

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618-25 EL HORNO VERTICAL (Continuación)

(Der Schachtofen)

Wilhelm Anselm

- - -

h) Inyectores de aire.

Se ha comprobado que es preciso 1 Kg de aire por Kg de crudo, o 1,5 Kg por Kg de clinker, resultando necesario prestar una gran atención a la cantidad, modo de suministro y control de dicho aire.

Los dispositivos que se emplean son los turboinyectores y los inyectores de pistón giratorio. La diferencia fundamental reside en que, en los turboinyectores, se eleva la presión al aumentar la resistencia, y resulta difícil mantener el rendimiento inicial. En los inyectores de pistón giratorio la cantidad de aire introducida depende exclusivamente del número de revoluciones, y no de la presión, con lo que el rendimiento permanece constante incluso a presiones elevadas. Además, el rendimiento de estos últimos es del 75%, en comparación con el de los antiguos turboinyectores, que es sólo del 60%. La Tabla 2 indica cómo pueden modificarse las condiciones de trabajo:

Tabla II

Rendimiento y consumo de fuerza de los inyectores

Turboinyectores	200 m ³ /min.	1600 mm.	97 Kw, n = 2800
	110 m ³ /min.	1800 mm.	72 Kw, n = 2800
Inyectores de pistón giratorio	200 m ³ /min.	1600 mm.	75 Kw, n = 560
	197 m ³ /min.	1800 mm.	84 Kw, n = 560

El número de revoluciones de los inyectores de pistón se encuentra entre 600 y 700, y, en los de tipo Root, entre 400 y 500. La fig. 2 compara los turboinyectores y los inyectores de pistón giratorio.

Ahora bien, recientemente han aparecido en el mercado turboinyectores que funcionan con un rendimiento del 75%, sobre todo los que poseen paletas curvadas hacia detrás o hacia adelante. Montando estos inyectores de un modo adecuado nos podemos mover a lo largo de curvas características favorables para el horno vertical. Como, por otra parte, su precio es inferior, resulta rentable instalar un acoplamiento hidráulico y ajustar el número de revoluciones a la cantidad de aire que se desee producir. Del montaje correcto del inyector dependen la producción y el consumo de calor y de fuerza, sobre todo cuando se trabaja con carbones de mala calidad.

Se debe prestar una atención especialísima a la regulación del número de revoluciones; tiene lugar la misma por medio de un motor regulador de transmisión por anillo de rozamiento o por correa trapezoidal. La regulación por medio de válvulas de estrangulación instaladas en la tubería de succión dan mal resultado. Igualmente, debe desecharse la regulación permitiendo que el aire en exceso escape al exterior. Debe procurarse que las conducciones sean cortas y lisas, porque para una velocidad del aire de 18 a 22 m/seg. aparece una resistencia elevada. La introducción de un diafragma para la medida de la cantidad de aire está sujeta también a una pérdida de carga de 20 a 100 mm de columna de agua, según el diámetro del diafragma. La fig. 3 indica las pérdidas de presión producidas por diafragmas de distintos diámetros.

La resistencia que opone el horno puede considerarse como una constante K, que es función de muchos factores, por ejemplo:

- a) Características de la carga, como son distribución granulométrica, forma y configuración superficial de los nódulos, y volumen de huecos.
- b) Velocidad, temperatura ($K = T^{-0,7}$), presión y composición del aire o de los gases.
- c) Humedad, plasticidad, capacidad de aglomeración de los nódulos y finura del crudo molido.
- d) Combustible, contenido en volátiles, granulometría, poder calorífico y cenizas.
- e) Altura del horno, influencia de las paredes, sección del horno y tipo de parrilla.

El coeficiente de resistencia K (5), viene expresado por:

$K = \frac{V}{\sqrt{h}}$; donde V viene dado en m³/min y h, pérdida de carga, en mm. de columna de agua; de aquí resulta que

$$h = \left(\frac{V}{K} \right)^2$$

La fig. 4 pone de manifiesto, para distintos valores del consumo de calor (6), cómo dependen de la constante K la producción del horno, la cantidad de aire y el consumo de fuerza, siendo de notar que, en este caso, se ha fijado el rendimiento del inyector en el 60%. Por consiguiente, el factor K resulta exclusivamente de la medición de la cantidad de aire realmen

te aspirada por el horno y de la presión del tiro. Como directriz de valor general puede considerarse que, a igualdad de las restantes condiciones, al duplicar la producción, aparecen las modificaciones que indica la Tabla 3:

Tabla III

Relaciones entre producción del horno, cantidad de aire, presión y consumo de fuerza

Producción	Cantidad de aire - Velocidad del aire	Presión	Energía
2	2	4	8
75 Tm/día	77 m ³ /min.	400 mm C.A.	11 Kw
150 Tm/día	154 m ³ /min.	1600 mm C.A.	90 Kw

Esto se cumple igualmente para el régimen turbulento.

Habida cuenta de las modificaciones que han tenido lugar en el tamaño de los nódulos desde 1910 hasta la fecha, resultan para K los siguientes valores medios:

<u>Tamaño de los nódulos</u>	<u>Presión</u>	
110 - 130 mm	150 - 250 mm	K = 2,5 - 2,8
50 - 75 mm	1000 - 1300 mm	K = 2,8 - 3,2
15 - 25 mm	1300 - 1800 mm	K = 3,6 - 4,0

Puede afirmarse en general que, para nódulos grandes, - de 100 a 200 mm, por ejemplo, la presión que hay que aplicar aumenta 2,5 veces (hornos verticales de cal), al aumentar de 1 a 2 la cantidad de aire, y 4 veces cuando se opera con nódulos de 10mm de diámetro.

Se desprende de aquí que las anteriores consideraciones tienen carácter general, tanto más cuanto que ha variado el tamaño de los nódulos y el volumen de huecos.

Debe tenerse en cuenta que, solamente por la resistencia que ofrecen las conducciones por causa de los diafragmas y de la parrilla, se pierde del 3 al 5% de la presión total y de la energía que se consume.

La fig. 5 indica, para distintas producciones, la presión de tiro, la cantidad de aire necesaria, considerando y sin considerar las pérdidas, y el consumo de energía en Kw (incluidas las pérdidas) en un horno vertical de 2,5 x 8 m, cuando se emplean turboinyectores con un rendimiento total entre inyector y motor del 50% o inyectores de pistón giratorio de un rendimiento del 68%. Las cifras dadas para el consumo de calor corresponden también aproximadamente a los rendimientos alcanzados. queda de manifiesto que, inicialmente, se trabajaba con presiones relativamente pequeñas.

La magnitud de los nódulos influye mucho sobre la resistencia que opone el horno. Desgraciadamente, hasta la fecha no se conocía el tipo de dependencia en el horno vertical de cemento; más tarde se insistirá sobre este punto. Pero los ensayos de Ramsin y Bansen (7), cuyos resultados vienen dados en la fig. 6, ponen de manifiesto cuán diverso es el influjo que ejerce el tamaño de los gránulos. Los valores que se dan son válidos para cok y aire frío y se desprende de los mismos que la resistencia que opone el horno es pequeña cuando el cok es de grano grueso; el aumento de la resistencia desde 40 ó 50 mm en adelante es pequeño, pero por debajo de 30 mm se observa un gran aumento de la misma. Estas curvas sólo pueden servirnos de pun-

to de referencia; hay que tener en cuenta que en ellas se han re presentado pequeños tamaños de grano por debajo de 20 mm, con lo que las curvas crecen fuertemente. Pero son función del volumen de huecos, que varía por influjo de la sinterización.

A partir de consideraciones sobre el consumo de calor resultó que la figura 7 coincide bien con lo que sucede en la práctica. Se desprende de ella que, para un horno vertical determinado, es más fácil que sea grande el rendimiento del inyector, que demasiado pequeño. Pero hay que tener presente que existe - una diferencia grande entre economizar combustible y economizar energía, pues actualmente un ahorro de 100 Kcal corresponde a - 0,70 DM/Tm de clinker, mientras que 5 Kwh suponen 0,30 DM/Tm de clinker, de modo que, según esto, se debe tender más bien a realizar economías en el combustible y resignarse a un mayor consumo de energía.

Debiera prestarse una mayor atención al control del va lor de K, porque esta constante refleja cualquier modificación, sea debida al crudo, a los nódulos o a las condiciones del tiro. Pero, sobre todo, deben evitarse en lo sucesivo estrechamientos, codos y curvaturas en las conducciones, y la velocidad del aire en éstas no debiera exceder de 18 m/seg. Cada horno debe poseer su inyector propio, que debe ser accionado directamente, sin uti lizar una transmisión por correas trapezoidales ($\eta = 96$) o por correas ordinarias ($\eta = 90$) y regulable de un modo continuo. En los inyectores de pistón giratorio debe filtrarse el aire, y por el ruido a que dan lugar deben instalarse estos inyectores - en un local adecuado.

Como la producción depende fundamentalmente de la cantidad de aire inyectada en el horno, V, en m³/min, y del consumo

de calor, W, en Kcal/Kg de clinker, resulta aquella, D, en toneladas diarias, con suficiente aproximación:

$$D = \frac{1190 V}{W}$$

En los hornos verticales debe quedar asegurado un acceso de aire suficiente para los procesos de calcinación y sinterización, cosa que faltaba en los antiguos hornos, de modo que lo corriente era una cocción débil. Los nuevos modelos, con un acceso de aire suficiente para alcanzar la temperatura de sinterización de 1450° C a la velocidad máxima de cocción = intensidad de la formación de clinker, demuestran que puede evitarse una cocción débil en los hornos verticales. La característica más importante de los hornos verticales modernos es la consecución de la temperatura de sinterización necesaria.

También debe decirse aquí que nunca se puede inyectar demasiado aire, pues nunca se encontró O₂ en los gases desprendidos, ni aún en medidas de precisión. Si se inyecta más aire a una presión suficiente, lo que sucede es que la zona de sinterización se comprime y se hace más estrecha, resultando una cocción más rápida.

En la fig. 8 se puede leer directamente la energía que precisan los inyectores para distintas temperaturas, presiones y rendimientos. Hay que prestar atención a la elección correcta del inyector; en general se escogen demasiado grandes.

i) Eyectores y eliminación del polvo.

Para producciones grandes de 160-200 toneladas diarias se hace necesario extraer los gases junto a la boca del horno. -

Para ello basta un turboinyector de 16-20 Kw, con $n = 1000$ y 50-70 mm de columna de agua, con lo cual se evita también una chimenea elevada. También han demostrado ser adecuados los eyectores de tobera, que trabajan a una presión de 300 a 400 mm de columna de agua. Debe prestarse una especial atención a la velocidad de los gases junto a la chimenea; por esta razón, se prolonga ésta hacia arriba. Si se monta un separador de polvo, hay que contar con 100 a 150 mm de columna de agua, y el correspondiente aumento en el consumo de fuerza.

En general, en los hornos verticales, se presenta un polvo grueso que puede eliminarse por medio de ciclones sencillos. La producción de polvo es menor que en los hornos rotativos. En los hornos verticales no hay que eliminar el penacho de humo debido a los vapores alcalinos. Sólo conocemos un caso de eliminación eléctrica del polvo en hornos verticales. La fábrica en cuestión se encuentra enclavada en una zona de hermosos paisajes, y, por esta razón, se vió obligada a adoptar la medida mencionada. La eliminación eléctrica mantiene en un 15-25% la cantidad de álcalis en los polvos, que se venden para ser empleados como abono. De hecho, apenas se ve penacho de humo, ni vapores alcalinos.

El polvo procedente de la zona de enfriamiento queda retenido en la zona de sinterización. Por consiguiente, el polvo solamente puede originarse en las zonas marginales (partículas de clinker) o en el primer tercio de los bordes del crudo molido y parcialmente calcinado. A pesar de que en la boca de los modernos hornos verticales de gran rendimiento la velocidad de los gases es relativamente mayor, no ha aumentado por ello la producción de polvo.

Ahora bien, debe tenerse presente que el ensanchamiento de la boca del horno tiene como consecuencia el que la velocidad de los gases descienda a 1,8 m/seg; si no, la velocidad sería de 5,1, y la producción de polvo sería mayor. La medida mencionada tiene así, pues, otra ventaja.

k) Revestimiento.

Para los 3 primeros metros a partir de la entrada, resultan particularmente convenientes bloques extraaluminosos, con un 65-70% de Al_2O_3 , como Seger 38, $\gamma = 2,4$, con una temperatura de fusión de aproximadamente 1850° C y un espesor de 100-150 mm, pero que, por causa del desgaste, se eleva hasta 200 mm. No dan lugar a la formación de adherencias y proporcionan un forro francamente estable, hasta cuando se trabaja con nódulos húmedos.

Los bloques de magnesita, $\gamma = 2,9$, se comportan bien únicamente cuando no han de estar en contacto con gránulos húmedos y, por esta razón, su colocación debe comenzar de 0,6 a 1 m después de la entrada y extenderse a lo largo de 2 ó 3 m. El espesor de los bloques debe ser únicamente de 75 a 100 mm, por el peligro de que se produzcan desprendimientos. Su durabilidad viene a ser de 6 a 24 meses.

Recientemente se han acreditado como adecuados los bloques extrabásicos a base de dióxido de titanio, prensados en frío, que tienen la ventaja de oponerse a la formación de adherencias. Además, estos bloques están exentos del peligro de hidratación (gránulos húmedos) y, por esta razón, pueden colocarse desde la misma boca del horno, como los ladrillos de chamota.

La formación de adherencias se reduce mezclando de modo homogéneo el crudo (cuya composición no debe presentar fluctuaciones de consideración) con el combustible, que debe ser pobre en cenizas. También es conveniente que el revestimiento sea completamente liso, a fin de evitar la formación de "pegados". Puede montarse un aislamiento en los 3 primeros metros de la zona de sinterización, pero ya no es necesaria, porque en los modernos hornos verticales de gran rendimiento la radiación es menor. A continuación se colocan bloques ricos en corindón, resistentes al desgaste, o ladrillos de chamota sinterizada, con una menor resistencia al desgaste. La fig. 9 representa la marcha de las temperaturas medidas en el manto de un horno vertical moderno de gran rendimiento, en comparación con un horno vertical antiguo; se desprende de la misma que las pérdidas por radiación son ahora mucho menores. Quizá se utilicen eventualmente en el futuro mantos de chapa refrigerados por agua en la zona de enfriamiento. En la salida se montan placas resistentes al desgaste a lo largo de 1,5 m, por debajo del revestimiento.

1) Aparatos de medida.

Los modernos hornos verticales de gran rendimiento son de una gran sensibilidad frente a toda clase de fluctuaciones, por lo que deben conducirse exclusivamente por medio de instrumentos. Se precisa un aparato registrador para la medida de la cantidad de aire, manómetros, un aparato que indique la velocidad en la parrilla, aparatos para la determinación del CO_2 y del CO , un termómetro para la determinación de la temperatura en los gases desprendidos y un vatímetro para el inyector; a veces también se mide la temperatura del clinker a la salida. Estos ins

trumentos se amortizan en un tiempo mínimo. La medida exclusiva de la presión no proporciona información alguna sobre la producción, indica únicamente la regularidad de la marcha. Es conveniente llevar un balance diario de la cantidad de aire por medio de un aparato registrador.

II. Combustible

Para conseguir concentrar la zona de sinterización y, con ello, una producción máxima con un consumo mínimo de calor, es preciso emplear un combustible de alta calidad, si bien es menes ter tener siempre en cuenta los precios y las posibilidades de su ministro. Los análisis medios de los tipos de carbón empleados, en el estado en que son suministrados y para una granulometría de 0 a 10 mm, deben ajustarse aproximadamente a los datos de la Tabla 4:

Tabla IV

Composición óptima de los combustibles

	Poder calorífico	Volátiles %	Cenizas %	Agua %
Antracita	7200 - 7000 - 6800	3 - 7	8 - 12	6 - 8
Cok natural	6600 - 6000 - 5500	1 - 3	7 - 14	9 - 15
Cok artificial	6200 - 5600 - 5100	2 - 4	11 - 14	10 - 20

Es preferible un cok de peso aparente bajo; suele ser éste de 580-650-770 Kg/m³ para un 12,5% de agua.

El cok obtenido por destilación a partir de lignito o hulla contiene en general un 10% de volátiles y una gran cantidad

de cenizas y agua, por lo que no debe emplearse, aunque el cok - obtenido por destilación de la hulla posee una mayor reactividad que el cok metalúrgico.

El poder calorífico del combustible (6) tiene una importancia decisiva y solo podrán conseguirse altos rendimientos empleando combustibles de elevada calidad, como indica la Tabla 5.

Tabla V

Calidad del combustible, producción y consumo de calor

Poder calorífico	Toneladas diarias	Consumo de calor
7000	180 = 1	1
6500	170 = 0,95	1,07
6000	158 = 0,88	1,17
5500	144 = 0,80	1,28
5000	122 = 0,68	1,42

Otra característica importante del combustible es el contenido en volátiles. Cualquier proporción de gases que exista se pierde siempre, porque la temperatura precisa para el desprendimiento de los mismos se alcanza antes de la zona de sinterización. Por esta razón, debe tenderse a un contenido de volátiles tan bajo como sea posible. En el cok natural es de 1-3%, en el cok de fábrica de 2-4% y en la antracita de 3-7%. Las hullas, incluso las magras, no son adecuadas por su contenido en volátiles demasiado alto, y por otra parte, por la diferencia de precio que suponen. En realidad, el cok contiene una menor proporción -

en volátiles que la antracita, pero, en general, el poder calorífico de aquel resulta demasiado bajo a causa de su elevado contenido en cenizas. Por lo tanto, para mantener o elevar la producción, deben emplearse menudos de antracita de alta calidad, aunque resulten más caros. Se trabaja en condiciones óptimas con antracita y un 30% de cok. Cuando no importa el rendimiento, se emplea cok natural o artificial. Cuando las minas se encuentran a una gran distancia, el combustible de mejor calidad, resulta ser siempre el más barato a causa de los gastos de transporte. Sin embargo, en el caso del cok, hay que contar siempre con unas mayores pérdidas por abrasión en las vagonetas, tornillos sin fin y cintas transportadoras.

Suponiendo en la antracita un 7% de volátiles y un poder calorífico de 7000, y en el cok natural un 3% y 6000, respectivamente, resulta para la antracita un poder calorífico de 6840 en lugar de 7000, al tener en cuenta el 4% de volátiles que contiene en exceso. Pueden verse al mismo tiempo en esta comparación las pérdidas a que dan lugar los volátiles y que sólo están justificadas en combustibles de alta calidad.

El contenido en agua del combustible no debe exceder del 10%.

Igualmente, el contenido en cenizas debe mantenerse también por debajo del 10%. Un exceso de cenizas da lugar a una estructura celular completamente obstruida, análoga a la que aparece en los altos hornos. Puede tomarse como regla de valor general que, un aumento de un 1% en las cenizas, hace descender el poder calorífico y el rendimiento térmico del combustible en el 1% aproximadamente. En lo que respecta a la composición de los crudos, hay que aumentar la proporción de CaCO_3 en el 0,4% apro-

ximadamente por cada 5% de incremento en el contenido de cenizas; análogamente, el consumo de carbón, referido al crudo molido, se eleva en el 1% y, referido al clinker, en el 0,65%, y la relación Kg de crudo molido/Kg de clinker desciende en el 1% aproximada - mente.

El tamaño de grano del combustible influye también mucho sobre el proceso de cocción. Los trozos grandes por encima - de 10 mm deben triturarse por medio de quebrantadoras de rodillos. Es opinión corriente que el combustible debe molerse hasta la misma finura que el crudo, y antiguamente se procedía con frecuencia de este modo. A este respecto, Koch (8) realizó unos profundos estudios, que he comprobado yo posteriormente. En la fig. 10 se indican los resultados de ambas investigaciones. La media de estos resultados pone de manifiesto, con una concordancia suficientemente precisa, que existe una clara dependencia entre las - pérdidas de CO, determinadas por análisis de Orsat, y la granulometría del combustible; eliminando por tamizado la fracción de - finos hasta 4 mm, se encontró que las pérdidas de CO disminuían fuertemente. Gumz (1), pág. 325-26, indica también que, en hogares de parrilla móvil, los tamaños de grano de 0 a 3 mm y de 0 a 6 mm dan mal resultado, mientras que resultan óptimos los comprendidos entre 3-6 y 4-8 mm. En los Estados Unidos se consideran - también como los tamaños más favorables los de 2,4-4,8 y 4,8-9,5. Es posible que incluso se llegue a moldear los finos en un aparato apropiado para obtener gránulos de combustible mayores y añadirlos de nuevo a la mezcla, como ya se hace en parte al humedecer los menudos antes de la granulación. Estas porciones finas - de 0 a 2 mm (que suponen el 40-50% de la fracción de 0 a 10 mm) poseen una superficie excesivamente grande y, por esta razón, ar

den antes de llegar a la zona de sinterización. Su contenido calorífico no se aprovecha totalmente donde es preciso y, en su mayor parte, se pierde a efectos del proceso de sinterización. Por esta razón, en el futuro se deberá prestar la máxima atención a la determinación del tamaño de grano óptimo en los combustibles.

Antes de la granulación debe realizarse una separación por tamizado de la fracción fina del combustible; el dispositivo preciso para ello se amortiza en pocos meses en virtud de las economías térmicas que de este modo se consiguen. La técnica se encuentra tan avanzada actualmente que, incluso los menudos húmedos de 0-10 mm pueden separarse perfectamente en fracciones de 0-3 y 3-10 mm por medio de tamices calentados eléctricamente a 35-40° C. (El procedimiento ha sido desarrollado en Francia por Burstlein, Sociéte des Acieres de Longwy, y en Alemania por Lurgi, de Francfort).

En la fig. 10 se da el contenido de CO en función de d' = tamaño de grano medio, en la red granulométrica; los valores dados por Koch hubieron de ser transformados a este efecto. Otra confirmación de lo que venimos afirmando se desprende de una comunicación de la Sección de Termología de la Asociación Siderúrgica Alemana (9) sobre experiencias realizadas en un generador de parrilla giratoria, variando la proporción de menudos en el cok de fábrica empleado (fig. 11). Hay que tener presente, además, que el H₂ contenido en el combustible también se volatiliza, al menos en gran parte. Por esta razón, resulta necesario controlar las pérdidas de H₂.

Las pérdidas ocasionadas por el CO, expresadas en % del calor consumido son las siguientes:

En una combustión normal del
carbón

En el análisis de los gases des-
prendidos - Hornos de cemento

1% CO = 3,5%	= 5%
3% CO = 10%	= 15%
6% CO = 20%	= 30%

A través de minuciosos cálculos y estudios (3) he encontrado que, en hornos verticales de 7 a 9 m de altura, a un tamaño medio de los nódulos de 2, corresponde un tamaño máximo de grano en el combustible de 1, cuando se utilizan menudos de cok. En una figura que se inserta más adelante, se da el tamaño máximo y mínimo de grano del combustible, en función de la altura de la zona de reacción y de la magnitud granulométrica del material de alimentación. Si se utilizan menudos de antracita, puede disminuirse algo el tamaño de grano del combustible; por ejemplo, en lugar de 3-10 mm se toma en este caso 2-6 mm. El control del tamaño de grano del combustible tiene especial importancia para eliminar rendimientos pobres y consumos excesivos de calor.

La temperatura de inflamación en el proceso que tiene lugar en los hornos verticales, cuando se emplean nódulos, corresponde aproximadamente a los valores de la Tabla 6:

Tabla VI

Temperaturas de inflamación de los combustibles

Menudos de cok natural	1000°C	(640 - 700°C)
Menudos de cok artificial	900°C	(500 - 540°C)
Antracita fina	800°C	(460 - 470°C)
Hulla magra fina	700°C	(380 - 400°C)
(*) Normalmente, sin recubrir el combustible de crudo		

Se desprende de aquí claramente que el combustible debe poseer una temperatura de inflamación lo más elevada posible, para poder conseguir un desprendimiento concentrado de calor, es decir, una zona de sinterización corta. La fig. 12, dada por Gumz (10), nos dá la temperatura en la superficie de las partículas de cok, calentadas por gas en contacto directo con las mismas, en función del tamaño de grano.

En unos ensayos de orientación ha resultado que, incluyendo en la superficie de la antracita y de la hulla sustancias portadoras de oxígeno, se mejora la capacidad de combustión en un 50-100%. Sin embargo, esto no sucedía en el caso del cok. Quizá lleguemos con el tiempo a conseguir mejorar las condiciones de combustión a través de medidas de este tipo.

(Continuará)

- - -

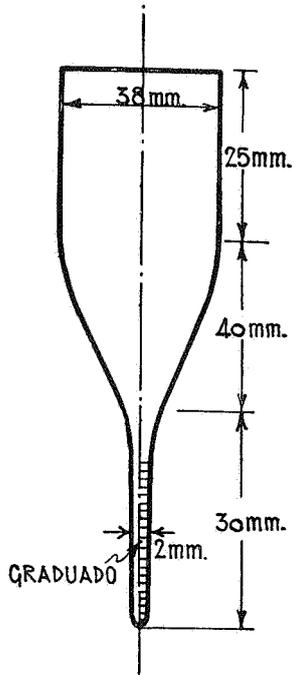


Fig. 1.

Fig. 2.—Características de inyectores.

Fig. 4.—Relación entre producción, consumo específico de calor, cantidad de aire, presión estática, consumo de energía del inyector y la constante K, a 20° C. y $n = 1,1$. Hornos verticales para cemento, cal, dolomita y magnesita.

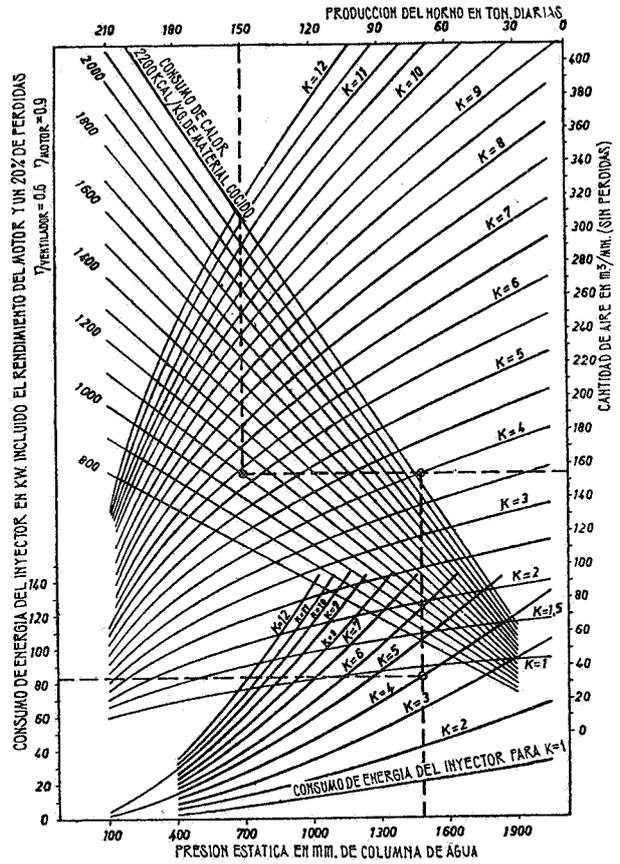


Fig. 4.

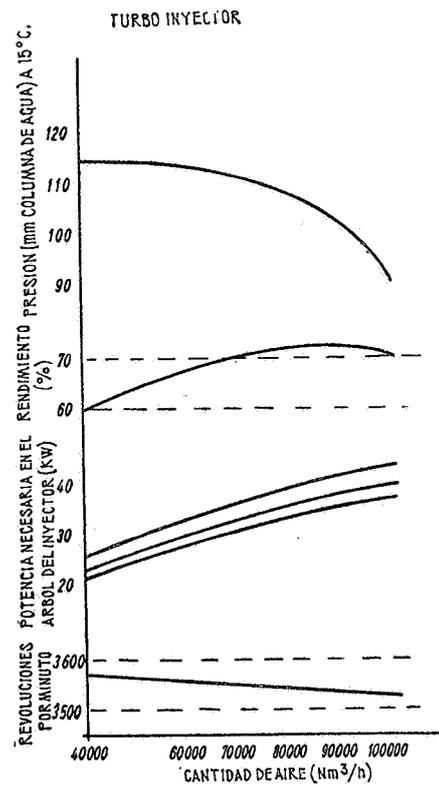
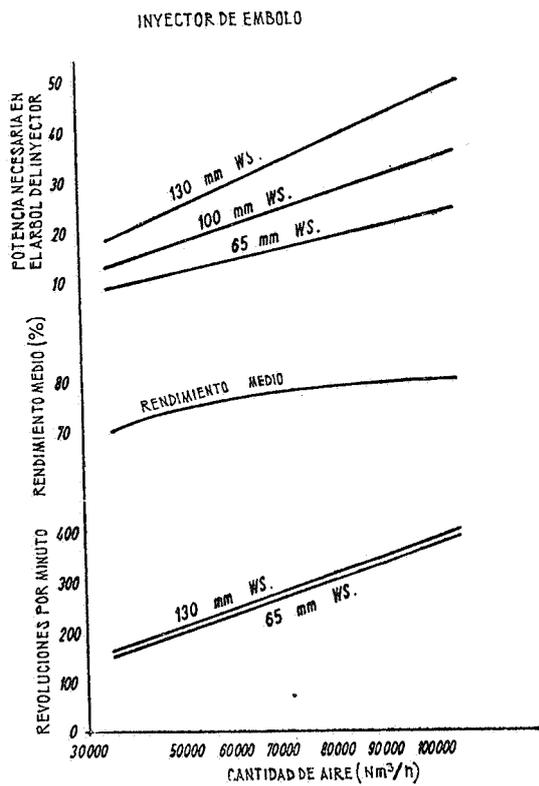


Fig. 2.

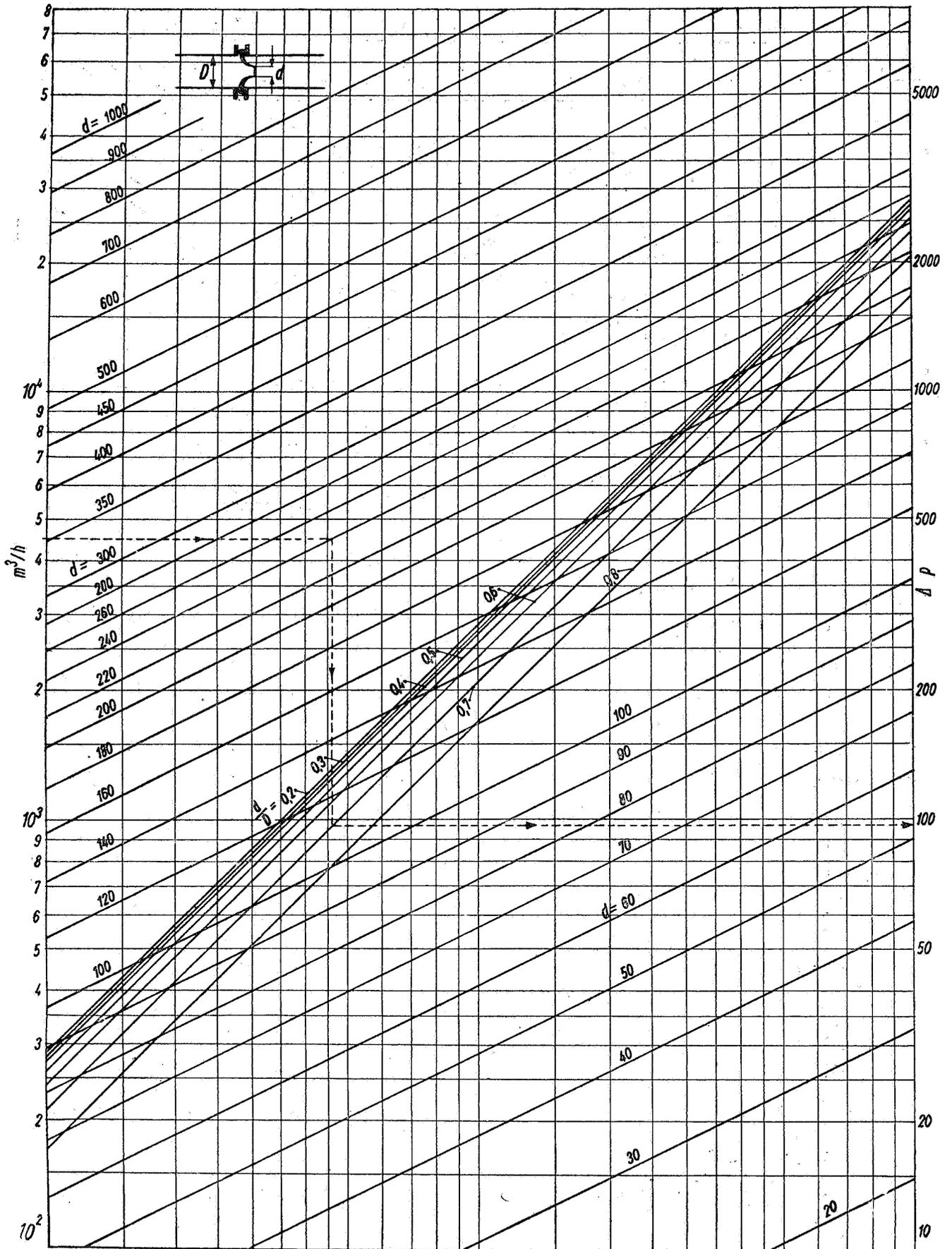


Fig. 3.—Pérdida de carga Δp (en mm. de columna de agua) en un diafragma, en función de la relación $\sqrt{m} = \frac{d}{D}$

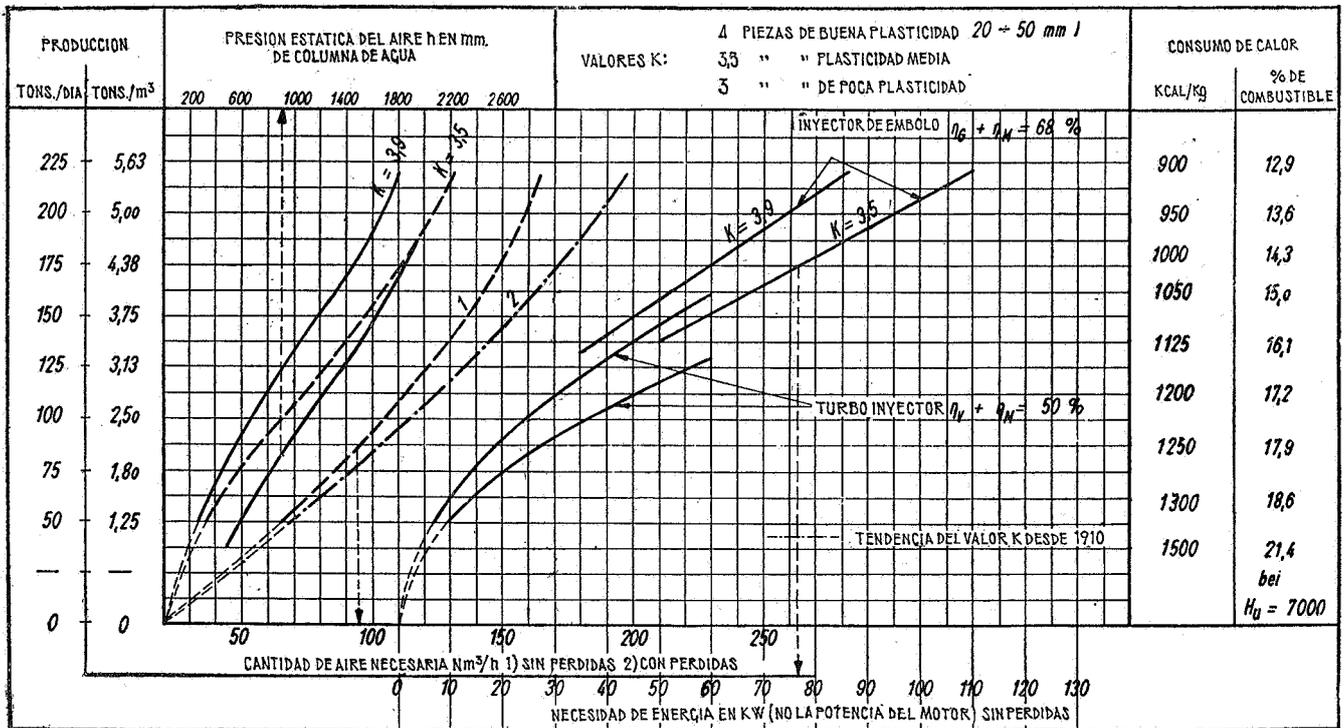


Fig 5.

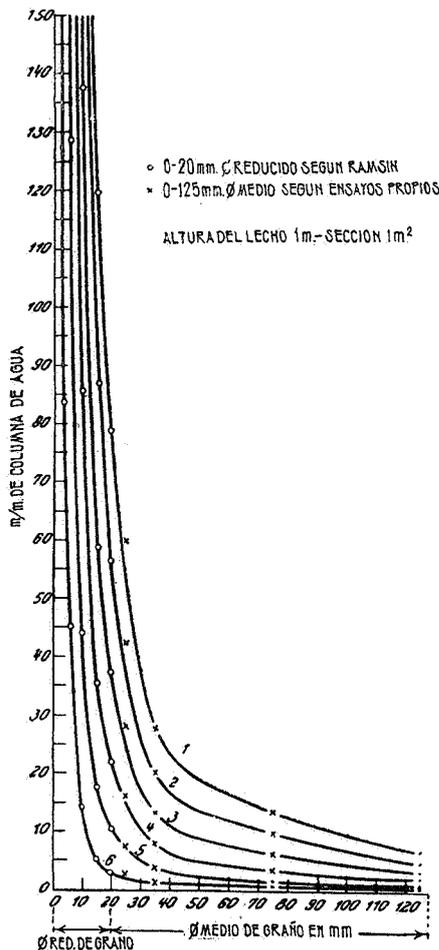


Fig 6.

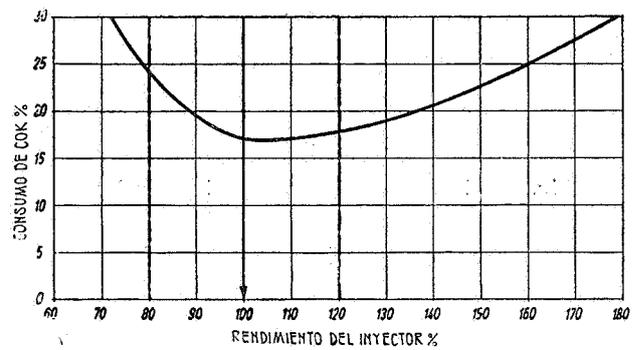


Fig. 7.

Fig. 5.—Presión y cantidad necesaria de aire, sin y con pérdidas, y consumo de energía en un horno vertical de cemento de 2,5 × 8,5 m. = 40 m³ de volumen interior.

Fig. 6.—Resistencia de un lecho de material (según Ramsin y Bansen): Curva 1, 3.000 m³/h.; curva 2, 2.500 m³/h.; curva 3, 2.000 m³/h.; curva 4, 1.500 m³/h.; curva 5, 1.000 m³/h.; curva 6, 500 m³/h.

Fig. 7.—Influencia del rendimiento del inyector sobre el consumo de combustible en un horno vertical.

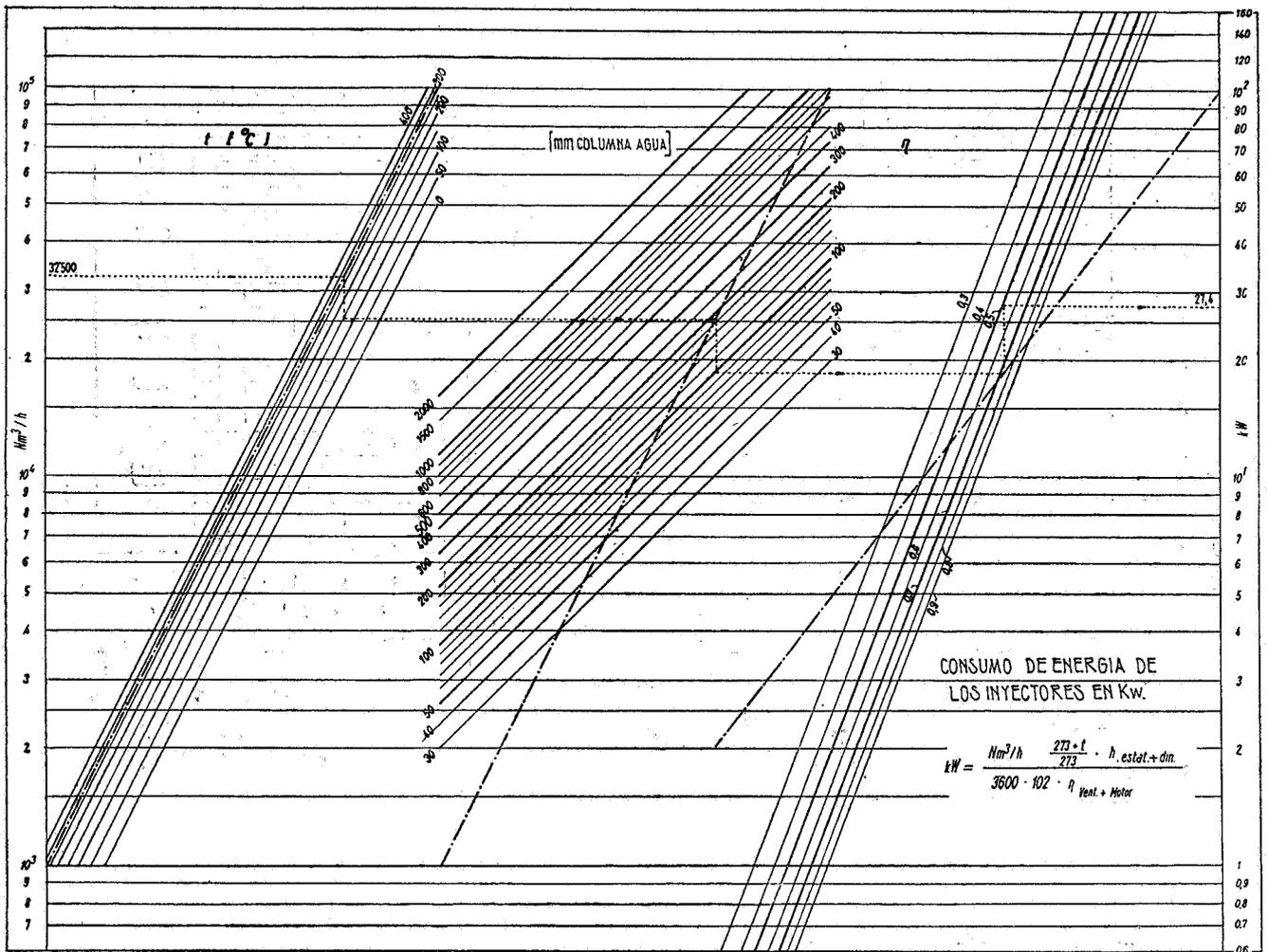


Fig. 8.—Energía (en Kw.) requerida por los inyectores, para diversas temperaturas, presiones y rendimientos.

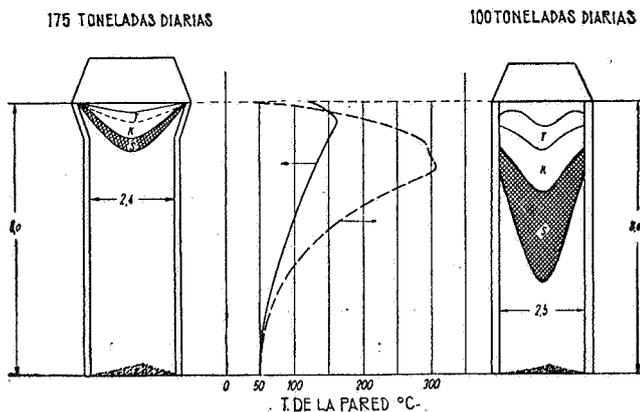


Fig. 9.—Temperaturas del manto de chapa del horno vertical: Espesor del revestimiento, 140 mm.; relleno de arena, 50 mm.; espesor de la chapa, 15 mm. Espesor del revestimiento, 180 mm.; relleno de arena, 50 mm.; espesor de la chapa, 15 mm. T = zona de secado. K = zona de calcinación. S = zona de sinterización.

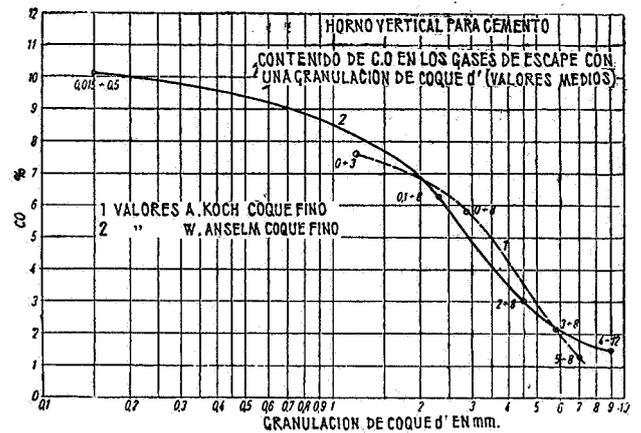


Fig. 10.—Contenido de CO en los gases de escape, en función del tamaño medio de grano del cok. (Según A. Koch y W. Anselm.)

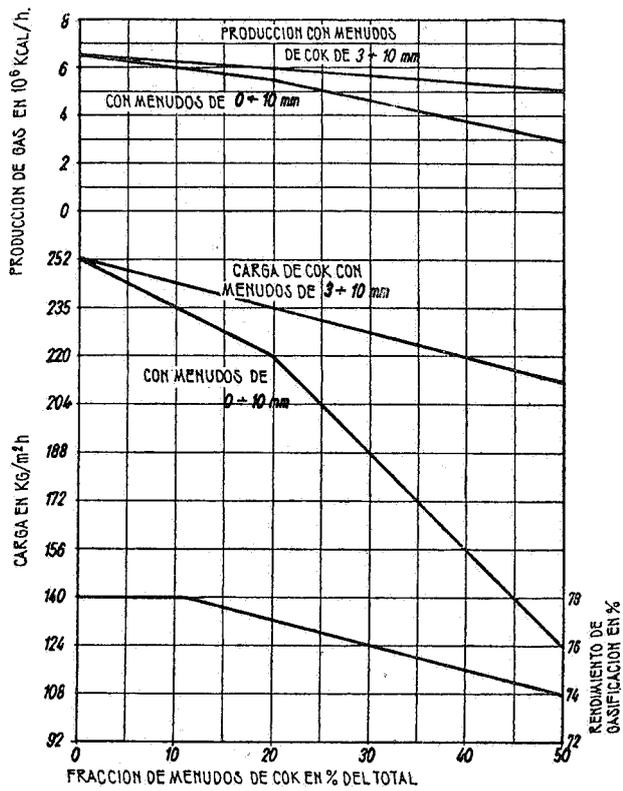


Fig. 11.

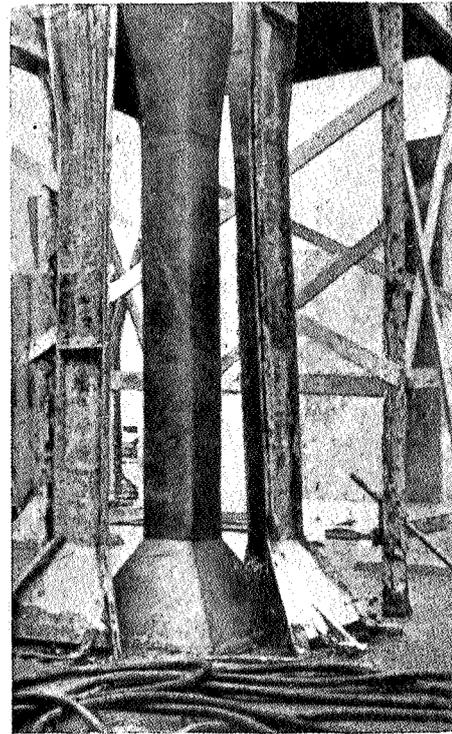


Fig. 13.

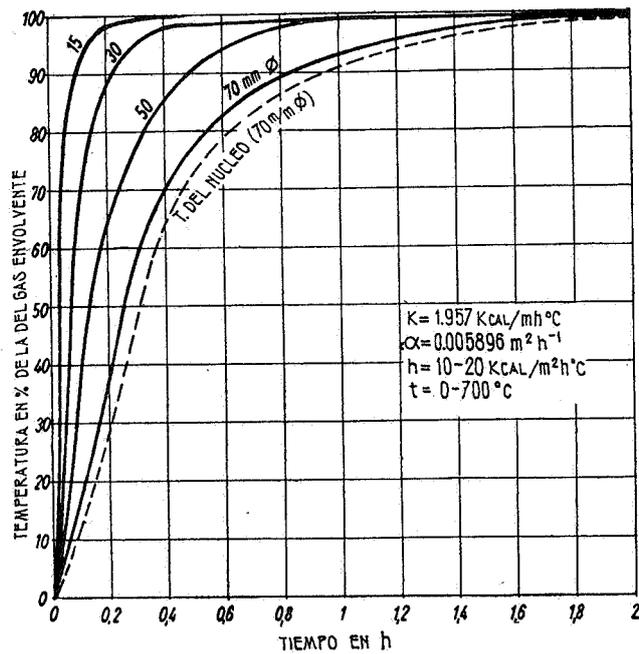


Fig. 12.

Fig. 11.—Producción de gas en un generador de parrilla giratoria, de 2,6 m. de diámetro, empleando cok de 10-4 mm. y menudos de cok. (Según B. v. Sothen.)

Fig. 12.—Temperatura superficial de partículas esféricas de cok, calentadas por gas en contacto directo con las mismas. (Según Gumz.)