Coste de las instalaciones de nueva planta

La Tabla 9 da el coste aproximado de instalación de un horno vertical de gran rendimiento, a mediados de 1951.

Se trata del precio aproximado de instalación, sin incluir edificios, para una producción de 180 a 220 toneladas diarias. En 1950 el coste era de 240.000 RM (para 160 a 180 toneladas diarias), en 1940 de 120.000 RM (120 toneladas diarias) y en 1928 de 120.000 RM (100 toneladas diarias). Expresados en DM/100 toneladas diarias los precios son los siguientes:

Mediados de 1951	DM 146.000/100 toneladas diarias
Mediados de 1950	DM 141.000/100 toneladas diarias
Mediados de 1940	RM 100.000/100 toneladas diarias
Mediados de 1928	RM 120.000/100 toneladas diarias

Tabla IX  
Coste de un horno vertical de gran rendimiento

		DM	
Balanza de crudo y cok		14.000	
Dosificador de crudo y cok			(11.000)
Plato granulador		9.500	
Tambor de granulación			(35.000)
Tornillo sin fin de mezclado		6.000	
Prensa troqueladora			(15.000)
Ventilador de succión, con conducciones y chimenea		6.000	
Cuerpo del horno y blindaje	20.000		
Cubierta del horno y tolva giratoria de carga	10.000		
Tolva de descarga	12.000		
Parrilla con sistema popular	40.000		
Cierre de cubos con accionamiento hidráulico	28.000	110.000	
Inyector de pistón giratorio con filtro		24.000	
Elevador de cangilones, tornillo sin fin, cinta transportadora de clinker, escaleras y plataformas		30.000	
Motores eléctricos con conmutador y montaje		40.000	
Revestimiento de obra de fábrica, 11 m <sup>3</sup> = 26 Tm x 650 DM		17.000	
Trabajos de cimentación		7.000	
Montaje		14.000	
Varios (instrumentos de medida, etc)		14.000	
		DM 292.000	

Puede observarse que la elevación del coste queda compensada aproximadamente por el aumento de producción. En los hornos rotativos los precios, expresados en DM/100 toneladas diarias, están por encima del doble de los aquí citados.

#### IX. Procedimientos especiales

Cuando el precio de la energía eléctrica es favorable, o cuando los combustibles son muy caros, resulta económica en el horno vertical la cocción con oxígeno, como han demostrado Anselm y Koch (11).

#### X. Medidas a tomar en la modernización de instalaciones antiguas, por orden de importancia

1. Análisis de los crudos; modificación del módulo de alúmina o de la proporción de cal.
2. Estudio del combustible.
3. Provisión de un dispositivo dosificador y elección de tornillo sin fin de mezclado, o tambor o plato granulador.
4. Provisión de un inyector de pistón giratorio reforzado.
5. Provisión de una parrilla giratoria reforzada.
6. Provisión de esclusas de aire reforzadas.
7. Estrechamiento de la zona de sinterización y provisión de una nueva cubierta para el horno, dotada de dispositivo de alimentación.
8. Provisión de eyectores y eliminadores de polvo.

(Continuará)

- - -