

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

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

(Continuación)

Wilhelm Anselm

- - -

TEMPERATURAS - VELOCIDAD DE LOS GASES

Como ya hemos subrayado, la medida de las temperaturas en los hornos verticales es un problema que no puede resolverse científicamente de un modo exacto, porque hay demasiados factores que influyen sobre las mismas. Intervienen, además, las diferencias de reactividad de los combustibles, que varía, incluso - dentro de un mismo combustible, con el tamaño de grano. El volumen del horno tiene también una importancia decisiva. La fig. 2 da una idea de las temperaturas que se presentan en el material (superficiales) en función de v_0 .

Este gráfico no pretende ser exacto en lo que respecta a la magnitud de las temperaturas; no obstante, es preciso tener en cuenta que estos datos proceden de numerosas mediciones de las temperaturas de los gases y del material. Únicamente por medio de estudios sistemáticos en serie será posible, quizá, en el futuro, determinar las temperaturas con mayor exactitud. No obstante, los valores dados pueden utilizarse en calidad de relativos.

En el diagrama de que hablamos, no aparecen todavía ni la reactividad del combustible, ni el tamaño de grano y la presión. Tampoco aparece el cok en los hornos de cal o incorporado

en los nódulos en los hornos verticales de cemento. Tenemos una indicación sobre los mismos en las curvas 1 y 2 y en los puntos 3 y 4, que representan mediciones de la temperatura realizadas por el autor (14) en hornos verticales pequeños (hornos de ensayo), con gránulos de 4 mm y cok de 0-1 mm, con un contenido de oxígeno en el aire del 21% y enriqueciendo hasta el 30%. La curva 5 (15) y los puntos 6 y 7 (16), correspondientes a un horno de cúpula, son interesantes en este sentido.

En general, la reactividad crece (véanse las flechas dibujadas) al emplear un combustible de grano más fino, que, naturalmente, en los hornos verticales de cal, debe guardar una determinada relación con el tamaño del material de alimentación. La comparación que damos a continuación da una buena idea sobre la marcha de la curva de la temperatura en función de la velocidad de los gases, v_0 , en m/seg, o de la cantidad de gases en $\text{Nm}^3/\text{m}^2\text{h}$:

Hornos verticales de cal, cocción suave	$v_0 = 0,06 \text{ m/seg}$, $t = 1100^\circ \text{C}$
Hornos verticales de cemento	$v_0 = 0,6 \text{ m/seg}$, $t = 1480^\circ \text{C}$
Hornos verticales para la sinterización de dolomita	$v_0 = 1,0 \text{ m/seg}$, $t = 1700^\circ \text{C}$

Cuando se cuece cemento en un horno vertical, debe alcanzarse una temperatura de 1400°C , si se utiliza un crudo molido normal, a fin de que se combine la tercera molécula de cal, lo cual corresponde a una velocidad de los gases de 0,4 a 0,5 m/seg; de otro modo, resulta una cocción deficiente.

La velocidad de los gases v_0 y la temperatura que le corresponde constituyen una base para determinar las dimensiones de los hornos verticales. Esto no se había reconocido hasta

la fecha, sobre todo en lo que respecta a la calidad. La velocidad de los gases en la cocción de la cal viene limitada por una sinterización demasiado intensa, que da lugar a una cal de menor rendimiento.

La calidad exigida en el producto cocido determina la temperatura, por ejemplo, para una cal suavemente cocida, 1100°C, para clinker de cemento, 1450°C, para dolomita sinterizada, 1700°C. El combustible, con su poder calorífico y su contenido de gases, determina en la misma escala la temperatura. En mi trabajo "La calidad de los combustibles" (3) he insistido especialmente sobre este punto. En todos los cálculos que siguen se toman como base únicamente combustibles de alta calidad, como cok y antracita con un poder calorífico de 6.500 a 7.000 Kcal/Kg. La calefacción por medio de petróleo o gas se considerará más tarde.

DIAMETRO DE LOS HORNOS VERTICALES

Tomando como base el diagrama de la fig. 2 (Nº 49 de Ultimos Avances, marzo 1954), resultan las dimensiones del diámetro interior = d_i , en metros, que se indican para los hornos verticales de cal en la Tabla 1 y en la Tabla 2 para los de cemento. En la Tabla 1 se puede observar también la zona correspondiente a un mayor consumo de calor y a producciones menores. Se pone también de manifiesto la gran influencia que ejerce sobre el diámetro el consumo de calor. Ahora bien, el consumo de calor en los hornos verticales de cal depende también de los tiempos de descarga y del combustible. Resulta, pues, necesario que la descarga sea continua en los hornos verticales de cal (sobre todo cuando el tamaño del material de alimentación es pequeño).

TABLA I

HORNOS VERTICALES DE CAL

PRODUCCION Y DIAMETRO INTERIOR DEL HORNO, EN m, EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES Y DE LA TEMPERATURA, Y DEL CONSUMO DE CALOR.

(Valores de orientación, $H_u = 7000$, $n = 1,1$)

Temperatura del material (superficie) °C	1100 - 1140			1180 - 1220			1240 - 1300		
Velocidad de los gases en la zona de calcinación, v_{OL} , en m/seg.	0,06			0,12			0,18		
Producción específica, Kg/m ² h	167	152	129	331	304	258	497	461	386
Consumo del calor Kcal/Kg de CaO	900	1000	1200	900	1000	1200	900	1000	1200
Producción, Nm ³ /seg de gases a T _m /día	Diámetro interior del horno, di, en m								
900 1000 1200	10 0,15 0,17 0,19			20 0,31 0,33 0,39			60 0,90 0,99 1,17		
	1,78	1,88	2,04	1,26	1,32	1,44			
	2,53	2,64	2,91	1,85	1,90	2,03	1,46	1,53	1,66
	4,37	4,58	4,98	3,10	3,24	3,52	2,53	2,63	2,87
				4,00	4,18	4,55	3,28	3,42	3,70
				4,38	4,58	4,96	3,58	3,74	4,05
							4,36	4,58	4,96
							4,70	4,83	(5,25)

(Las cifras rodeadas por el trazo grueso corresponden a la zona en que se debe trabajar).

TABLA II
HORNOS VERTICALES DE CEMENTO

PRODUCCION Y DIAMETRO INTERIOR DEL HORNO, EN m, EN FUNCION DE LA VELOCIDAD DE LOS GASES Y DE LA TEMPERATURA, Y DEL CONSUMO DE CALOR

(Valores de orientación, $H_u = 7000$, $n = 1,1$)

Temperatura del material (superficie) °C	1570			1500			1400		
Velocidad de los gases en la zona de cocción, - v_{0L} , en m/seg	0,79			0,63			0,39		
Producción específica, Kg/m ² h	1900	2380	2540	1510	1810	2020	935	1130	1245
Producción, Tm/día	Diámetro interior del horno, di, en m.								
220	2,48	2,26	2,14	2,78	2,54	2,40	3,54	3,22	3,06
200	2,37	2,16	2,05	2,65	2,42	2,29	3,36	3,07	2,91
180	2,24	2,04	1,94	2,50	2,29	2,17	3,18	2,91	2,76
160	2,11	1,92	1,83	2,36	2,16	2,04	3,00	2,74	2,60
140	1,98	1,80	1,71	2,21	2,02	1,92	2,81	2,56	2,43
120	1,83	1,67	1,59	2,05	1,87	1,78	2,61	2,38	2,26
100	1,67	1,53	1,45	1,87	1,77	1,42	2,38	2,17	2,06
Consumo de calor en Kcal/Kg de clinker	1200	1000	900	1200	1000	900	1200	1000	900

(Las cifras rodeadas por el trazo grueso corresponden a diámetros aproximadamente iguales)

De este modo, se puede conseguir una producción determinada y la calidad requerida con distintos diámetros, pero entonces varía también el consumo de calor. O dicho a la inversa, con un diámetro dado, por ejemplo, de 2 m, se pueden conseguir las siguientes cifras:

Producción en toneladas diarias:	10	20	hasta 40
Calidad	Cocción suave	Cocción media	Cocción intensa

Los valores más bajos de la Tabla para las temperaturas corresponden a los hornos más pequeños, y los más elevados a los tipos más grandes, cosa que debe tenerse muy en cuenta. Se desprende también de aquí que sólo se consigue una cocción sumamente suave en los hornos de pequeña producción y que en los hornos grandes es muy difícil mantener temperaturas bajas de cocción, lo cual se presentía, pero no se había podido explicar en este sentido.

La Tabla 2, correspondiente a los hornos verticales de cemento, da los distintos diámetros de los hornos actualmente en servicio. En este caso, las diferencias son particularmente importantes; por ejemplo, un horno de 2,7 m de diámetro trabaja con una producción de 120 toneladas diarias, con un consumo de calor de 1300 Kcal/Kg de clinker; en otro, de 2,3 m de diámetro, se consigue una producción de 180 toneladas diarias, con un consumo de calor de 1000 Kcal/Kg, obteniéndose un producto de mejor calidad.

Por consiguiente, se debe tener particularmente presente el consumo de calor cuando se estudien las dimensiones del diámetro. Las diferencias en el consumo de calor han de atribuirse a un combustible de muy mala calidad, un cok demasiado fino o

demasiado grueso (con lo que la combustión resulta incompleta), a CO y residuo sin quemar debido a una velocidad de los gases demasiado pequeña o a un combustible de grano demasiado grueso en los nódulos, a un acceso insuficiente de aire para la combustión (esclusas no herméticas), a una formación excesiva de detritus por fricción entre los nódulos en el interior del horno, etc., y en el caso de hornos de cal a una descarga demasiado espaciada.

Así, pues, es posible, como ya he indicado (2), disminuir el diámetro, alcanzando, no obstante, una elevada producción y reduciendo el consumo de calor mediante la elevación de la velocidad de los gases y el acceso de la cantidad correcta de aire de combustión. O, con un diámetro dado, se puede conseguir una mayor producción y una mejora de la calidad, por aumento de la velocidad de los gases, reducción del tamaño del material de alimentación, y por elección de un inyector adecuado y empleo de un combustible de calidad óptima (reactividad).

Los distintos factores mencionados están íntimamente relacionados entre sí y se han podido explicar únicamente por aplicación correcta de los resultados de la fig. 2 (Nº 49 de Ultimos Avances, marzo 1954), que ha constituido la base de las consideraciones ulteriores.

La fig. 3 pone aun más claramente de manifiesto la influencia del diámetro sobre la producción para distintos valores de la velocidad de los gases y del consumo de calor. El diámetro se ha limitado en 3 m en los hornos de cemento, magnesita y dolomita, y en 5 m en los hornos verticales de cal, porque el influjo de las paredes da lugar a un desplazamiento de las zonas en el centro del horno; dicho efecto es función de la velocidad de los gases.

Para fines prácticos industriales, la fig. 4 da, para hornos verticales de cemento, cal, magnesita y dolomita, una idea general sobre la producción, el consumo de calor, la cantidad de aire necesario para $n = 1,1$ sin pérdidas en las esclusas, el factor de aumento de la cantidad de aire a cantidad de gases, también con inclusión del 50% del CO_2 desprendido, a fin de determinar la cantidad de gases en la zona de calcinación, la velocidad de los gases y la temperatura aproximada que se presenta en la superficie del material y el diámetro interior del horno. Al determinar el diámetro, hay que tener en cuenta, además, que, en los hornos verticales de cal con calefacción por gas, la cantidad de gases es del 30 al 50% mayor que quemando cok.

TIEMPO DE PERMANENCIA DEL MATERIAL EN EL INTERIOR DEL HORNO VERTICAL

La altura del horno depende del tiempo que han de permanecer en el interior del mismo los trozos de caliza o los granulos de crudo molido de cemento. De la fig. 5 (Nº 43 de Ultimos Avances, agosto-septiembre de 1953), correspondiente a la primera parte de este trabajo, resulta, por introducción de los tiempos de permanencia (valores óptimos) para el calentamiento, calcinación, y sinterización, incluyendo también el enfriamiento, una cierta dependencia con el tamaño del material de alimentación. Naturalmente, en la práctica influyen también el peso aparente, la porosidad, la forma, el coeficiente de conductividad térmica, el calor específico y el tamaño de los cristales en la caliza, para un valor bajo de la velocidad de los gases, así como la composición granulométrica del cok, de modo que también en este caso sólo se pudieron utilizar valores medios. En este estudio sobre la determinación de las dimensiones se trata también

únicamente de dar unos valores de orientación, para hacerse una idea de las relaciones existentes y no para tomar un mismo diámetro y altura en cada caso particular. Únicamente un conocimiento de todos los factores que influyen puede hacer posible una elección correcta de las dimensiones; debemos prevenir aquí también contra tomar alegremente valores de las Tablas numéricas. Pero en lo sucesivo ya resulta fácil en un horno nuevo reconocer los factores físicos como las magnitudes características más importantes, lo cual también es aplicable a los hornos ya en servicio, para introducir después los problemas de tipo químico; hasta ahora, venían prevaleciendo demasiadas opiniones sobre la fijación de las dimensiones, que impedían que cada uno pudiera formarse su criterio propio.

En la determinación del tiempo de permanencia del material en las zonas de calentamiento, calcinación o descarbonatación y sinterización se han obtenido valiosos resultados (2); pero el tiempo de enfriamiento representa también un papel importante, que, a su vez, depende del consumo de calor y del tamaño del material de alimentación del horno. De la mencionada figura 5 (Nº 43 de Ultimos Avances, agosto-septiembre de 1953), resulta siempre una marcha rectilínea para los tiempos de calcinación y precalentamiento. Sin embargo, las curvas correspondientes presentan una curvatura, como en los hornos verticales de cemento, hacia las granulometrías pequeñas, cuando se considera incluido el enfriamiento.

La fig. 5 representa también, en las curvas a a e, los resultados de los tiempos precisos para el calentamiento y la descarbonatación, procedentes de distintos estudios, para distintas velocidades de los gases y temperaturas. La marcha E de las curvas corresponde a un reciente estudio de Azbe (17),

TABLA ACLARATORIA DE LA FIGURA 5

			v_0 (m/seg)	Temperatura del mate rial en la superf. °C	
a	cañ	Precalentamiento, calcinación, - sin incluir el enfriamiento, en- sayos de laboratorio (unos pocos trozos)	0,30	1365	Black
b	id.	id.	0,24	1330	Azbe
c	id.	id.	0,18	1300	Knibbs
d	id.	id.	0,12	1200	Wuhrer
e	id.	id.	0,06	1100	
E	id.	id.	--	--	Azbe (17)
f	id.	Precalentamiento, calcinación, - incluido el enfriamiento, vale - res de la práctica (cargas granu lares)	0,30	1365	
g	id.	id.	0,24	1330	
h	id.	id.	0,18	1270	Anselm
i	id.	id.	0,12	1200	
k	id.	id.	0,06	1100	
l	id.	Precalentamiento, calcinación, - incluido el enfriamiento, curva característica	0,06-0,30	1100-1365	Anselm
m	id.	Precalentamiento, calcinación, - sin incluir el enfriamiento, en- sayos de laboratorio hasta acti- vidad máxima. Carga granular	0,00	900	Wuhrer- Anselm
n	id.	id.	0,00	1000	(Ensay. no pub.)
o	minetas calizas	Tiempo de calcinación	(0,18)	1000	*)

*) Anhaltzahlen f. d. Wärmewirtschaft 19 471 Stahlisen Düsseldorf

TABLA ACLARATORIA DE LA FIGURA 5 (CONTINUACION)

			v_0 (m/seg)	Temperatura del mate rial en la superf. °C	
p	carbón	Secado			**)
q	cemento	Tiempo de reacción sin incluir - el enfriamiento, ensayos de labo ratorio	0,70	1400	Anselm ₍₂₎
r	id.	Pre calentamiento, calcinación, - sinterización y enfriamiento par cial, carga granular en horno - vertical pequeño 1370 Kcal	0,24	1420	
s	id.	id. 840 Kcal	0,24	1400	Anselm -
t	id.	id. 1370 Kcal	0,50	1480	Koch (en sayos no publ)
u	id.	id. 840 Kcal	0,50	1450	
v	id.	id. 1370 Kcal	1,00	1550	
w	id.	id. 1370 Kcal	1,40	--	
x	id.	id. 1200 Kcal	0,10	1420	Anselm - Koch (14)
y	id.	Enfriamiento inclui do; estudios prácti cos en parrilla de sinterización. 1200 Kcal	0,70 (n=2,5)	1550	Anselm
	id.	Pre calentamiento, calcinación, - sinterización y enfriamiento, va lores de la práctica; carga gra nular 1000 Kcal	0,80	1570	
	id.	id.	0,60	1525	
	id.	id.	0,50	1480	Anselm
	id.	id.	0,40	1430	

***) Fuel and Combustion Handbook 1951, pág. 557

Resulta una relación entre el tiempo de permanencia del material en el hinterior del horno (calentamiento, descarbonatación y sinterización, sin incluir el enfriamiento) y el tamaño de grano:

$$\text{Tiempo de permanencia, en minutos, } t = K^{0,5}$$

$$\text{Tamaño de grano } K = t^2$$

esto es, el tiempo de paso del material aumenta al doble cuando el tamaño de grano es cuatro veces superior, o dicho de otro modo, disminuye a un medio cuando el tamaño de grano se reduce a un cuarto.

Esta relación coincide perfectamente con los datos generales sobre el secado de carbón (curva p) o con la curva q correspondiente a la cocción del cemento. Ahora bien, el resultado es únicamente válido para hornos de laboratorio, en que se estudiaron uno o varios trozos a temperatura constante, sin tomar en consideración algunas veces la velocidad del aire, llegando el calor o la radiación al trozo por todas las caras. Es preciso añadir, además, que el tiempo de permanencia en el interior del horno (medido correctamente), no es el mismo que en la práctica industrial, porque la velocidad de avance es distinta por el rozamiento de los distintos trozos entre sí y sobre las paredes. Puede suponerse que, para lechos granulares en el interior de hornos verticales industriales, estos valores para el tiempo de permanencia aumentan en el 50%, porque la forma irregular de los trozos hace disminuir la relación superficie/volumen a la mitad del valor correspondiente a un cubo. Además, es preciso considerar el tiempo de enfriamiento, con lo que el tiempo total viene multiplicado por 1,2 - 1,3 y depende de la velocidad de los gases y de la temperatura reinantes.

De acuerdo con estudios concienzudos realizados en la práctica industrial, el tiempo de paso del material disminuye - aproximadamente de 1 a 0,66, cuando el tamaño de grano pasa de 1 a 0,5. Resultan de aquí, en la práctica, para calizas, los tiempos de paso correspondientes a las curvas f a k de la fig. 5. Dichos valores coinciden bien con las curvas g a j relativas a hornos de cemento y la curva o referente a la tostación de mineta.

La causa de la fuerte curvatura que presenta la curva de los tiempos de paso en la práctica en la región de los tamaños de grano pequeños, hacia tiempos relativamente mayores, reside en la distribución del aire, que resulta distinta al variar los canales entre los trozos de material (diámetro hidráulico); dichos canales resultan más cortos y la presión aumenta. También es seguro que las lagunas de gases se hacen mayores y, con ello, empeora relativamente la transmisión térmica. La superficie activa de los trozos desciende de este modo a un quinto o hasta a un sexto.

Estas circunstancias, provocadas fundamentalmente por diferencias de disposición de la carga y de la granulometría de ésta, son bien conocidas por sus efectos, pero aun no son lo suficientemente conocidas para poder sacar consecuencias prácti-cas. Por esta razón, es suficiente tomar como base la fig. 5 y corregir ésta por medio de estudios en serie, considerando todos los factores. Resultan ya de aquí muchas cuestiones que valdría la pena estudiar detenidamente.

Los valores obtenidos son únicamente válidos para una relación entre el tamaño de grano máximo y el tamaño de grano - mínimo de 2 a 1 y trozos de forma aproximadamente cúbica. En con

diciones distintas, sobre todo cuando varía la longitud y la anchura con un espesor constante, el tiempo de paso del material - puede llegar a ser doble, como se deduce de las curvas E, debidas a Azbe.

La 1 representa la curva media en los hornos verticales actuales, ya que, cuando los trozos de material son grandes, es preciso trabajar con velocidades de los gases pequeñas y, si son pequeños, hay que aumentar dicha velocidad. Existe aquí también el peligro de que se produzca una sobrecocción cuando los trozos son de pequeña magnitud.

Otra explicación de la marcha de la curva 1 consiste en que, al disminuir el tamaño de grano, puede suponerse menor la diferencia de temperatura entre los gases y el material, o, dicho a la inversa, esta diferencia aumenta cuando los trozos son mayores. Así, pues, podrían bastar temperaturas bajas, lo que, por otra parte, eliminaría el peligro de que se produzca una sobrecocción; pero, frente a esto, como los canales entre los granos se hacen más pequeños (diámetro hidráulico) al disminuir el tamaño de éstos es forzoso recurrir a mayores velocidades de los gases, y obligadamente se obtienen de nuevo temperaturas más altas. De aquí también la tendencia de la curva de que hablamos a mayores velocidades de los gases y temperaturas más elevadas, y a tiempos de paso más cortos.

Debe tenerse en cuenta que las impurezas contenidas en la caliza (sílice, hierro, alúmina) conducirían, cuando el tamaño del material de alimentación es grande, a una sinterización parcial, si la temperatura es elevada, pero ésta no puede establecerse, porque la velocidad de los gases es pequeña. Esto consti-

tuye también, en parte, una explicación de que la composición ana lítica de la caliza no influya demasiado. Por consiguiente, en una conducción correcta de un horno cargado con trozos grandes, no se puede alcanzar la elevada temperatura que se necesita, ni temperaturas más bajas cuando los trozos son menores, lo cual es de tener muy en cuenta en lo que respecta a la sinterización. Eventualmente, se puede recurrir a aumentar la relación entre los tamaños de grano extremos, cuando se cuecen trozos grandes, con lo que aumentan también la velocidad de los gases y la temperatura, y, cuando el tamaño del material de alimentación es pequeño, se utiliza preferentemente una relación pequeña entre los tamaños extremos de grano.

La fig. 5 incluye también otras dos curvas, la m y la n (Wuhrer-Anselm), correspondientes a una caliza muy rica, de 1,3, 6, 12 y 20 mm de tamaño de grano, cocida en un horno de laboratorio a 900 y 1000°C y en la que se pudo comprobar al mismo tiempo la elevada actividad que siempre se produce, por medida del ca lor de hidratación. Es interesante que estas curvas, que representan la misma calidad, presentan una marcha distinta a la de las curvas a a e y se debe suponer que éstas últimas se curvan hacia la zona de los tamaños de grano pequeños, como se indica sobre la curva. Existe, pues, para la caliza, según el tamaño de grano, un tiempo de calcinación y un tiempo de enfriamiento determinados para obtener una actividad máxima (calidad) en la cal y, según estos ensayos, se puede suponer con seguridad que el hábito general de las curvas a a e no expresa esto. Si se incluye también el tiempo de enfriamiento y se consideran las condiciones en el interior del horno vertical industrial (una carga granular en lugar de trozos aislados, lagunas de gases, velocidad de paso), se ob-

tiene entonces el hábito de las curvas f a k y, con esto, se tendría otra explicación de la marcha real de estas curvas.

Puede preverse ya que, disminuyendo el tamaño del material de alimentación, y aplicando los valores a a e, se llegaría en los hornos a unas alturas tan pequeñas que serían prácticamente irrealizables.

También coincide muy bien el hábito de las curvas r a x, correspondientes a ensayos no publicados, llevados a cabo por Anselm-Koch en la cocción de cemento en cargas granulares en hornos verticales pequeños, con un pequeño enfriamiento parcial, ya que la cocción tuvo lugar desde abajo hacia arriba, con las curvas x a q, si se tienen en consideración los puntos anteriormente expuestos. En este sentido, debe tenerse presente que en estos ensayos se ha conseguido elevar mucho la velocidad de los gases mediante el empleo de gránulos pequeños.

La marcha de las curvas r a v y f a k pone de manifiesto que el gradiente de temperatura desde la superficie al núcleo disminuye fuertemente al decrecer el tamaño del material de alimentación, así como la refrigeración producida por el CO_2 que se desprende desde el núcleo hacia la superficie, lo cual constituye otra explicación de que los granos pequeños adquieran una temperatura superior, originándose con ello una cal de peor calidad. En la cocción de la cal, el tiempo y la temperatura son las dos magnitudes decisivas para conseguir un producto de buena calidad; un tiempo de calentamiento demasiado prolongado, con un cok demasiado grueso y en hornos de altura excesiva, perjudican la calidad.

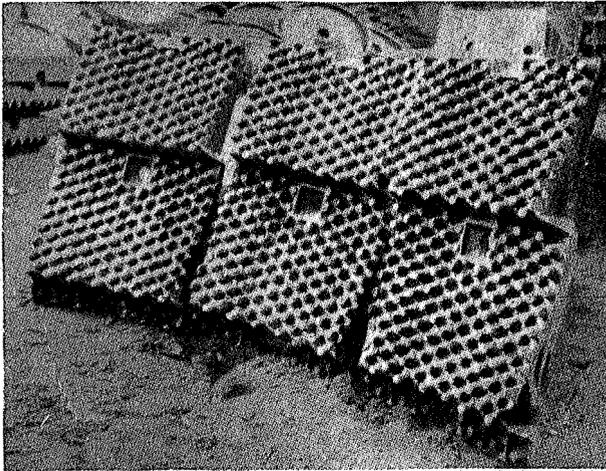
Todas las consideraciones de orden teórico deben capitular ante los resultados prácticos, y así sucede de hecho. Las

circunstancias, sobre todo las que afectan a la cocción de la cal, son demasiado variables y dependen de tantos factores que únicamente podemos servirnos en la actualidad de los resultados de la práctica, claramente ordenados.

Tampoco nos conducen a ulteriores resultados los cálculos desarrollados hasta la fecha para la transmisión del calor y para el tiempo de paso del material -que se basa en el anterior- por las zonas de precalentamiento, descarbonatación, sinterización y enfriamiento, si no se toma en consideración la calidad del producto. Debe llegar, y llegará, el día en que dominemos los problemas que plantea la transmisión del calor.

La fig. 6 da los tiempos de paso del material en la práctica, a partir de los resultados de la fig. 5, para distintos tamaños de grano. Puede observarse de nuevo en este diagrama la influencia del régimen de la corriente de gases; se conserva la misma relación entre los tamaños de grano máximo y mínimo. L.S.C.

(Continuará)



← Fig. 1.

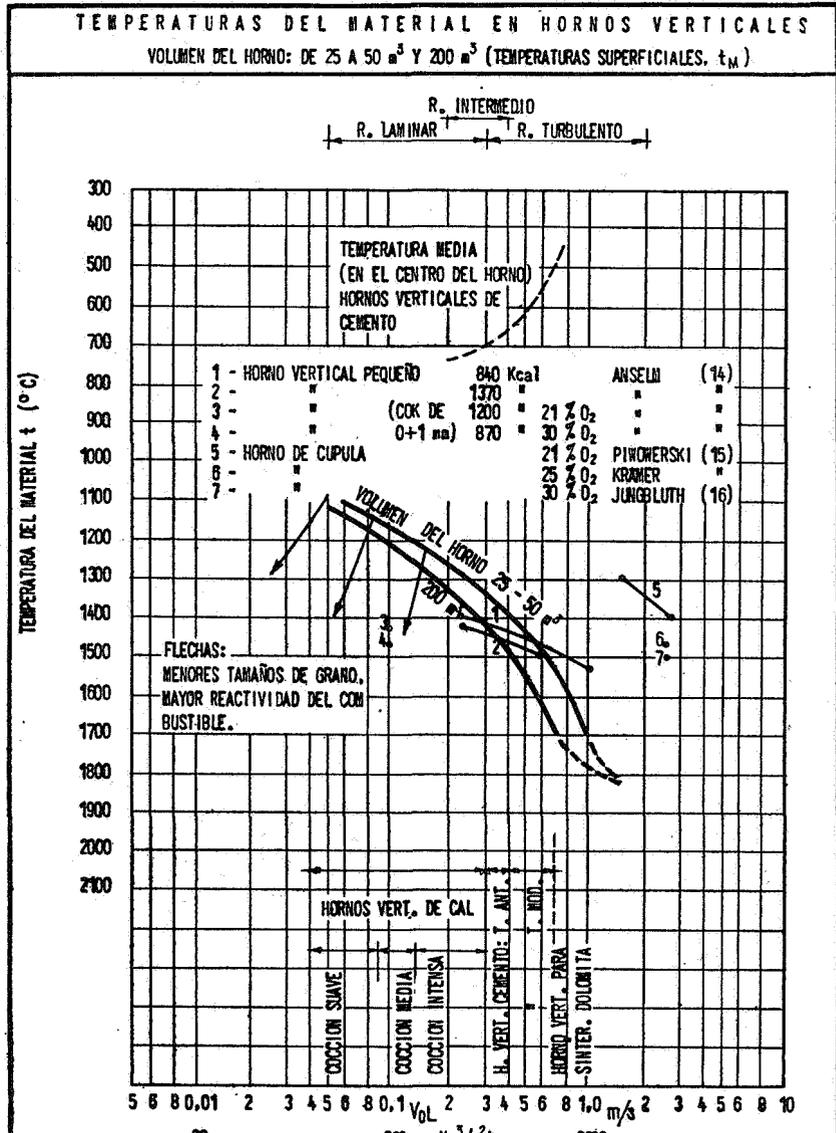
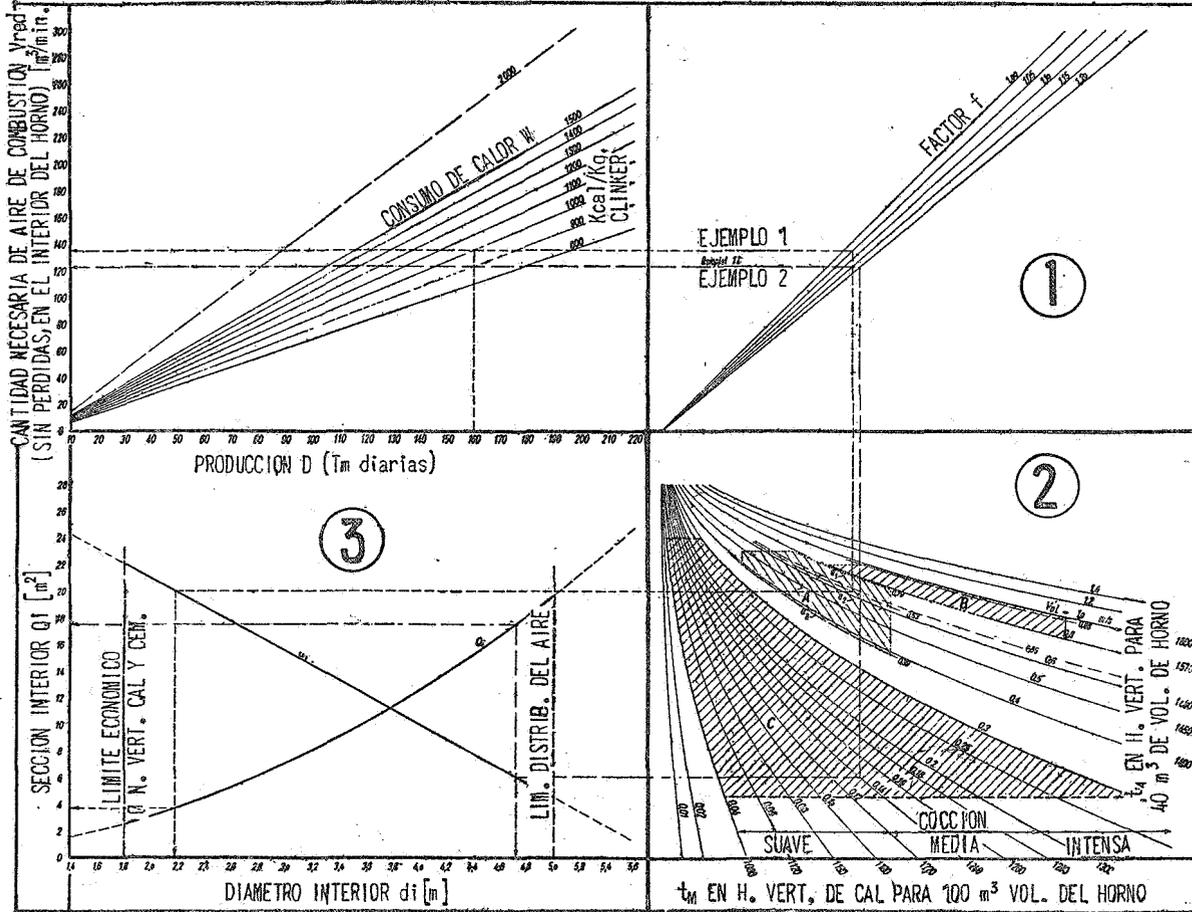


Fig. 2. →

HORNOS VERTICALES DIAMETRO INTERIOR Y SECCION EN FUNCION DE:

PRODUCCION D
 CONSUMO DE CALOR W
 CANTIDAD DE AIRE DE COMBUSTION Vred (20 °C)

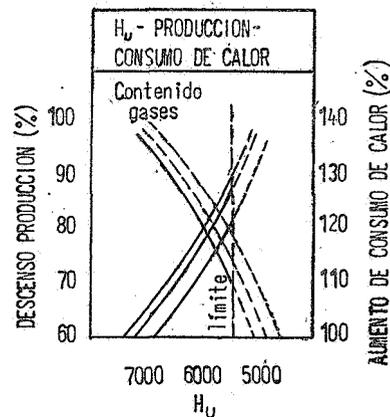
FACTOR f (AIRE - GASES Y CO₂ DEL MATERIAL)
 VELOCIDAD DE LOS GASES V'ol (REFERIDA AL VOLUMEN VACIO DEL HORNO)



- a: HORNO VERTICAL CEMENTO 1 (-1,05) PARA n = 1,1
- b: " " SINTER. DOLOMITA 1,15 PARA n = 1,1
- c: " " CAL 1,242 800 Kcal.

Con + 50% de CO ₂ en la zona de calcinación	1,196	1000
	1,170	1200
	1,150	1400
	1,134	1600
	1,121	1800
	1,110	2000

A: ZONA HORNO VERT. CEMENTO	900 ÷ 1200	Kcal/Kg. DE CLINKER	
a ₁ : " " " "	900	"	0,79
a ₂ : " " " "	1000	"	0,63
a ₃ : " " " "	1200	"	0,39
B: ZONA SINT. DOLOMITA	2000 ÷ 2300	"	0,8 ÷ 1,0
C: ZONA CAL	900 ÷ 1200	"	0,06 ÷ 0,3

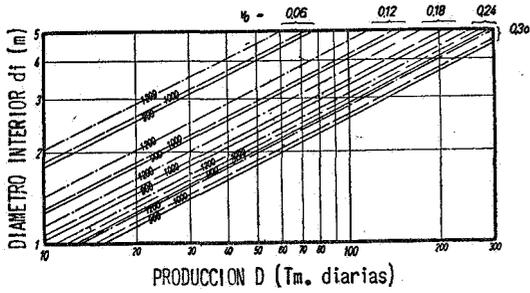


D	W	Vred	f	Vol	Crudo	di	Q1
EJEMPLO 1: 160 Tm diarias	1000 Kcal/Kg.	135 m ³ /min.	1,05	0,63 m/seg.	15 ÷ 25 mm.	2,18 m.	3,732 m ² CEMENTO
EJEMPLO 2: 160 Tm diarias	900 Kcal/Kg.	123 m ³ /min.	1,20	0,14 m/seg.	100 ÷ 200 mm.	4,72 m.	17,5 m ² CAL

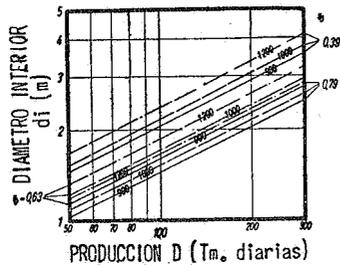
← Fig. 4.

HORNOS VERTICALES.- PRODUCCION (Tm. diarias)
Y d_i (m) EN FUNCION DEL CONSUMO DE CALOR (kcal/kg.) Y DE LA
VELOCIDAD DE LOS GASES V_0 (m/seg.)

HORNOS VERTICALES DE CAL



HORNOS VERTICALES DE CEMENTO



← Fig. 3.

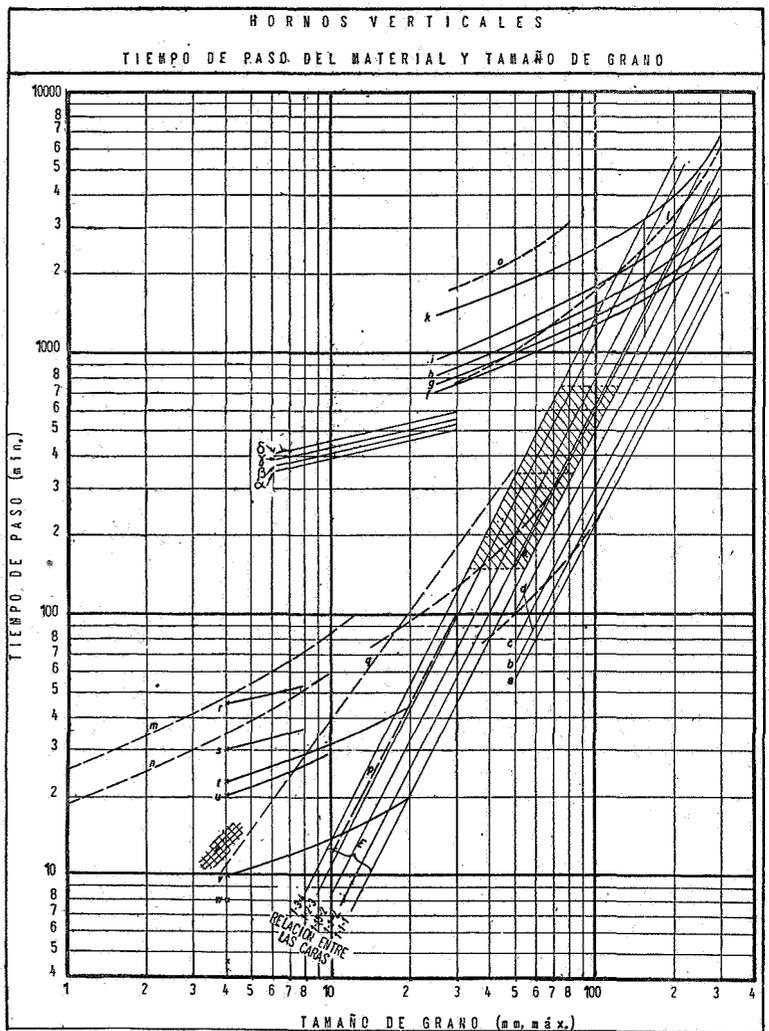


Fig. 5. →

HORNOS VERTICALES S.- TIEMPO DE PASO EN LA PRAC-
TICA (PRECALENTAMIENTO A ENFRIAMIENTO) (min.), VELOCIDAD DE LOS
GASES V_0 (m/seg.) Y TAMAÑO DE GRANO (mm. máx.), PARA $S = 2,5:1$

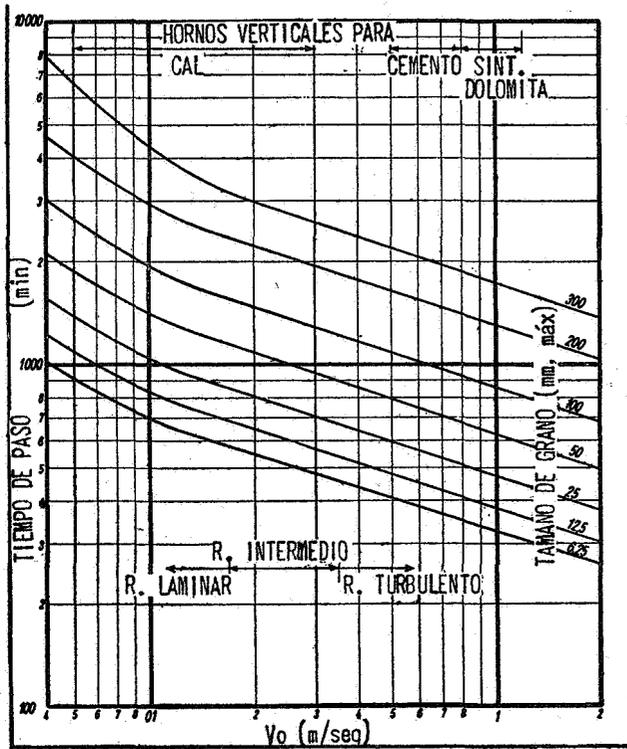


Fig. 6,

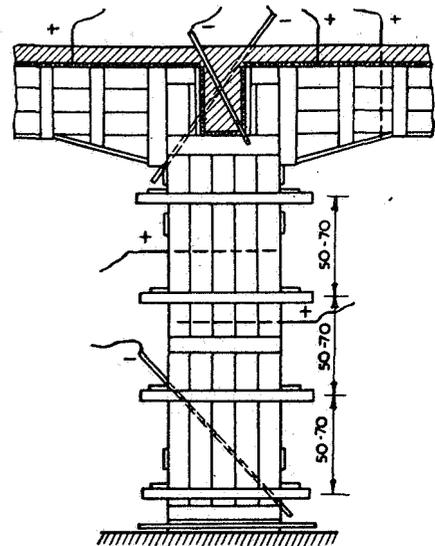


Fig. 8.—Disposición de los electrodos para el tratamiento de una columna.

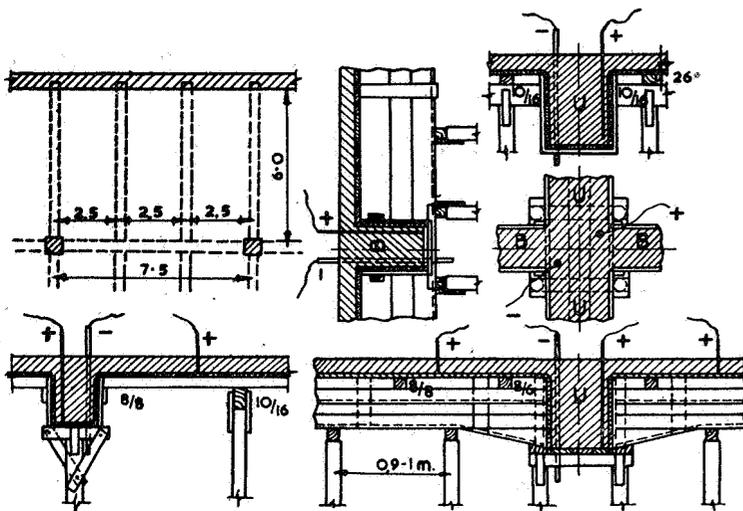


Fig. 7.—Posible disposición de los electrodos para el tratamiento de vigas.



Fig. 9.