

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618-25 EL HORNO VERTICAL

(Der Schachtofen)

Wilhelm Anselm

- - -

Hacemos público nuestro agradecimiento al Prof. W. Anselm, así como a la dirección de la prestigiosa revista ZEMENT-KALK-GIPS, por su amable autorización para la reproducción en nuestras páginas de este trabajo, aparecido originalmente en el número especial nº 1, correspondiente a marzo de 1952, de la mencionada publicación.

- - - -

A. PROCESO EVOLUTIVO DEL ACTUAL HORNO VERTICAL DE GRAN RENDIMIENTO.

La evolución del horno vertical normal, que hace 25 años tenía una producción diaria de 80 a 100 Tm., nos ha conducido en los últimos 15 años al horno vertical de gran rendimiento, con producciones que pasan de las 200 toneladas diarias y un clinker de excelente calidad.

Cuando se trata de transformar hornos antiguos en hornos de gran rendimiento o de montar instalaciones de nueva planta, debe tenerse presente que se han modificado considerablemente diversos factores. En consecuencia, en lo que sigue se trata

de establecer los factores más importantes que influyen sobre la producción, consumo de calor, trabajo necesario y calidad del producto, con el fin de poder obtener resultados beneficiosos. Pero, además, es preciso tener en cuenta que cada horno vertical trabaja de un modo distinto, si no se estudia los diversos influjos con un cuidado especial. Por esta razón, las presentes manifestaciones sólo pueden considerarse como directrices obtenidas a partir de numerosas investigaciones, particular sobre el que no puedo dejar de insistir. Pero ante todo, este trabajo debe mostrar el camino para ahorrar combustible y energía y para elevar la calidad del producto.

El proceso de cocción, la producción y el consumo de calor y fuerza en un horno vertical están influidos fundamentalmente por:

- a) Las dimensiones y disposición del horno.
- b) El tamaño de grano del combustible y de los nódulos de crudo.
- c) La reactividad física entre el combustible y el crudo, sobre todo, por las condiciones del aire, como son presión, cantidad y velocidad, lo cual equivale a la velocidad de cocción.
- d) La reactividad química del combustible y del crudo.

Aunque no se conoce todavía con todo detalle la influencia de estos factores, se han obtenido en principio resultados de valor práctico, que vale la pena dar a conocer.

Hace siete años se pudo comprobar a través de ensayos a fondo, realizados por mí, que las anteriores circunstancias influyen de un modo extraordinario sobre el proceso de cocción en

un horno vertical.

A las temperaturas a que se trabaja, unos 1500°C, la reactividad química aparece completamente en segundo término, y sólo resta aumentar la reactividad física, como se desprende de la fig. 2, de validez general para cualquier proceso de cocción o sinterización (1). Se ve cuán pequeña es a temperaturas elevadas la resistencia química que se opone a la reacción, y qué grande es todavía la resistencia física, que ha de ser superada tomando medidas de tipo mecánico, cosa que antes no se tomaba en cuenta.

Vamos a referirnos a la influencia de los factores mencionados con la extensión posible dentro de los límites de este trabajo, insistiendo en particular sobre los adelantos más recientes y sin describir en detalle lo ya conocido.

### I. Construcción del horno

a) Altura x diámetro interior = Volumen interior del horno.

En lo que se refiere a dimensiones del horno vertical, se ha operado un cambio fundamental en comparación con hace 40 ó 25 años. De la Tabla 1 se deduce que las primitivas dimensiones de hace 40 años corresponden poco más o menos a las actuales, con la diferencia de que las producciones actuales son tres veces mayores, con un consumo de calor más favorable (fig. 3).

El paso a las actuales dimensiones de los hornos verticales de gran rendimiento tuvo origen en un estudio a fondo de los factores que afectan a la cocción, así como de las presiones, velocidad de los gases y cantidad de aire. Las primitivas dimensiones eran correctas, solamente faltaba por dar el paso a cantidades mayores de aire por aplicación de mayores pre -

Tabla I

Año	Calidad	Altura - m	Diámetro interior en m	Producción media en Tm. días	Consumo medio de calor en kcal/kg. clínker	Tiro
1880	Malá	8 - 9	2 - 2,2	20	1200 - 1100 - 1000	(natural)
1910	Media	8 - 9	2,5 - 2,6	35-55	1600 - 1500 - 1400	T I
1925	Media	10 - 14	2,7 - 2,9	80-100	1400 - 1300 - 1200	T I
1935	Buena	9 - 12	2,6 - 2,8	100-150	1300 - 1200 - 1100	I P
1950	Muy buena	8 - 9	2,4 - 2,5	150-180	1100 - 1050 - 1000	I P
1952	Muy buena	9 - 10	2,3	180-220	1000 --- 900	I P

T I - Turboinyector.

I P - Inyector de pistón.

siones. Hacia 1925 se trató de aumentar la producción aumentando la altura y el diámetro interior, lo que significó un retroceso. Fué al estudiar detenidamente la distribución del tiro desde los bordes hasta el centro del horno cuando se comprobó que existe un determinado diámetro, del que no se debe pasar. A partir de los resultados obtenidos se ha construido la fig. 4 en la que puede verse la zona de variación del diámetro interior en los tipos de hornos que se construyen actualmente y en la que se da una orientación para la elección del diámetro interior y de la altura para un consumo bajo de calor, junto con las correspondientes tendencias según que se utilice como combustible cok o antracita. Con diámetros mayores aumentan las pérdidas, la cantidad de CO formada y la radiación de calor, e igualmente resulta una calidad desigual a consecuencia de una mala distribución del tiro. En los modernos hornos verticales, de mayor rendimiento, hay que disminuir el diámetro interior de la zona de enfriamiento, pues la velocidad del aire disminuye a consecuencia del menor consumo de calor, con lo que el efecto refrigerante resultaría menor. Disminuyendo el diámetro se eleva la velocidad del aire en la zona de enfriamiento y con ello aumenta el efecto refrigerante.

La relación óptima del diámetro interior de la zona de enfriamiento a la altura total del horno vertical está comprendida entre 1:4 y 1:4,2; en los hornos verticales de cal es de 1:5.

Anteriormente se llegó a considerar mejor una mayor altura por la creencia que se tenía de que para conseguir un gran rendimiento se precisaba tener una mayor cantidad de material en el interior del horno y porque se deseaba una buena prepara-

ción previa del crudo y un buen enfriamiento del clinker. Ambas suposiciones resultaron no ser válidas, pues al tener que aumentar el tiro se elevaba también la presión, con lo que la zona de sinterización quedaba reducida a un pequeño espacio, se desplazaba hacia arriba, y, con ello, crecía también la altura de la zona de enfriamiento del clinker, lo que se ve claramente en la fig. 3. En los hornos actuales, el proceso total del secado, calcinación y sinterización suele concluir de 1 m a 1,5 m después de la entrada, y comienza ya el enfriamiento. Naturalmente, a esto hay que añadir también el factor decisivo del tamaño de los gránulos. En general se dice que no tiene demasiada importancia variar el diámetro interior, en tanto pueda realizarse la cocción; también, naturalmente, en los puntos situados en el eje del horno.

En atención al mayor rendimiento y menor consumo de calor y de aire de los hornos verticales actuales, la altura de los mismos debe mantenerse entre 9 y 10 m, para enfriar el clinker a 250° C, e incluso a temperaturas inferiores. No tiene objeto una mayor altura, para conseguir un enfriamiento aún mejor, porque con ello lo único que se hace es elevar la presión y el consumo de fuerza. (Por ejemplo, al aumentar la altura de 10 a 11 m resulta + 100 mm de columna de agua = 5 Kw).

De este modo fué posible elevar la producción específica en toneladas-día/m<sup>3</sup> de volumen interior del horno de la forma siguiente:

1880	0,5
1910	1
1925	1,4 (Pequeña a causa de una altura demasiado grande)
1935	2,5
1950	5,0

La fig. 5 pone de manifiesto esta evolución, siendo - de notar que se consigue una comparación mejor confrontando el tamaño de los gránulos con las toneladas-día/m<sup>2</sup> de superficie - de parrilla, pues se comprobó que el diámetro interior representa un cierto papel. Se han incluido datos correspondientes a hornos de cal. Se ve particularmente bien en este caso, una clara transformación hacia una mejora de los hornos verticales.

b) Estrechamiento del diámetro.

El diámetro interior influye mucho en la concentración de la zona de sinterización. En el proceso de evolución de los hornos verticales de cal y de cemento se han ensayado prácticamente todas las formas interiores posibles: de diámetro pequeño en la parte superior e inferior y mayor en la parte central, o con una zona de cocción estrechada, generalmente en el centro - del horno o hacia la salida. La contracción que tiene lugar en el horno vertical de gran rendimiento a 1 ó 2 m. de la entrada, provocada por el desprendimiento de H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, por pérdidas de combustible y por la sinterización, condujo a una zona de sinterización estrechada (Decluy, La Sucrerie Belge, 1896, p. 55 y horno de Aalborg, 1912), que E. Spohn (2) ha introducido de nuevo hace 15 años en los hornos verticales de gran rendimiento y que se ha generalizado en la actualidad. La primera patente de horno vertical de A. Hauenschild, de 1912, presenta ya un ensanchamiento hacia arriba. Este estrechamiento, o ensanchamiento, es correcto y tiene importancia técnica, pero será secundaria si - no se disponen previamente con la mayor exactitud las condiciones de tiro. Evidentemente, no existe regla alguna de valor general para fijar las secciones, sino que se fijan exclusivamente a partir de consideraciones y experiencias prácticas; dependen

sobre todo del análisis de los crudos, de la capacidad de sinte-rización de los mismos, de la cantidad de agua añadida, del tamaño de los gránulos y de su forma, así como de su plasticidad, de la presión y de la cantidad de aire y, con ello, de la velocidad de cocción, y, fundamentalmente, también del poder calorífico y clase del combustible.

En condiciones óptimas, las dimensiones interiores del estrechamiento decrecen desde 3,3 hasta 2,3 m. para una altura de estrechamiento de 1,0 m.; en condiciones medias, decrecen desde 3,0 hasta 2,4 m. a lo largo de una altura de 1,5 m. Para poder hacer frente a distintas condiciones, al modificarse el crudo o el combustible, se construye el manto de chapa con un diámetro exterior de 3,8 m. en la parte superior y se estrecha a 2,8 m. a una altura de 1,8 m. De este modo, se puede tener cualquier ángulo y cualquier altura variando de un modo adecuado el revestimiento de obra de fábrica. En otro lugar (3), Anselm indica un ulterior desarrollo hacia alturas menores aún, esto es, hacia hornos verticales bajos, con diámetros interiores incluso mayores. Los modernos hornos verticales de cal muestran igualmente el mismo estrechamiento de la zona de calcinación.

La fig. 3 representa la evolución de las dimensiones de los hornos verticales, y pone de manifiesto algo de particular interés: que, referidas a una misma altura, las producciones son también aproximadamente proporcionales a las presiones aplicadas. Junto a otras razones, esto constituye también una explicación de por qué para presiones superiores la zona de sinte-rización se desplaza hacia arriba y se prolonga la zona de enfriamiento. La disminución de las zonas de secado y calcinación no influye en ello de un modo decisivo, pues después de la zona

de sinterización el proceso ya está concluido, y la cantidad de calor entonces disponible basta para secar y calcinar los gránulos, incluso con una altura mínima, no pasando la temperatura de los gases desprendidos de 250°C, frente a 400 a 500°C que se presentaban antes, y esto por una mayor velocidad de los gases y con ello una mejor transmisión del calor.

La fig. 6 representa un horno vertical de gran rendimiento de moderna construcción.

c) Mezcla del combustible y del crudo.

Para conseguir una gran producción, un consumo mínimo de calor, una cocción homogénea y una buena calidad, es absolutamente necesario dosificar exactamente el combustible y el crudo. Por esta razón, no se puede prescindir de dispositivos dosificadores de buen funcionamiento y contrastables. Para este objeto, son particularmente adecuadas las balanzas alimentadoras, mientras que deben evitarse los platos alimentadores. No procede hacer una crítica en particular de cada dispositivo, pues con un buen control y un mantenimiento constante cualquiera de ellos resulta adecuado. Hay que tener presente que el cok da lugar a un mayor desgaste que la antracita. El obrero encargado de la mezcla y de la formación de los nódulos resulta muchas veces más importante para el resultado final que el hornero propiamente dicho. Cada 2 ó 4 horas debe realizarse la determinación del agua contenida en el combustible y, de acuerdo con esto, se ajusta el dispositivo de entrada.

d) Moldeo del crudo.

Después de las dimensiones del horno, la forma y dimensiones que se dan al crudo son de la máxima importancia para la

cocción en un horno vertical. Primeramente, se fabricaban briquetas por medio de prensas, intercalando un tornillo sin fin para mezclar y humedecer el material; después se pasó al empleo de prensas de extrusión con boquillas de 60 a 90 mm. de diámetro, de molinos de ruedas o prensas de rodillos que proporcionan un producto de 25 a 40 mm. de diámetro, y de prensas troqueladoras que producían trozos de 15 a 20 mm. de diámetro por 50 mm. de longitud. El inconveniente fundamental de este tipo de moldeo es que el prensado es demasiado intenso, y el producto obtenido resulta demasiado compacto y presenta una superficie lustrosa y tersa que dificulta la transmisión del calor. Resultaba de aquí un mayor consumo de calor y de energía y una peor calidad. Además, no se tomaba en cuenta que la longitud de los nódulos debe ser igual al diámetro para conseguir una disposición de la carga lo más compacta posible y evitar la formación de llamas vivas.

Las troqueladoras constituyen una excepción, porque en ellas la compresión no es demasiado intensa; sin embargo, al desgastarse la prensa se originan fragmentos adheridos unos sobre otros, con lo que resulta imposible una carga compacta (resultan demasiados huecos).

Los anteriores tipos de moldeo son totalmente independientes de las propiedades aglomerantes del crudo y requieren en el horno una menor presión, pues dan lugar a una disposición poco compacta, pero, como efecto contrario, se origina una cocción rápida.

Por esta razón, Arno Andreas emprendió en 1925 un nuevo camino, una granulación sin moldeo (formación de ovoides), que da lugar a nódulos más porosos y a una disposición en el -

horno relativamente compacta. Resulta un clinker cocido de estructura porosa, que es fácil de triturar en una primera etapa. La granulación tiene lugar en un sencillo tornillo sin fin, en el que se mezcla y humedece el crudo, de 0,8 m. de diámetro y 5 m. de longitud; se opera a 40 revoluciones por minuto, adicionándose de un 12 a un 15% de agua, con lo que se economiza la energía consumida en las prensas. Debe prestarse especial atención a la configuración de las aletas y al número de revoluciones del mencionado tornillo sin fin, así como a la cantidad de agua que se añade. También aquí hubo que limitar la producción porque la estructura porosa daba lugar a demasiados huecos.

Debe tenerse presente que estaba muy generalizada la idea de que es conveniente trabajar con una cantidad de agua lo menor posible, para economizar calor de este modo. Pero esta opinión es errónea, pues después de la zona de calcinación existe siempre calor en exceso y a la temperatura precisa de modo que si se adiciona una menor cantidad de agua se eleva la temperatura de los gases, quedando prácticamente invariable el balance térmico.

Constituyen un avance los tambores de granulación, que giran con una pequeña inclinación y producen gránulos redondeados de 5 a 25 mm. de diámetro, que son un caso intermedio entre los gránulos fuertemente prensados y los pocos compactos. Pero no todos los crudos resultan adecuados para este procedimiento, pues depende de sus propiedades plásticas el que aparezcan rozamientos y se desintegren algunos de los nódulos formados. Por esto, cuando se emplean aparatos especiales que dan lugar a la formación de detritus, se debiera recoger éste en la entrada al horno y volverlo a utilizar en la elaboración de nuevos gránulos.

Un dispositivo reciente (1950) es el plato granulador, que se monta con un ángulo de 35° a 55° (media 45°) y en el que los gránulos ascienden hacia arriba y luego caen rodando. Tiene una gran importancia el diámetro del plato, así como su altura. Si el plato se llena en exceso aparecen gránulos demasiado pequeños, de 1 a 8 mm., y si se llena demasiado poco se originan bolas demasiado gruesas. Se proponen como dimensiones adecuadas:

	<u>Diámetro</u>	<u>Altura</u>
100 toneladas diarias de clinker	2,2 m.	0,55 m.
150 " " "	2,5 m.	0,65 m.
200 " " "	2,8 m.	0,75 m.

Debe montarse un rastrillo y un distribuidor, cuya posición determina el crudo resultante. Para evitar una adherencia demasiado fuerte debe emplearse un revestimiento de chapa de cromo o de cobre.

Los crudos que son bastante plásticos se pueden alimentar directamente al plato, pero siempre es mejor realizar un buen mezclado previo intercalando un tornillo sin fin, y añadiendo en algunos casos una pequeña cantidad de agua. Desgraciadamente, sólo el 20% de los crudos dan lugar a gránulos plásticos. Semejantes gránulos son menos sólidos, pero poseen una superficie más rugosa para el ataque de los gases y condicionan una presión algo mayor.

Cuando se opera con crudos poco plásticos se puede alcanzar una mayor plasticidad y, con ello, una menor formación de detritus, por adición de un líquido que moje el material o por medio de agentes plastificantes, como ácido húmico o ácidos ligninsulfónicos, o por una molienda más fina del crudo, por

ejemplo, hasta un residuo del 5 al 8% en el tamiz 0,09, en lugar de del 10 al 15%, o bien descendiendo el contenido de agua dentro del límite admisible, pero ha de tenerse presente que, al disminuir dicho contenido, se originan gránulos demasiado pequeños, que no son convenientes. Una molienda excesivamente fina (menos del 2% de residuo en el tamiz 0,09) vuelve a hacer disminuir la plasticidad. Se han obtenido los siguientes valores medios para los gránulos:

para un 12% de agua	1 - 15 mm. y
para un 15% de agua	5 - 20 mm.

Por consiguiente, para mejorar la plasticidad, basta con una molienda más fina, lo que, por otra parte, requiere una cantidad de agua algo mayor. Cuando entrana formar parte del crudo molido, como componente, las escorias de alto horno, que propiamente no son plásticas, pueden granularse, como demuestra la experiencia, pero, probablemente, esto viene condicionado por la rugosidad de su superficie.

Algunas fábricas proceden en el moldeo del siguiente modo: primeramente se humedece el combustible con agua y después se espolvorea con crudo molido, de forma que el núcleo de los gránulos está realmente formado por combustible. Este es ciertamente un buen método, pero la película de agua que rodea el combustible, que resulta mayor de este modo, hace que revienten los gránulos cuando se ven sometidos a un secado rápido (quizá sea adecuado cuando se trabaja con un crudo bastante plástico, pero, en la mayoría de los casos, no lo es).

Por otra parte, e insistiremos más tarde sobre este punto, entre la superficie y el núcleo de los gránulos se esta-

blece un gradiente de temperatura de unos 100° aproximadamente, que no se equilibra hasta concluida la sinterización, cuando ya no es posible un acceso de oxígeno al núcleo restante, porque la superficie ya está sinterizada. Por esta razón, en los trozos de combustible algo mayores se encuentran siempre porciones que no han entrado en combustión, es decir, el combustible debería estar mejor distribuido y no encontrarse en el núcleo de los nódulos. Mojando el combustible se obtiene también otro efecto que no se debe menospreciar, y es que con las porciones finas de 0 a 3 mm. se forman gránulos mayores, lo cual, como indicaremos más adelante, hace disminuir el consumo de calor.

Técnicamente, es posible producir gránulos de 1 a 2 mm., como en las cintas de sinterización; sin embargo, en los hornos verticales existe un tamaño mínimo de gránulo, por ejemplo, de 2 a 4 mm., que viene fijado porque entonces los nódulos comienzan a flotar para una determinada presión, de donde resulta una mala transmisión de calor y aparecen condiciones de inestabilidad.

Para obtener gránulos algo menos compactos, resulta adecuado añadir un 2% de serrín cuando se utiliza antracita como combustible; si se emplea cok, no es precisa esta adición, porque ya de suyo es más poroso.

Se puede conseguir también una granulación discontinua, haciendo una dosificación exacta, en una mezcladora Eirich, que tiene una capacidad de 1000 litros, o sea, llena, un peso de 1650 Kg, y un tiempo de carga de 4 a 5 minutos; adicionando de un 11 a un 12% de agua, resulta un tamaño de grano adecuado para los hornos verticales de gran rendimiento.

Actualmente, se están realizando ensayos para producir gránulos en platos horizontales (fuerza centrífuga) con un cono acoplado debajo que también gira o/y vibra.

Es de desear una cierta variedad de tamaños en los gránulos, pues si éstos son de la misma magnitud dan lugar a un volumen de huecos de aproximadamente el 45% en las zonas de secado y calcinación, y con gránulos comprendidos entre 5 y 15 mm., por ejemplo, solamente del 30 al 35%, y de este modo se produce una mayor turbulencia de los gases y con ello una mejor transmisión del calor.

La fig. 7, que es válida para los hornos verticales, pone de manifiesto en qué extensión depende el aire que pasa a través de una capa de material de una determinada altura, de la proporción de granos demasiado finos, para una presión constante. Se desprende claramente de la misma que los nódulos demasiado pequeños (1 a 3 mm) deben retirarse antes de entrar en el horno y moldearse de nuevo. Si la cantidad de agua es suficiente - se debería trabajar más bien en el límite superior que en el inferior - se puede eliminar en su mayor parte la porción fina. Sin embargo, esto no se puede conseguir de un modo total, pues la salida del agua a través de toberas de pequeño diámetro fija ya, de suyo, el tamaño de las gotas (4). Es preciso un dispositivo de dosificación para el agua, por medio de cangilones, que funcione bien; además, cada horno debe tener un dispositivo de granulación adecuado.

e) Dispositivo de alimentación.

Los nódulos deben ir cayendo en el interior del horno - desde una pequeña altura y se distribuyen por medio de un resbaladero giratorio que llega casi hasta la boca del horno. Dicho resbaladero debe girar hacia la derecha y hacia la izquierda y -

debe ser desmontable. Tiene una gran importancia, sobre todo en hornos de pequeña altura, mantenerlos llenos durante un largo tiempo.

f) Parrillas

Para los hornos verticales de gran rendimiento han demostrado ser los mejores los siguientes tipos de parrillas reforzadas: las parrillas giratorias, las parrillas de cuatro rodillos y las parrillas de empuje, cuyas aberturas deben tener el tamaño suficiente para que pueda pasar a su través el clinker triturado. La parrilla sola da lugar a una pérdida de presión de hasta 100 mm.

El árbol central debe tener un espesor mínimo de 250 mm. Las parrillas giratorias deben tener en el centro un cono con vértice excéntrico. Sobre las parrillas se disponen segmentos de desgaste recambiables. El número de revoluciones es de 2 a 6 por hora. La propulsión óptima consiste en un motor conmutador, de polos intercambiables y reversible entre 5000 y 1500 revoluciones. A las parrillas de cuatro rodillos corresponden de 1 a 20 revoluciones por hora.

g) Cierre de esclusas.

Se exigen cierres de triple cubo, con una inclinación del 45 al 50%, herméticos incluso para presiones de hasta 2200 mm. de columna de agua, que eliminen toda posibilidad de que se adhiera el clinker, con superficies protegidas contra el desgaste y exentos de formación de polvo.

La abertura de entrada en la esclusa debe tener en los hornos verticales de gran rendimiento 600 mm de diámetro, a diferencia de los 450 mm que tenía antes. Los cierres suelen fun-

cionar de 2,5 a 4 veces por minuto y deben ser de maniobra hidráulica. Su manejo puede realizarse por medio de un engranaje de paso múltiple o bien se puede regular de un modo continuo desde la plataforma del hornero.

Las profundas investigaciones realizadas han puesto de manifiesto que en las esclusas de aire reside la causa fundamental de un consumo de fuerza demasiado grande, pues, al aumentar la presión, aumentan también las pérdidas de aire hasta exceder del 20%, por no estar aquellas herméticamente cerradas. Se exigen por esta razón superficies completamente herméticas. Se han acreditado como muy adecuadas las cajas divididas en departamentos, que permiten realizar el recambio de los cubos y del soporte de un modo sencillo sin necesidad de desmontar todo el cierre. Además, se deben solapar bien las juntas, a fin de garantizar lo más posible el cierre hermético que ofrecen las superficies. La capacidad de los cubos debe ser un 40% mayor que anteriormente.

(Continuará)

- - -

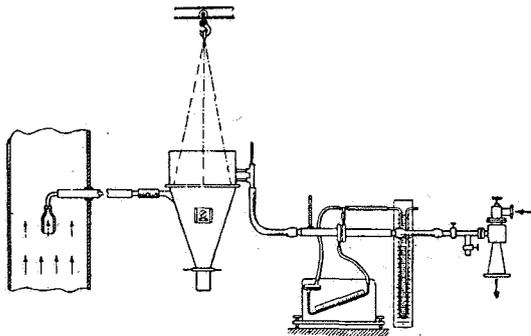


Fig. 1.—Aparato Bewag para la medida del polvo.

	1910	1920	1930	EVOLUCION
PRODUCCION EN TONELADAS DIARIAS	55 - 55	70 - 80	165 - 180	220
KCAL/Kg DE CLINKER	1600 - 1400	1300 - 1200	1100 - 1000	900
AIRE CONSUMIDO CM <sup>3</sup> /MIN	50 - 65	80 - 100	140 - 150	165
PRESION EN MM. DE COLUMNA DE AGUA	100 - 300	500 - 700	1400 - 1000	1600
TEMPERATURA DE LOS GASES DE CALDA	500	400	300	275
TEMPERATURA DEL CLINKER EN °C	450	400	275	25
W. ANSELIN 1931	EVOLUCION DEL HORNO VERTICAL (PARA CEMENTO) a - ZONA DE SINTERIZACION			

Fig. 3.

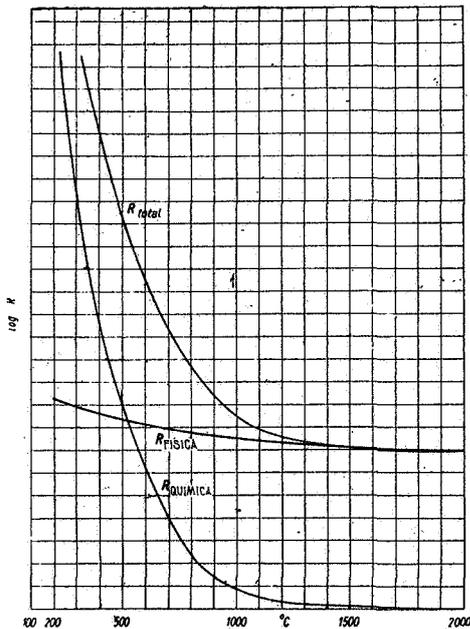
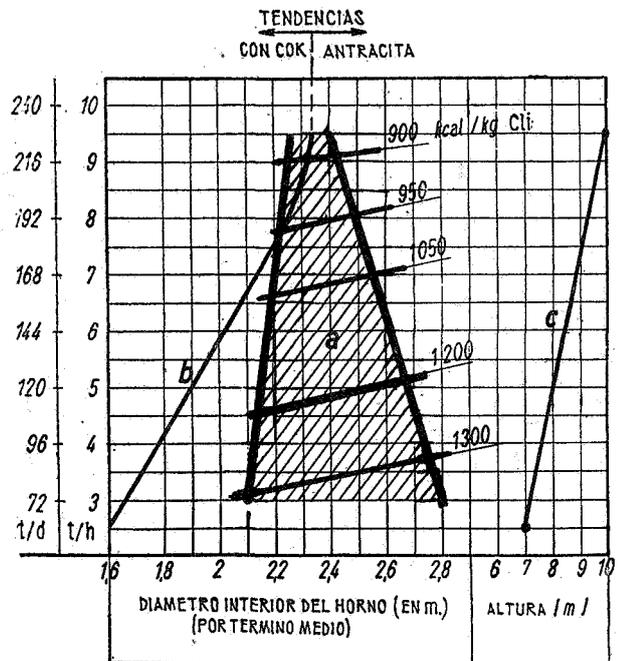


Fig. 2.—Resistencia física, química y total a la reacción (según W. Gumz).



a) DIAMETRO INTERIOR (HASTA AHORA)  
 b) " " (EN EL FUTURO)  
 c) ALTURA " " ) PARA 1000 Kcal/Kg Clt

Fig. 4.

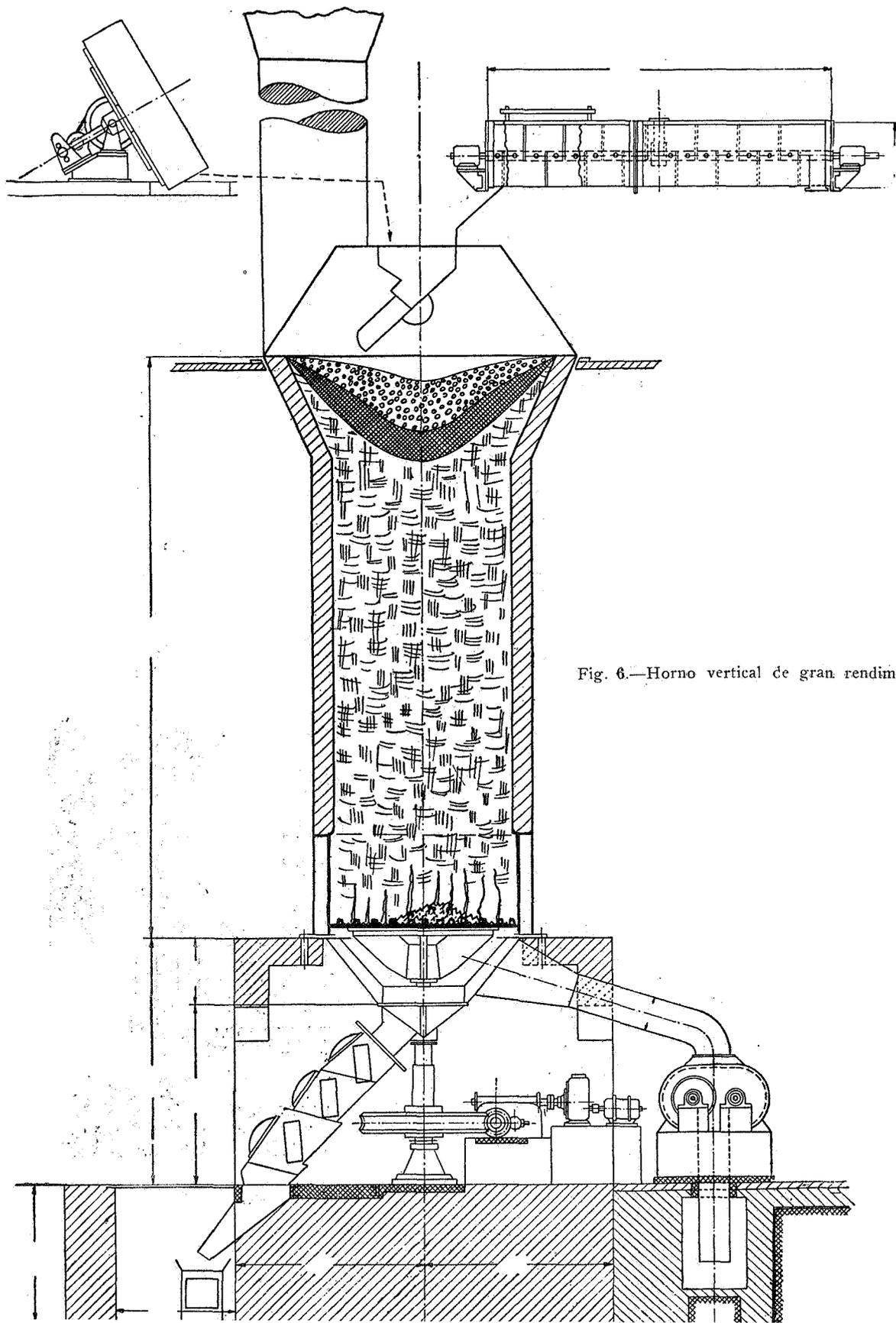


Fig. 6.—Horno vertical de gran rendimiento.

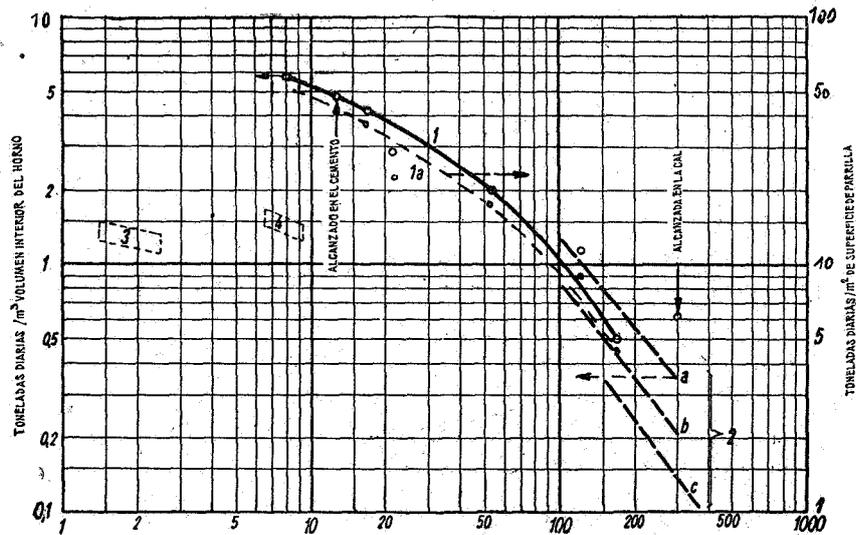


Fig. 5.—Producción específica de clinker (o cal viva) en función del tamaño de los gránulos en hornos verticales; 1, cocción del cemento, tamaño de los gránulos en mm. (grano medio), toneladas diarias/m<sup>3</sup>; 1a, cocción del cemento, tamaño de los gránulos en mm. (grano medio), toneladas diarias/m<sup>2</sup>; 2, cocción de cal, tamaño de la piedra caliza en mm. (grano máximo) toneladas diarias/m<sup>3</sup>; a, tiro fuerte; b, tiro suave; c, tiro natural; 3, cocción del cemento, cinta de sinterización, solamente en redimiento de clinker, toneladas diarias/m<sup>2</sup>; 4, material crudo, secado y parcialmente calcinado, parr.lla Lepol, toneladas diarias/m<sup>2</sup>.

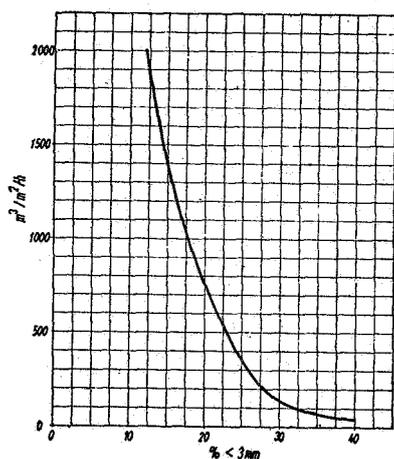


Fig. 7.—Cantidad relativa de aire que pasa a través de un lecho de gránulos para distintas fracciones finas, a presión constante.

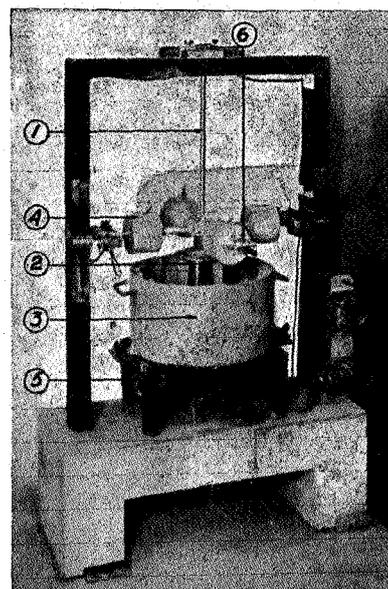


Fig. 8.—Aparato para la medida de la deformabilidad.