

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618 - 25 EL HORNO VERTICAL (2ª PARTE) - DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA COCCION EN EL MISMO  
(Continuación)

Wilhelm Anselm

- - -

COMBUSTIBLE - RELACION DEL TAMAÑO DE GRANO DEL MATERIAL DE ALIMENTACION AL TAMAÑO DE GRANO DEL COMBUSTIBLE - CAPA DE COMBUSTION

Sobre la reactividad y calidad del combustible ya he tratado en otros trabajos (2), (3).

En los hornos verticales de cal representa un papel muy importante la relación del tamaño de grano del combustible (cok) al tamaño de grano de la caliza, y en los hornos verticales de cemento la relación del tamaño de grano del combustible (cok o antracita) al tamaño de los nódulos (2). La mencionada relación se conoce ya siempre y, a pesar de ello, aun nos encontramos hoy día con los sistemas de conducción más inverosímiles. La fig. 1 representa la citada relación para un funcionamiento correcto de hornos verticales de cal y cemento; la curva presenta una marcha adecuada, por ejemplo, en los hornos de cal, para calizas de 200-300 mm de tamaño de grano, y en las cintas de sinterización de cemento para gránulos de 1-6 mm.

Los ejemplos actuales de hornos de cal y de cemento representados ponen de manifiesto que en los hornos de cal se trabaja todavía con un cok de grano demasiado grueso y que en los hornos de cemento la marcha es mucho más favorable. Se re

presenta también la curva dada por Block (4) en 1924 para el tamaño mínimo de cok a emplear. Evidentemente, el período de combustión del cok debe coincidir con el tiempo de calentamiento del crudo (tiempo de permanencia en el interior del horno).

La altura,  $x$ , de la capa de combustión de cok (también antracita), fig. 2, es de 7 a 9 veces el tamaño de grano dado, según la porosidad y la fluidez de las escorias, en calderas con una superficie de calefacción pequeña; si esta superficie es mayor, la altura será de 4,5 a 5 veces el tamaño de grano.

Cuando se utilizan nódulos o gránulos (con alrededor de un 10% de cok incorporado) -sin tomar en cuenta el correspondiente tamaño de grano del cok- la altura es de 5 a 6 veces el tamaño de grano de aquéllos; por ejemplo, en la cinta de sinterización, gránulos de 3 mm (1-6 mm), tamaño de grano del cok 0,6 mm (0,06 a 0,8 mm), zona de reacción = capa de combustión = 15 mm;  $x = 5$ ,  $n = 2,5$ .

En hornos verticales de cemento de gran rendimiento, nódulos de 15 mm (10 a 20), cok de 2 a 6 mm incorporado en los gránulos de crudo, zona de reacción = capa de combustión = 235 mm;  $x = 22$ , para  $n = 1,1$ .

En los hornos verticales de cal, las capas de combustión, desde el encendido hasta la combustión total del cok, tienen una altura mucho mayor. Se puede introducir también en este cálculo un factor denominado "de capas", que es igual a la altura de la capa de caliza partido por la altura de la capa de cok, por ejemplo,  $\frac{200 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = 3,33$  y se multiplican entonces por dicho factor los valores de  $x$  que resultan de la fig. 2. Pero

NOTAS ACLARATORIAS DE LA FIG. 2

1	Fabricación de gas: altura absoluta de la capa de combustión	x = 32	Gumz [7]
2	Hornos verticales: cemento; gránulos de hornos antiguos	p; x = 30	Anselm, n = 1,1; 12% de cok.
3	Hornos verticales: gránulos de hornos modernos	p; x = 22	Anselm, n = 1,1; 10% de cok.
4	Parrilla móvil: hulla fina, de llama	x = 15	Anselm, n = 1,4
5	Parrilla móvil: antracita fina	x = 12,5	" " "
6	Calderas de calefacción: cok, 1-2 m <sup>2</sup> de superficie de calentamiento	x = 9,5	
7	Calderas de calefacción: antracita, 1-2 m <sup>2</sup> de superficie de calentamiento	x = 7,3	Heizung-Lüftung-Haustechnik, Arbeitsblatt 7, 1951, 1.
8	Calderas de calefacción: cok, más de 40 m <sup>2</sup> de superficie de calentamiento	x = 5,0	
9	Calderas de calefacción: antracita, más de 40 m <sup>2</sup> de superficie de calentamiento	x = 4,5	
10	Combustión:		Gumz [7]
10	Combustión: altura absoluta de la capa	x = 5,9	Anselm, n = 2,5
11	Parrilla de sinterización: cemento, nodulos	p; x = 5,0	
12	Altura relativa de la capa = 1000/tamaño medio de grano		Gumz

ya se observa que en la cocción de la cal se obtienen para  $x$  valores altos. Seguramente daría buen resultado una investigación basada en el cálculo de los valores de  $x$  con introducción del "factor de capas".

A continuación se indica una comparación de las cargas sobre las parrillas:

	Kg de cok/m <sup>2</sup> h.	Kcal x 10 <sup>6</sup> /m <sup>2</sup> h.
Hornos verticales de cal	20 - 60	0,14 - 0,42 (según la
Calderas de parrilla móvil	120 - 250	0,82 - 1,75 combustión)
Hornos verticales de cemento	220 - 250	1,54 - 1,75

De estas cifras y de la fig. 2 se desprende una clara dependencia de la altura de la capa de combustión con el tamaño de grano del combustible, circunstancia a la que se debe prestar una especial atención en el caso de los hornos verticales de cal. En la cocción de cemento hay que tomar también en consideración la fracción de finos de cok, que favorecería la formación de CO (2). En la actualidad, por aplicación del procedimiento de "proyección" (Wurfsetzverfahren) se puede obtener un cok de granulometría 0,5 - 3 mm y 3 - 10 mm, perfectamente adecuado para hornos verticales, y con el que pueden prepararse gránulos de 5 - 15 mm o de 10 - 30 mm, respectivamente.

Por lo tanto, recurriremos a la fig. 1 para fijar la relación tamaño de grano del material de alimentación - tamaño de grano del combustible, en tanto no dispongamos de resultados

exactos procedentes de la práctica y obtenidos por medidas en los hornos; en efecto, las medidas obtenidas hasta la fecha de la velocidad de reacción entre el dióxido de carbono y el cok a determinadas temperaturas no son satisfactorias (5).

Koch y Anselm han empleado en otro caso, en el estudio de velocidades de reacción, un aparato de tubo de cuarzo (fig. 3) que, de un modo análogo, también han utilizado Bannerje y Sarjant (6); sin embargo, solamente se han obtenido resultados para velocidades de gases muy pequeñas. Debieran repetirse estos ensayos para distintos tamaños de grano, para velocidades variables de los gases y para mayores y menores diámetros de los hornos.

En este sentido, para hacerse una idea sobre la altura de la capa de combustión en función del diámetro de grano del combustible, considérese de nuevo la fig. 1, en la cual puede verse, en comparación con los datos de Gunz (7), la posición actual de los hornos verticales de cemento que trabajan con nódulos. Nos encontramos en el caso de éstos con un combustible de muy baja calidad con un poder calorífico muy pequeño (10% de cok incorporado en un 90% de crudo molido). Por consiguiente, no se alcanzan los valores correspondientes a las parrillas móviles o a las calderas de calefacción; no obstante, en las parrillas de sinterización se observa una coincidencia incluso muy buena, si se consideran los tamaños de grano más pequeños, debiéndose tener en cuenta la concentración de oxígeno.

Así, pues, probablemente, la altura de la capa de combustión no depende de la velocidad de los gases -ésta regula la combustión exclusivamente-, sino únicamente del tamaño de grano

del combustible y de la presión (efecto de canal, régimen turbulento y laminar) y de la concentración de oxígeno disponible.

Para presiones más altas, -lo cual tiene también un límite-, disminuye la altura de la capa de combustión.

La expresión de la altura relativa de la capa de combustión dada por Gumz (7) indica, aproximadamente, cuántas veces está contenido el diámetro de grano en 1 m de la altura de la capa de reacción y, con ello, constituye una valoración de los distintos tamaños de combustible. Con esto tenemos ya una indicación respecto a la altura de los hornos verticales que, por esta razón, son tan altos, porque se utilizan piedras calizas y cok demasiado gruesos. No obstante, en los hornos verticales para cemento y para cal hay que tener en cuenta en la altura que también ha de tener lugar el enfriamiento, con lo cual ya no se cumple totalmente lo anterior. Pero esto indica además -para hablar con Gumz-, que "los límites de nuestros hornos no coinciden con los límites de las velocidades químicas de reacción, sino con los límites del intercambio físico de material". Ya hemos visto, especialmente en el caso de los hornos verticales de cemento (2), qué influencia ha tenido sobre la producción el aumento de presión; en los hornos verticales de cal encontramos una cierta limitación, al menos parcial, debido a la calidad que ha de alcanzar el producto (evitación de la sinterización). También la elevación de la presión resulta ventajosa en el horno vertical de cemento, porque la reacción de Boudouard depende de la presión.

Considerando la fig. 2, y en particular la curva correspondiente a los hornos verticales de cemento, se observa la gran influencia que sobre la altura de la capa de combustión -

ejercen los gránulos pequeños; el espesor de dicha capa disminuye proporcionalmente con el tamaño de los gránulos, resultando una cocción más rápida y una mejor calidad. Si, además, se eleva la presión (véase la flecha que indica la dirección), disminuye más aun la altura de la capa de combustión (que en el presente caso corresponde con la zona de sinterización). Cuando se trabaja con estos gránulos de pequeño diámetro hay que ajustar únicamente el tamaño de grano del combustible, como pone de manifiesto la fig. 4. Encontramos una demostración lógica de esto en el combustible de menor tamaño empleado en la cinta de sinterización con gránulos de 1 a 6 mm (8) y en el horno vertical de cemento con cok tamizado. Si se trabaja con un combustible de tamaño de grano muy pequeño, es mejor realizar los cálculos introduciendo el tamaño de grano estadístico medio  $d'$  (9).

En los hornos verticales de cemento no ha dado buen resultado una molienda conjunta del combustible con el crudo destinado a la preparación de los nódulos, porque entonces las pérdidas por CO se hacen demasiado grandes (2). Esto constituye otra razón para elegir adecuadamente la relación tamaño de grano del combustible - tamaño de los nódulos.

Como regla general para considerar la fig. 2 debe tenerse también especialmente presente que el cok de tamaño de grano superior al normal da lugar a un consumo de calor más elevado, porque se pierde una mayor cantidad de calor en los gases desprendidos, y a un descenso del rendimiento; el cok de tamaño de grano inferior al normal da lugar al mismo fenómeno, originándose en este caso el aumento en el consumo de calor por formación de CO (2).

De la fig. 1 resulta para el horno vertical de cemento un tamaño de grano para el cok de:

2	- 8 mm	(grano máximo 15 mm)	para	gránulos de 15 - 20 mm
1,0	- 4 "	( " " 8 " )	" " "	" 8 - 20 "
0,8	- 4 "	( " " 5 " )	" " "	" 5 - 15 "
0,7	- 3 "	( " " 4 " )	" " "	" 4 - 12 "

Como valores medios adecuados para el tamaño de grano del cok se elige la zona comprendida entre el tamaño de grano del material de alimentación, multiplicado por 0,5 como máximo, y por 0,1 como mínimo, en los hornos verticales de cemento, y multiplicado por 0,5 como máximo, y por 0,2 como mínimo, en los hornos verticales de cal. Debe tenerse en cuenta que en la cocción de calizas muy trituradas debe emplearse una fracción de cok estrechamente delimitada, con pocos finos, a fin de evitar que se produzca una disgregación en el interior del horno.

Otros combustibles, por ejemplo, petróleo o gas, exigen entrar en modificaciones constructivas del horno vertical y no pueden tratarse en este trabajo. Se puede cocer cal con los dos combustibles mencionados, pero, de momento, no resultan todavía económicos desde el punto de vista térmico; no se ha conseguido aún un consumo de calor de 900 Kcal/Kg de material, para una descarbonatación total, con estos combustibles, pero, con el tiempo, se confía poder resolver también este problema.

Mis primeras observaciones (2, pág. 37) sobre el contenido en vapor de agua del aire de combustión en los hornos verticales de cemento pueden ampliarse ahora en cuanto que se



ha conseguido un aumento de la producción del 5% y una economía de calor, pulverizando cantidades muy pequeñas de agua en el aire de combustión, por medio de un dispositivo muy sencillo, lo cual indica que se favorece la reactividad del combustible o que se hace descender la temperatura de disociación del  $\text{CaCO}_3$ .

En cuanto a las propiedades físicas y químicas de los crudos solamente se puede entrar en su consideración en cuanto que dejen sentir su influencia sobre la marcha de la cocción.

En el caso de la cocción de la cal hay que prestar una atención especial a la reactividad y al rendimiento (comportamiento en el apagado) de la cal; pero éste es función de la temperatura y del tiempo (reacción en estado sólido). En este sentido, sólo puede obtenerse un producto de calidad óptima controlando las variables temperatura y tiempo en la calcinación. Y este control solamente puede ser perfecto si se conocen todos los factores físicos que influyen, como son diámetro, velocidad de los gases, tamaño de grano, composición granulométrica del material de alimentación y altura del horno.

Pero no se puede afirmar que la duración de la elevación de la temperatura sea un dato de mayor importancia que la magnitud de dicha temperatura, porque estos factores están íntimamente relacionados en el horno vertical y son función el uno del otro, como indicaremos más adelante.

Evidentemente, también influirán sobre el tiempo de cocción la magnitud de los cristales y la porosidad, sobre to-

do cuando se utiliza creta como crudo y la cocción es muy suave a consecuencia de una conductividad térmica variable, si - bien el influjo de ésta es compensado a su vez por ser bajo el peso aparente.

Debe procederse con precaución al pasar de resultados procedentes de experimentos de cocción en el laboratorio a los hornos industriales, porque hasta la fecha no se ha conseguido que los modelos de hornos correspondientes reúnan las mismas condiciones. L. S. C.

(Continuará)

W. ANSELM 1953	HORNO VERTICALES		D 5(34)16 Abb. 1
	TAMAÑO DE GRANO DEL MATERIAL DE ALIMENTACION Y DEL COX, CON INDICACION DE EJEMPLOS PRÁCTICOS ACTUALES		

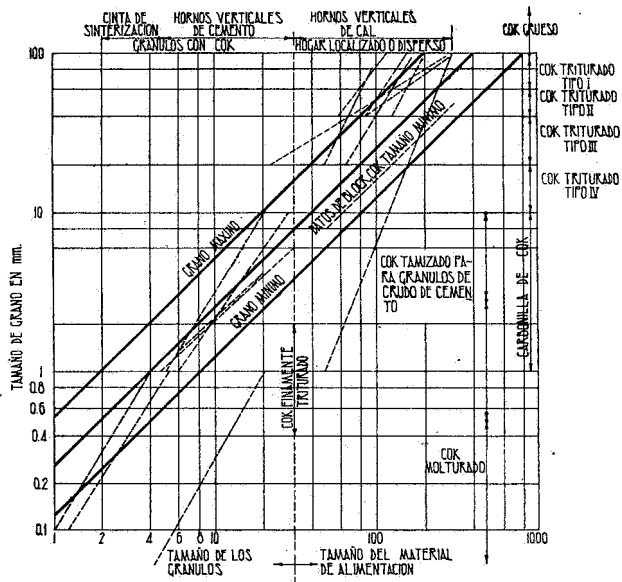
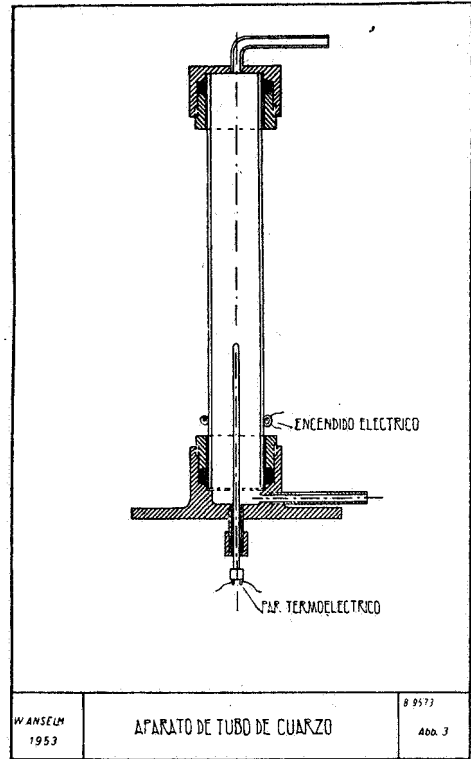


Fig. 1.



W. ANSELM 1953	APARATO DE TUBO DE CUARZO		D 4(45)14 Abb. 3

Fig. 3.

W. ANSELM 1953	RELACION X = $\frac{\text{ALTURA DE LA CAPA DE COMBUSTION (ZONA DE COCCION) [mm]}}{\text{TAMAÑO DE GRANO DEL COMBUSTIBLE (TAMAÑO DE LOS GRANULOS) (VALORES MEDIOS)}}$		D 4(45)14 Abb. 2

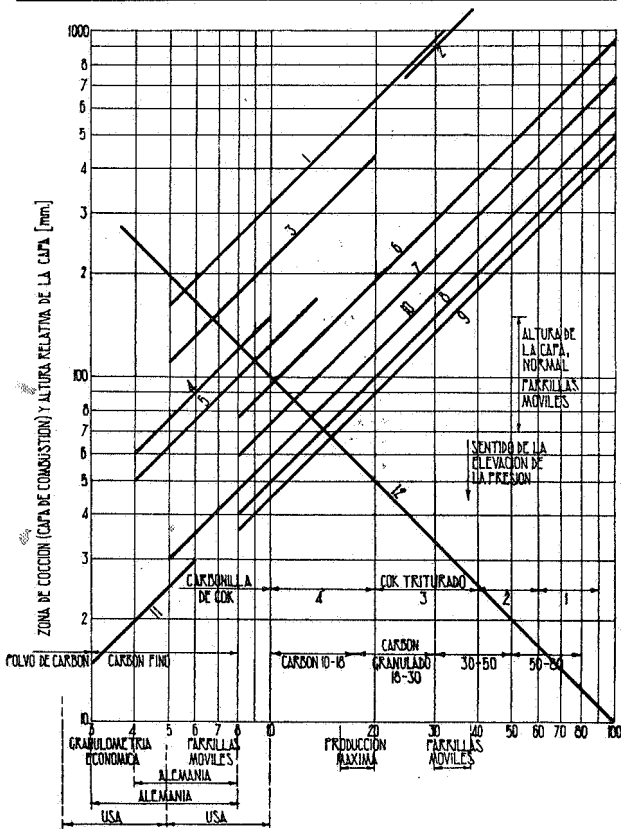


Fig. 2.

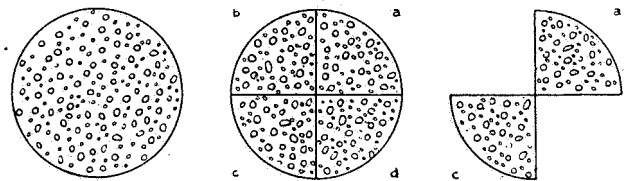


Fig. 4.

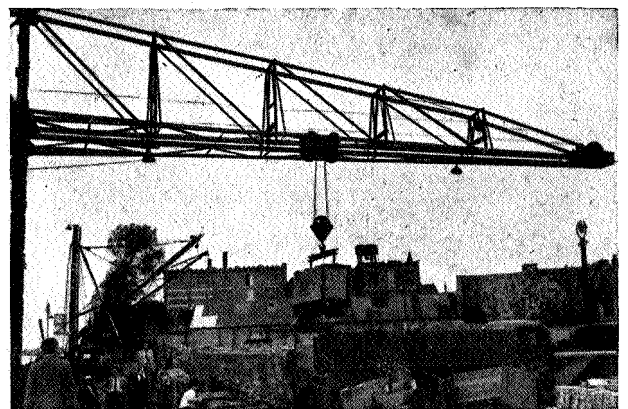


Fig. 5.