

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

618 - 27 SISTEMA BROWN, BOVERI AND CIA. PARA LA CONDUCCION AUTOMATICA DE HORNOS ROTATIVOS

(Die automatische Drehofensteuerung System BBC)

H. G. Waeber

De: "ZEMENT-KALK-GIPS", nº 5, Mayo 1953, pág. 169

- - -

Se han realizado ya grandes esfuerzos por mejorar el rendimiento y la economía de los hornos rotativos de cemento. A pesar de ello, hasta la fecha sólo en raras ocasiones se aprovecha plenamente la capacidad de las instalaciones. La causa es que los factores que determinan una producción óptima o máxima en un horno rotativo son tan numerosos y están relacionados entre sí de un modo tan complicado, que sólo pocas personas son capaces de comprenderlos y manejarlos correctamente.

La sociedad Brown, Boveri y Cía, de Mannheim, después de numerosos ensayos y trabajos que se han extendido a lo largo de años, puede en la actualidad suministrar a la industria cementera instrumental eléctrico para el control de las instalaciones de hornos rotativos. Mediante este equipo resulta posible elevar al máximo el rendimiento del horno (mejorando el balance térmico del mismo), así como obtener un clinker de mejor calidad.

El sistema BBC de conducción automática se basa en el principio fundamental de que la marcha del material a través del horno durante el funcionamiento debe ser reposada y de que

no debe variar la distribución de temperaturas. Quiere decirse que hay que observar y compensar en el momento oportuno todos los influjos externos que pueden impedir que se cumplan dichas condiciones. Sólo es preciso suponer que los crudos poseen una composición constante, y esta condición está hoy día garantizada, si la dirección de las operaciones está encomendada a una persona consciente de su responsabilidad. Nótese que el sistema de conducción a que nos referimos en este artículo puede aplicarse, sin modificaciones fundamentales, tanto a la vía seca como a la vía húmeda.

En las consideraciones que siguen se indican las causas de la mayor parte de las irregularidades que se presentan en los hornos y se explica cómo pueden evitarse por medio de una regulación automática.

En toda instalación de hornos rotativos existen diversos elementos que pueden influir sobre la marcha del proceso (fig. 1). En el caso más general admiten regulación:

1. El registro del tiro natural.
2. Los aspiradores para el tiro forzado.
3. La alimentación de crudos.
4. El horno propiamente dicho.
5. La alimentación de combustible.
6. El aire primario.
7. Los enfriadores de clinker.

Estos elementos deben regularse de suerte que se alcance una producción óptima o máxima. Nótese que existe una diferencia entre producción óptima y producción máxima (fig. 2). Cada horno presenta un punto óptimo, con una determinada produc

ción de clinker (cantidad de clinker/unidad de tiempo) a la que corresponde un rendimiento térmico óptimo. Por debajo o por encima de ese punto, el rendimiento térmico es peor y aumentan, con ello, los costes de producción por tonelada de clinker. Al superar el mencionado punto óptimo, la marcha del horno se va haciendo progresivamente más "lábil", esto es, oscila cada vez más. Existe un límite -la producción máxima- que no puede excederse sin grave peligro de que la cocción sea defectuosa.

Hasta ahora, el arte del personal encargado del horno consistía en conseguir la producción óptima con la mayor exactitud o en elevar lo más posible la producción máxima. Por desgracia, como ya hemos indicado, este problema es tan difícil que hay pocas personas que lo dominen.

1. Tiro

El tiro tiene la misión de aspirar la cantidad de aire necesaria para que quemé el combustible y extraer del horno los gases resultantes. Es de desear un régimen turbulento en el movimiento de los gases en el interior del horno, pues de este modo puede mantenerse bajo el exceso de aire y tiene lugar una intensa transmisión de calor de los gases calientes al material crudo. Para conseguir que el horno marche suavemente, es totalmente necesario mantener constante la cantidad de gases que lo atraviesan independientemente de factores externos.

Si se modifica el tiro por un influjo de cualquier tipo, se refleja inmediatamente en la cocción del clinker, pues la posición y la magnitud de la llama dependen en gran parte del movimiento de los gases en el interior del horno. Con un tiro muy reducido, aunque se mantenga constante el suministro de

combustible, desciende al poco tiempo la temperatura en la zona de sinterización, pues el combustible ya no puede arder totalmente, por falta de oxígeno. El resultado es un mayor contenido de CO y hollín en los gases desprendidos, es decir, una combustión incompleta. Además, la llama se acorta, con lo que se desplaza la zona de sinterización. Si se fuerza demasiado el tiro, desciende igualmente la temperatura en la zona de sinterización, la llama se alarga, el exceso de aire se hace demasiado grande y los gases atraviesan el horno a una velocidad excesiva. Otra consecuencia desagradable es que aumentan las pérdidas de polvo.

En ambos casos se despilfarra combustible. Si el tiro es insuficiente, no se aprovecha plenamente el poder calorífico del combustible, pues en la combustión del carbón para dar CO se libera únicamente alrededor del 30% de dicho poder calorífico. También se pierden cantidades considerables de calor si el exceso de aire es demasiado grande, porque el aire no requerido para la combustión ha de calentarse también a la temperatura de los gases que salen del horno.

El sistema de conducción automática BBC asegura un tiro constante en el horno rotatorio. Se puede regular el registro de la chimenea, o -caso de que exista- el aspirador. En algunos casos es posible regular ambos. A continuación se demuestra que este es el único modo de garantizar un sistema de trabajo seguro (fig. 3).

Solamente puede abandonar el horno una cantidad de gases igual a los que entran, más lo que en él se originan. Los gases que se desprenden del horno (L) están constituidos

por:

1. Aire secundario ya utilizado (L_2).
2. Aire primario utilizado (L_1).
3. CO_2 desprendido de los crudos por la acción del calor ($f(T,M)$), y
4. Vapor de agua (c).

Así, pues, puede expresarse la composición de los gases que se desprenden por medio de una fórmula sencilla:

$$L = L_1 + L_2 + f(T,M) + c$$

Las dos magnitudes $f(T,M)$ y c son constantes, en tanto no se modifique la composición y cantidad de los crudos, o la distribución de temperaturas en el interior del horno.

El hornero puede fijar en un valor determinado la cantidad de aire primario L_1 . La cantidad de aire secundario, para un tiro L constante, aumentará o disminuirá de acuerdo con la anterior ecuación.

Esto es igualmente válido cuando se acoplan enfriadores de parrilla al horno rotativo. Este tipo de enfriador no puede regular la cantidad de aire secundario que entra en el horno, únicamente lo calienta, mejorando así el balance térmico de la instalación en conjunto. Naturalmente, es conveniente regular el ventilador del enfriador, de manera tal, que éste proporcione totalmente la cantidad de aire secundario que necesite el horno, evitándose así la entrada de aire frío en el mismo.

En la práctica resulta conveniente muchas veces proveer un dispositivo de regulación para el aire primario, ya -

que cualquier alteración en la cantidad de éste se traduce en una modificación de la posición de la llama. Las variaciones de temperatura del aire primario actúan en el mismo sentido. Tales variaciones son perjudiciales para una buena marcha de los hornos, y pueden evitarse por control automático. Además, nos podemos servir eventualmente de este control para compensar automáticamente durante el funcionamiento cualquier variación en los componentes volátiles del combustible.

2. Alimentación de crudos

Para asegurar una marcha suave del horno, es preciso que la alimentación de crudos tenga lugar de un modo uniforme. En cualesquiera circunstancias debe evitarse que el material se distribuya en el interior del horno en forma de oleadas. Los crudos avanzan a consecuencia de la fuerza de la gravedad, con una velocidad v , que depende directamente del número de revoluciones, de la inclinación del eje del horno y de la composición de dichos crudos (véase el artículo "NUMERO DE REVOLUCIONES E INCLINACION DE LOS HORNOS ROTATIVOS DE CEMENTO" publicado en el nº 36 de este Boletín, correspondiente a Diciembre de 1952). La inclinación del eje del horno viene condicionada por su construcción y no puede modificarse. Por esta razón, la velocidad de avance del material sólo puede regularse por el número de revoluciones, si es constante la composición de los crudos. La velocidad de avance debe ser tal que, para un determinado grado de carga del horno, el material permanezca en la zona de clinkerización únicamente el tiempo preciso para sinterizarse. Resulta de aquí la magnitud más importante en el funcionamiento de un horno rotativo, la producción:

$$N_{\text{horno}} = v \cdot Q_{\text{clinker}} \quad (\text{Tm/h})$$

donde:

v = Velocidad de avance del material en el interior del horno (m/h).

Q = Peso de clinker por m de longitud de horno (Tm/m).

Cuando se suministra un horno rotatorio, el fabricante garantiza una determinada producción. Este dato se determina teórica o empíricamente e incluye factores de seguridad, es decir, cuando se conduce hábilmente el horno puede superarse las más veces la producción garantizada. Si se consigue esto, dejan de ser válidos los valores calculados para el número de revoluciones y el grado de carga y han de ser determinados otra vez para la nueva manera de funcionar.

Una vez fijada la velocidad de avance de los crudos en el interior del horno, el segundo requisito es mantener constante el grado de carga del mismo.

Esto es más difícil de conseguir que lo generalmente se supone, pues hay que tener en cuenta 3 factores:

1. La composición química de los crudos.
2. Contenido de agua de éstos.
3. Cantidad de los mismos.

La composición química uniforme de los crudos es una condición previa de la incumbencia del químico de la fábrica. No obstante, si durante el funcionamiento del horno aparecen variaciones en dicha composición, son registradas por el control automático y notificadas al personal. Este puede entonces tomar las medidas de corrección pertinentes por medio de los dispositivos automáticos, o bien ajustar la marcha del horno a las nuevas condiciones.

En lo que concierne al contenido de agua, hay que distinguir entre vía seca y vía húmeda.

En la vía seca sólo se debe adicionar al crudo el agua suficiente para que los nódulos se formen correctamente. Las irregularidades pequeñas no perturban la marcha del horno, de modo que, en general, basta con un control periódico de este factor. Ahora bien, según el sistema de granulador empleado, también se podrá aplicar un control automático, eliminándose de ese modo fluctuaciones.

Cuando se trabaja por vía húmeda, con los modernos tanques de pasta, resulta posible fijar en el valor deseado el contenido de agua de los crudos, antes de que éstos lleguen al horno. Desgraciadamente, la experiencia nos enseña que, a pesar de esto, pueden presentarse irregularidades.

Como en la vía húmeda el contenido de agua es, en general, de un 40% aproximadamente, las fluctuaciones influyen mucho más sobre la marcha del horno que en la vía seca. Actualmente, existen viscosímetros de funcionamiento continuo que pueden aplicarse a las pastas crudas con suficiente seguridad. El sistema BBC de control automático permite acoplar sin dificultades estos aparatos, con lo que se dispone de un valioso elemento para conseguir en el horno un grado de carga uniforme.

En la vía seca puede conseguirse el mismo efecto por medio de una balanza dosificadora de funcionamiento continuo.

La cantidad de crudos (ya se encuentren éstos en forma de nódulos o de pasta) que se añade al horno debe ser tal, que permanezca constante el grado de carga, independientemente del número de revoluciones. Existen dispositivos de control que per

miten regular la cantidad de crudos que entran en el horno; la firma Brown, Boveri y Cia ha desarrollado recientemente un nuevo modelo, sobre el que el autor de este artículo promete información en un futuro artículo.

3. Sistema de calefacción

El sistema de calefacción tiene la misión de producir la temperatura necesaria para la sinterización del crudo. Intervienen aquí dos factores fundamentales:

1. las condiciones fluidodinámicas en el interior del horno y
2. la alimentación de combustible.

Sobre el primer punto ya se ha hablado en el apartado referente al tiro. A continuación se dan algunas indicaciones complementarias.

Como es sabido, el combustible se inyecta en el interior del horno por el extremo opuesto al de alimentación de los crudos. Se puede utilizar polvo de carbón, petróleo o gas, y, en determinadas circunstancias, puede emplearse también la energía eléctrica, si bien esta posibilidad se encuentra aun en fase de desarrollo.

Según el sistema de calefacción empleado, se origina una determinada distribución de temperaturas en el interior del horno rotatorio (fig. 4). De acuerdo con esto, se pueden distinguir en el horno varias zonas, caracterizadas por las reacciones que en ellas experimenta el material por efecto de las temperaturas correspondientes.

1. Zona de secado (hasta unos 800° C).

En esta zona, los crudos pierden su humedad y el agua de hidratación.

2. Zona de calcinación o descarbonatación (de unos 800 a 1.200° C).

Esta zona se caracteriza por la eliminación del CO₂ de las calizas por la acción del calor:



3. Zona de sinterización o clinkerización (de 1.200 a 1.500° C aproximadamente).

En esta zona, el material pasa a un estado casi plástico y, además, tienen lugar fenómenos físico-químicos de gran importancia; el crudo se sinteriza. Naturalmente, esta zona se encuentra en inmediato contacto con la llama y las más veces su longitud es reducida.

4. Zona de enfriamiento (de 1.500 a 1.200° C aproximadamente).

Inmediatamente después de la sinterización, el material, denominado ahora clinker, alcanza la zona de enfriamiento del horno. Esta, en general, es corta, de modo que el clinker abandona el horno a una temperatura comprendida entre los 1.200 y los 1.000°C. Pasa entonces a los enfriadores, donde su temperatura desciende a unos 60 u 80 °C. El calor cedido por el clinker en dichos enfriadores se aprovecha para precalentar el aire secundario.

En muchos hornos rotatorios, el clinker se va obteniendo de un modo irregular, sale a golpes, aunque permanezcan constantes el número de revoluciones y la alimentación de crudos ..

(fig. 5). Esto obedece principalmente a la calefacción.

Supuesto que el horno esté cargado de un modo regular a lo largo de toda su longitud, las diferencias de posición y tamaño de la llama determinan la extensión de las distintas zonas en el interior del horno (fig. 6a). Si, por alguna razón, la llama se hace más intensa, penetrando más profundamente en el interior del horno y desarrollando una mayor cantidad de calor, la zona de sinterización se desplaza hacia la zona de secado. Esta se acorta en la misma medida que se alarga aquélla (fig. 6b).

El material que, normalmente, se encontraría en la zona de secado y, a continuación, pasaría a la de calcinación, adquiere una mayor velocidad de avance; esto da lugar a la aparición de un valle entre dichas zonas y de una cresta al comienzo de la segunda. De análoga manera, este fenómeno se repite en la frontera entre las zonas de calcinación y clinkerización. Con esto, el horno ya no queda cargado de un modo uniforme en toda su longitud, sino que el material se distribuye en su interior en forma de ondas.

Cuando una de estas "crestas" alcanza la zona de clinkerización, existe el peligro de que la cocción sea defectuosa por falta de intensidad. Entonces el hornero reforzará de nuevo el fuego para tratar de remediarlo; pero, con ello, lo que hace es provocar que se repita el proceso; esto es, aparecen nuevas crestas y valles. Con esto disminuye la capacidad del horno. Por lo tanto, en cualquier caso debe mantenerse invariable la distribución de temperaturas en el interior del horno, a fin de utilizar al máximo la capacidad del mismo.

Esta dificultad está agravada actualmente en muchos países, debido a que el poder calorífico del combustible fluctúa mucho. Son poco frecuentes los casos en que estas fluctuaciones son corregidas a tiempo por el personal del horno, evitando que den lugar a perturbaciones en la marcha del mismo.

Análogamente a las instalaciones de calderas, los hornos rotatorios deben trabajar con un cierto exceso de aire. Este debe ser tal, que no aparezca CO en los gases desprendidos, es decir, debe quedar asegurada una combustión total. Resulta así posible medir un determinado contenido de oxígeno en dichos gases.

Ahora bien, si consideramos que la cantidad de aire precisa para la combustión no sólo depende de la cantidad de combustible, sino también del poder calorífico de éste (fig. 7), es fácil de ver que el análisis del oxígeno en los gases constituye el único medio adecuado para regular la alimentación de combustible.

Los dispositivos de ensayo utilizados y las distintas series de medidas realizadas, ponen de manifiesto que estas suposiciones están de acuerdo con los hechos. Los aparatos eléctricos de que disponemos hoy día para la determinación del oxígeno permiten, cuando se han montado correctamente, medidas continuas de gran exactitud, con un retraso que es perfectamente tolerable para la conducción automática del horno (fig. 8). Este procedimiento puede aplicarse a todos los sistemas de calefacción corrientes en la actualidad en los hornos rotativos de cemento. De este modo, se completan los progresos conseguidos por la introducción de los molinos inyectoros.

4. Control de las anomalías en la marcha del horno

Con lo dicho basta ya para conseguir que el horno marche suavemente. No obstante, sería imprudente contentarse con esto. En el funcionamiento del horno rotativo se presentan anomalias, cuyo origen todavía no está aclarado totalmente en la actualidad, por ejemplo, la formación de anillos. Muchos hornos rotatorios tienden directamente a ésta. El sistema BBC de conducción automática reduce mucho la formación de anillos, pues elimina muchos factores que pueden dar lugar a la misma, por ejemplo, una combustión imperfecta, una distribución de temperaturas variable, etc. Ahora bien, que se pueda impedir siempre la formación de anillos por medio de la conducción automática es cosa que sólo podrá comprobarse al cabo de unos años, cuando exista una serie de instalaciones funcionando por este sistema durante un amplio espacio de tiempo y podamos completar nuestros conocimientos actuales con las experiencias reunidas de este modo.

Pero también hay que contar con que puede fallar un elemento cualquiera de la instalación o averiarse un aparato de medida o un cable. En semejantes casos, el control automático ya no cumplirá plenamente con su cometido, siendo de una gran importancia registrar estas perturbaciones en el momento oportuno, para poderlas eliminar.

El sistema de conducción automática permite mantener fija durante el funcionamiento la posición de la zona de sinterización en el interior del horno rotatorio. Toda anomalía, cualquiera que sea su origen, hace desplazarse a la zona de clinkerización, o influye inmediatamente sobre su temperatura. Puede, por consiguiente, considerarse la zona de sinterización co

mo criterio general para juzgar sobre la marcha de la cocción y con ello, también sobre el sistema de conducción. Por esta razón, en el procedimiento BBC se ha recurrido a dicha zona para controlar las anomalías.

En la cabeza del horno se monta un pirómetro óptico, junto al tubo inyector del dardo (fig. 9). El pirómetro enfoca la pared de la zona de sinterización. No es preciso que este aparato mida la temperatura absoluta de dicha zona; lo importante es registrar con suficiente exactitud las fluctuaciones de temperatura.

Se han realizado satisfactoriamente diversos ensayos. Se montaron pirómetros ópticos en varias instalaciones de hornos rotatorios y se registraron sus lecturas (fig. 10). Para un funcionamiento normal, se obtiene un espectro de temperaturas de una amplitud de unos 100°C aproximadamente. Estas variaciones en las lecturas de la temperatura se deben a los torbellinos de polvo y de humo que se interponen entre el pirómetro y la zona de sinterización. Pero las medidas resultan lo suficientemente precisas para la práctica. Si la dispersión es mayor, es debida a anomalías en la marcha del horno.

Este procedimiento de medida es conocido desde hace ya varios años y se utiliza con frecuencia en las instalaciones de hornos rotatorios. Ahora bien, el sistema BBC se sirve de él exclusivamente para controlar las anomalías que pueden presentarse.

A este respecto tiene una importancia decisiva la siguiente consideración:

Una vez puesto en marcha un horno rotatorio, quedan

fijados ya para lo sucesivo el grado de carga óptimo y el número de revoluciones correspondiente. El grado de carga se mantiene constante mediante control del número de revoluciones y de la alimentación del crudo. Toda variación en el número de revoluciones del horno se traducirá en una perturbación del equilibrio de la instalación e, irremisiblemente, dará lugar a una disminución de la producción. Y esto es precisamente lo que debe evitarse por medio de una conducción automática. Solamente debe recurrirse a modificar el número de revoluciones del horno rotatorio en un caso extremo, cuando sea imposible servirse de otros medios; el sistema de que hablamos permite conseguir este objeto. Si el aparato de medida indica una modificación excesiva de la temperatura en la zona de sinterización, el personal del horno es avisado óptica y acústicamente. Si el personal no toma inmediatamente ninguna medida, se modifica lentamente, de un modo adecuado, el número de revoluciones, manejando los mandos. Si, por ejemplo, la temperatura de la zona de clinerización desciende por debajo del límite admitido, se reduce el número de revoluciones; si la temperatura aumenta excesivamente, se incrementa el mismo. De este modo se evita en todos los casos una cocción defectuosa.

5. Cuadro de mandos

El sistema BBC de conducción automática consta, en general, de cinco grupos que, trabajando conjuntamente de modo adecuado, aseguran una distribución uniforme de temperaturas en el interior del horno rotatorio durante el funcionamiento (fig. 11). Con esto se cumplen todos los requisitos precisos para conseguir en la instalación una producción máxima en condiciones óptimas.

Resulta sencillo concentrar los cinco grupos indicados en un cuadro de mandos central. Casi siempre suele escogerse como emplazamiento el puesto del hornero, junto a la cabeza del horno. A este fin, la firma Brown, Boveri y Cia construye cuadros luminosos de mandos, especiales para hornos rotatorios (fig. 12). En la parte superior del cuadro existe una placa de vidrio sobre la que están representados en forma gráfica por medio de símbolos todos los elementos del horno rotatorio. Todos los elementos de la instalación accionados eléctricamente quedan iluminados en toda su extensión sobre el cuadro luminoso cuando se encuentran en funcionamiento. De este modo, el personal que atiende el horno puede seguir perfectamente la marcha del mismo y observar gráficamente cualquier anomalía que pueda presentarse.

Debajo del cuadro luminoso se encuentran montados los instrumentos de medida de la temperatura, presión, tiro, etc. Cada instrumento está dispuesto verticalmente debajo del símbolo que en el cuadro luminoso corresponde al punto en que se realiza la medida. Los amperímetros y voltímetros utilizados para controlar la propulsión eléctrica se encuentran en la parte inferior del cuadro. Los interruptores, reguladores, etc., están ordenados igualmente de acuerdo con la disposición de los símbolos en el cuadro luminoso.

De esta suerte resulta una disposición muy clara y de muy fácil manejo.

6. Dispositivos de medida

Incluso hoy día no se reconoce muchas veces la importancia de los dispositivos de medida para la marcha de los hor

nos rotatorios. Pero estos dispositivos permiten detectar anomalías de los hornos desconocidas hasta la fecha y tomar las contramedidas oportunas.

Por consiguiente, las instalaciones modernas de hornos rotatorios deberían estar equipadas con los siguientes dispositivos de medida, fundamentalmente (fig. 13).

a) Alimentación de combustible.

Cuando se utiliza polvo de carbón para la calefacción, resulta preciso registrar el número de revoluciones del aparato de alimentación, o bien realizar una pesada continua del combustible, con el fin de poder controlar de un modo continuo el consumo de la instalación. Si la calefacción corre a cargo de petróleo o gas, es preciso medir la cantidad y la presión (eventualmente también la temperatura). El inyector de aire primario debe vigilarse por medio de un indicador del número de revoluciones, cuando el accionamiento del mismo sea regulable; en otro caso, se deberá poder observar desde la central la posición del registro de regulación. Además, es muy conveniente medir la temperatura, cantidad y presión del aire primario.

b) Tiro.

Lo ideal en todos los casos sería medir la cantidad y la presión de los humos que abandonan el horno. Desgraciadamente, de momento no existen aparatos que permitan una medida continua de la cantidad de gases en los hornos rotativos, pues la elevada afluencia de polvo conduce a la inutilización de los instrumentos correspondientes. No obstante, puede medirse con gran exactitud la pérdida de carga en la cámara colectora de polvo, lo que ofrece en la mayor parte de los casos una base -

suficiente para manejar correctamente el tiro. En casos especialmente difíciles es preciso completar este dato con la medida de la pérdida de carga del aire secundario en la entrada del horno. La diferencia entre los resultados de las mediciones permite entonces sacar conclusiones inequívocas sobre el estado del horno.

Si se trabaja con un registro desplazable, hay que controlar la posición del mismo, si se trata de un inyector regulable, el número de revoluciones.

c) Análisis de los gases.

En todos los casos es imprescindible llevar a cabo un análisis correcto de los gases, que sirva para medir de una manera continua el oxígeno (O_2), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2). Precisamente la medida del CO_2 ha de permitir en el futuro sacar importantes conclusiones sobre los procesos que tienen lugar en el interior del horno. Toda modificación en la distribución de temperaturas en el interior del horno rotatorio se reflejará en el contenido de CO_2 de los gases, aun cuando la combustión tenga lugar de un modo uniforme, pues toda variación de este tipo da lugar también al desplazamiento de la zona de calcinación, de modo que aparece más o menos CO_2 en los gases desprendidos (claro que sólo de un modo pasajero). En la actualidad está aun en estudio en qué escala puede aplicarse esta modalidad de medida al control del horno.

d) Alimentación de crudos.

Aquí hay que distinguir si la instalación de hornos rotatorios trabaja por vía húmeda o seca y qué aparatos de alimentación se emplean. En la vía húmeda hay que disponer un con

control del número de revoluciones del aparato de alimentación. Al mismo tiempo se debe realizar de alguna manera una medida de la viscosidad de la pasta, con el fin de poder corregir en el momento preciso las variaciones en el contenido de agua del crudo.

En la vía seca es igualmente necesario controlar el número de revoluciones del aparato de alimentación. Además, se debe vigilar la cantidad de crudos que se cargan.

e) Temperatura.

En toda instalación de hornos rotatorios es conveniente medir la temperatura de los gases desprendidos en varios puntos próximos al extremo de alimentación de los crudos. Además, es totalmente preciso medir la temperatura de la zona de sinte-rización. La zona de calcinación no necesita ningún dispositivo de medida de temperatura, si se realiza el análisis de gases de un modo continuo (ver c).

f) Horno.

Debe registrarse el número de revoluciones del horno. Además, es muy recomendable vigilar el rendimiento del motor de accionamiento, pues de este modo es posible sacar valiosas conclusiones sobre el grado de carga del horno.

Resulta muy conveniente vigilar el desplazamiento del horno en la dirección de su eje longitudinal. De este modo se evita la rotura de los rodillos de apoyo del horno por aparición de solicitaciones excesivamente elevadas y, al mismo tiempo, se protege el horno propiamente dicho (8).

g) Clinker

Se debe siempre medir y registrar de un modo continuo.

la cantidad de clinker que abandona el horno rotativo, pues esta medición también permite sacar interesantes conclusiones sobre la marcha del horno. Además, deben tomarse muestras de clinker periódicamente y determinar su peso específico.

Las instalaciones de hornos rotatorios, dotadas de los dispositivos de medida mencionados, pueden conducirse de un modo mucho más económico y seguro que cuando se confía solamente en la vista del hornero. Los aparatos de medida descritos permiten seguir todos los procesos importantes para la cocción.

Resulta posible un control eficaz mediante el empleo de aparatos de medida registradores, que son particularmente adecuados para poner en marcha las instalaciones nuevas de hornos rotatorios, pues con su ayuda se pueden averiguar muy rápidamente y de un modo inequívoco las reacciones de la instalación para distintas condiciones de marcha. L.S.C.

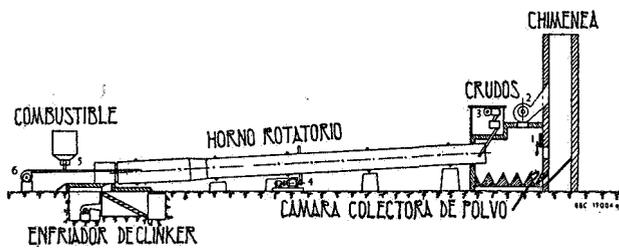


Fig. 1.—Elementos regulables de una instalación de horno rotatorio. 1, registro para el tiro natural; 2, aspirador para el tiro forzado; 3, alimentación de crudos; 4, propulsión del horno; 5, alimentación de combustible; 6, inyector de aire primario; 7, enfriador de clinker.

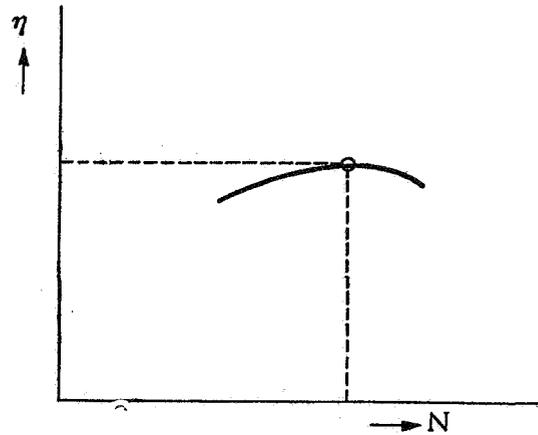


Fig. 2.—Rendimiento η de un horno rotatorio en función de la producción diaria N.

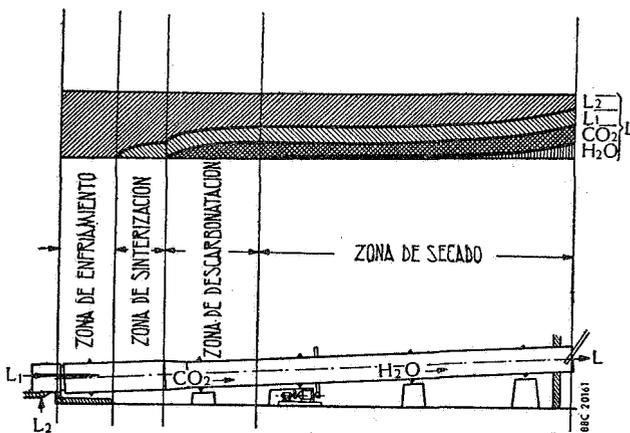


Fig. 3.—Composición de los gases en el interior del horno rotatorio. Consideración cualitativa:

- L = Cantidad total de humos;
- L₁ = Aire primario;
- L₂ = Aire secundario;
- CO₂ = Dióxido de carbono desprendido de los crudos por la acción del calor.
- H₂O = Vapor de agua desprendido en el secado.

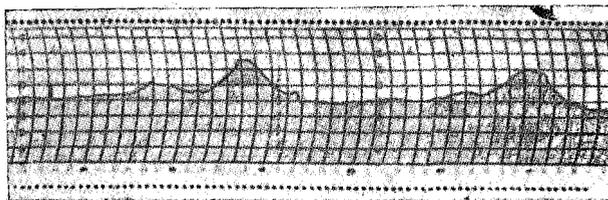


Fig. 5

Fig. 4.—Curva de temperaturas del material en el interior del horno durante el funcionamiento.

Fig. 5.—Diagrama de la producción de clinker de un horno rotatorio.

Fig. 6.—Influjo de la posición de la llama en el interior del horno rotatorio sobre la marcha del material.

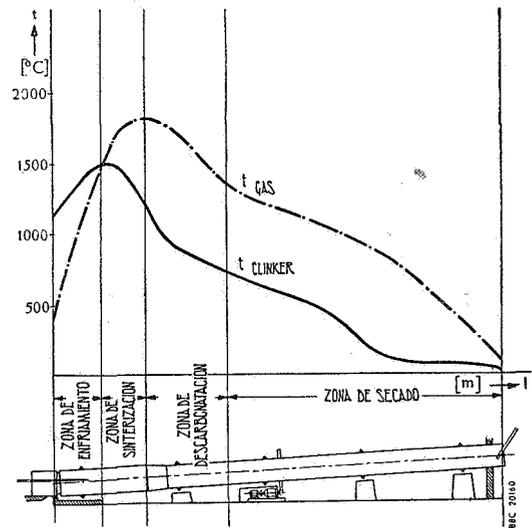


Fig. 4

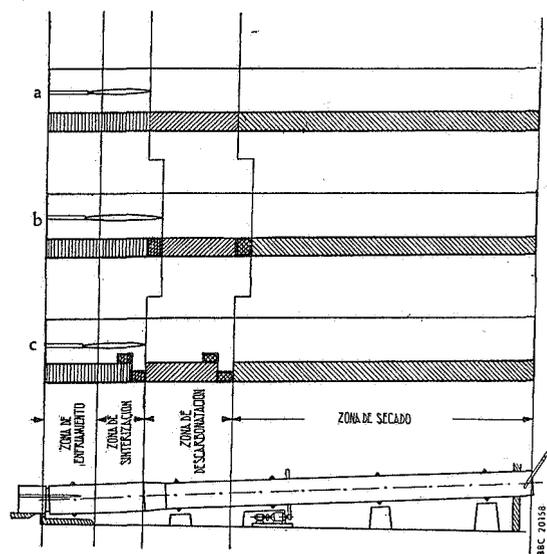


Fig. 6

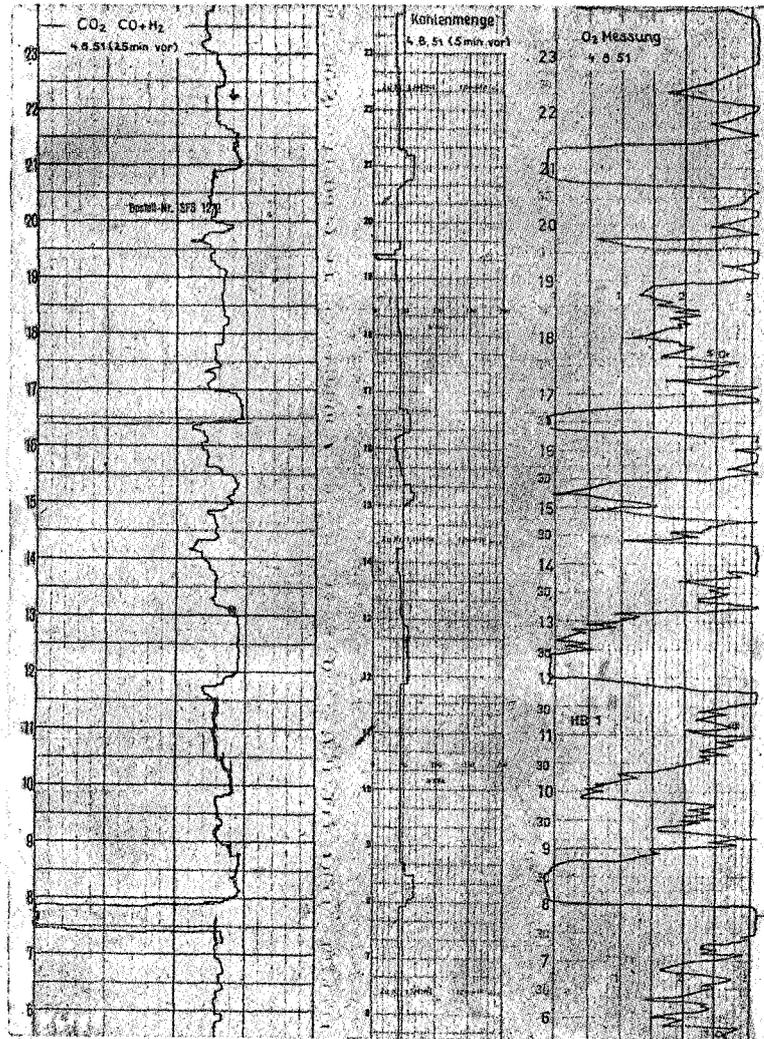


Fig. 8. — Influencia de la alimentación de combustible sobre el análisis de los gases de un horno rotatorio.

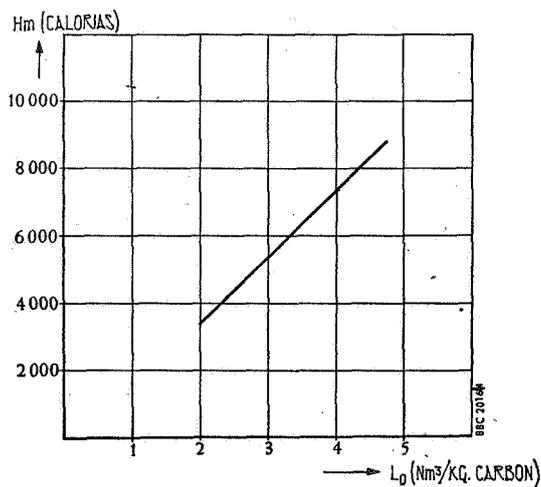


Fig. 7.—Cantidad de aire necesaria para la combustión de huellas de distinto poder calorífico.
 H_m = poder calorífico (calorías);
 L_0 = cantidad de aire necesaria teóricamente por kg de carbón (N m³/kg carbón);
 L = cantidad de aire necesaria en la práctica = $1,1 L_0$ (N m³/kg carbón).

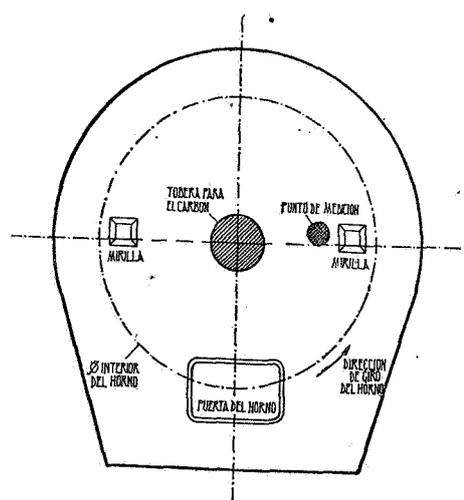


Fig. 9.—Representación esquemática de la cabeza de un horno rotatorio.

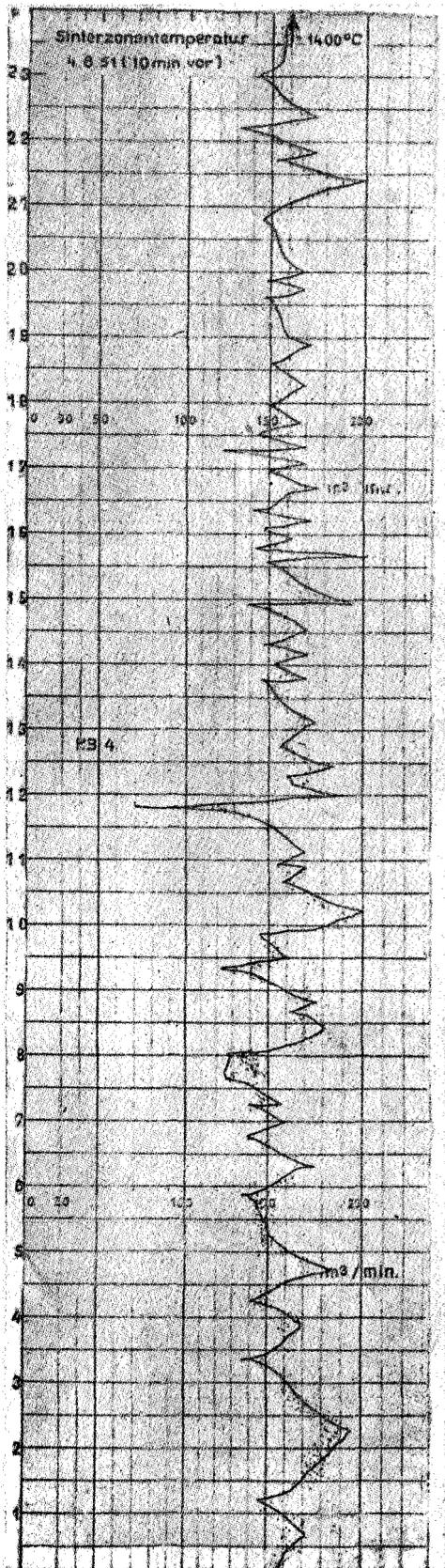


Fig. 10

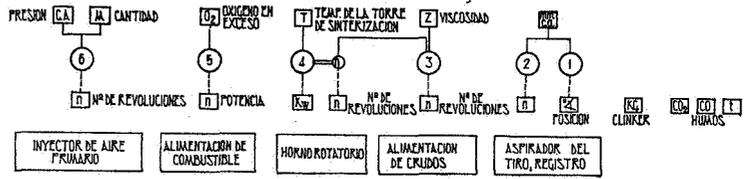


Fig. 11.—Esquema del sistema BBC de conducción automática de hornos rotatorios.

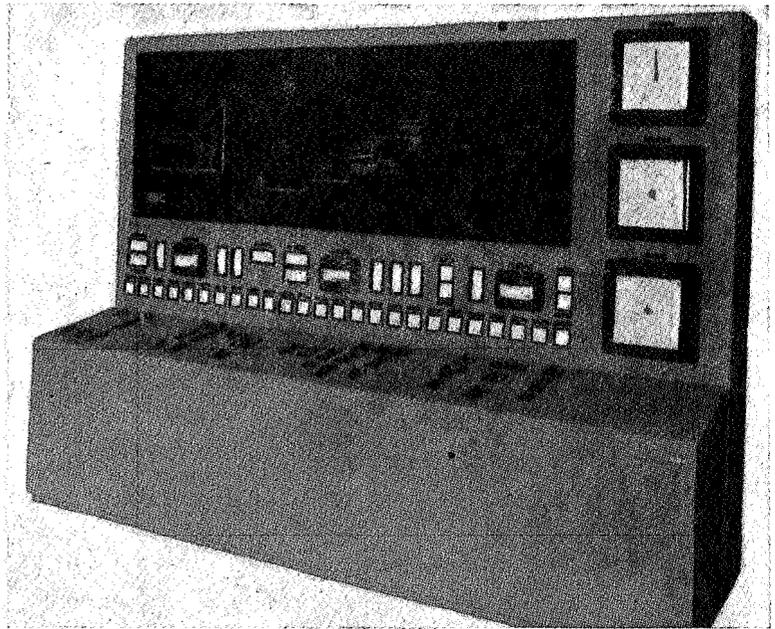


Fig. 12.—Cuadro de mandos luminoso.

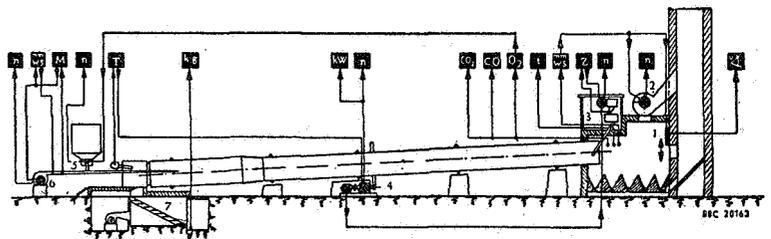


Fig. 13

Fig. 10.—Temperaturas en la zona de sinterización de un horno rotatorio.
Fig. 13.—Dispositivos de medida en una instalación moderna de hornos rotatorios.