

experiencias sobre automatización de hornos rotatorios con intercambiadores de calor en suspensión gaseosa

W. GORTZ, Colonia *

1. INTRODUCCION

Los hornos con intercambiadores de calor en suspensión gaseosa reúnen, respecto a la automatización, unas condiciones previas como el precalentamiento y la descarbonatación de la materia prima, las cuales se realizan en un aparato que no permite mando ni regulación algunos. El intercambiador de calor en suspensión gaseosa no ofrece ninguna posibilidad de intervención sobre el material que pasa por él.

Por consiguiente, una automatización tiene por premisa que el funcionamiento del intercambiador de calor se efectúe sin averías y con un rendimiento óptimo. En el proceso a través del mismo, sólo puede operarse por cambios físicos en el crudo o en la temperatura y conducción de los gases. Al horno rotatorio llega un material preparado sobre el que ya no se puede influir; al contrario de lo que ocurre en los hornos largos de vía seca o húmeda, en los que el material de cocción todavía es influenciado antes de su alimentación al tubo del horno. De estos razonamientos se deduce que, en la automatización de un horno con intercambiadores de calor en suspensión gaseosa, el problema gira en torno a la uniformidad de condiciones en la entrada del polvo crudo y en la alimentación de gases en el precalentador, mientras que el control y la regulación de la instalación (horno rotatorio, enfriador, electrofiltro, molinos e instalaciones auxiliares) puede realizarse con los medios técnicos ordinarios. Por consiguiente, en primer término se exponen las experiencias obtenidas hasta ahora en este campo, para pasar más tarde al problema concreto de la dosificación del crudo en el precalentador en suspensión gaseosa. Finalmente, se trata de las instalaciones en las centrales de control.

2. LA DISTRIBUCION CUANTITATIVA EN LA ALIMENTACION DEL CRUDO

En la alimentación de los intercambiadores de calor en suspensión gaseosa existen balanzas automáticas de cinta dosificadora, que proporcionan una cierta cantidad de polvo crudo por unidad de tiempo. Son ya muy conocidos los sistemas utilizados, que evitan simultáneamente un arrastre del material a la caída mediante un dispositivo hermético^{1 y 2}. En las figuras 1 y 2 se representan dos sistemas de situación de las balanzas.

* Este artículo es una transcripción del publicado por el autor en la revista "Zement-Kalk-Gips", año 19 (septiembre 1966), cuaderno 9, pág. 433. Nuestro agradecimiento a la revista y al autor por la posibilidad de incluir su trabajo en esta publicación.

El primer sistema tiene la ventaja de que elimina un silo intermedio. Con este fin es preciso una derivación para tomar el material necesario para el contraste de las balanzas. La figura 2 muestra el sistema con un depósito de alimentación del horno. En este caso es ventajoso colocar el depósito, con vistas al contraste y a la regulación del nivel, sobre la cinta dosificadora.

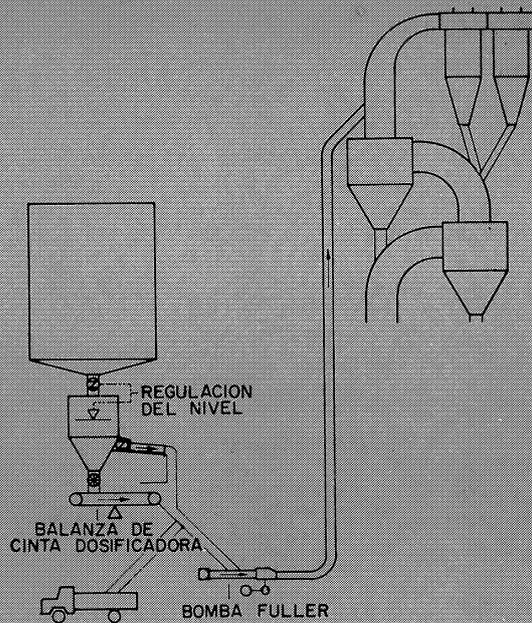


Fig. 1.—Sistema de dosificación del polvo crudo bajo el silo de almacenamiento.

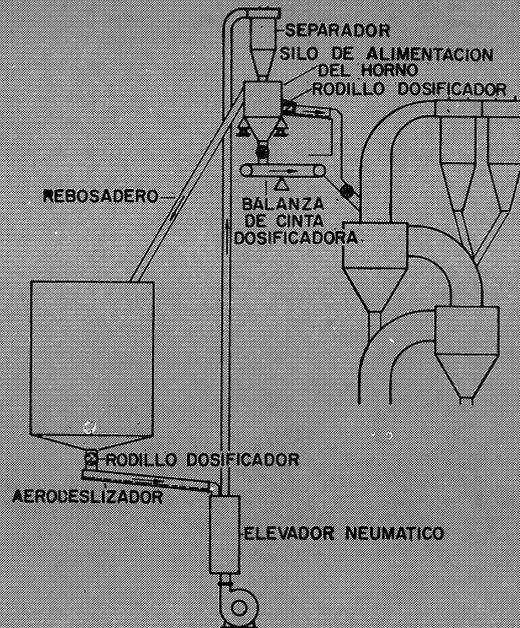


Fig. 2.—Sistema de dosificación del polvo crudo con silo de alimentación del horno.

3. CONTROL Y SEÑALES DE ALARMA EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El equilibrio correcto entre el gas y la corriente de material, así como la transmisión del calor entre ambos, se controlan por medio de una serie de medidas de presión y temperatura. En la figura 3 se ha reproducido el esquema de los puntos de medida de un intercambiador de calor de ciclones, que ha dado buenos resultados en muchas instalaciones.

Las presiones y temperaturas indican la transmisión de calor y la resistencia de la corriente en las diversas etapas del sistema. Tienen especial importancia las medidas de presión en la entrada del horno, ya que las irregularidades del polvo crudo conducen frecuentemente a la formación de costras. Por ello, la salida del ciclón IV posee un dispositivo especial, que actúa sobre la reducción de la sección del paso. Este proceso de control se transmite después a un calculador electrónico (computador); de esta forma, se mide la caída de presión en cada ciclón mediante medidores adicionales de presión diferencial. Cuando se utilizan computadores en lugar de los aparatos de medida convencionales se colocan preferentemente transductores de la presión, los cuales convierten las presiones y temperaturas en señales unitarias (por ejemplo, en corriente continua de 0 a 20 mA).

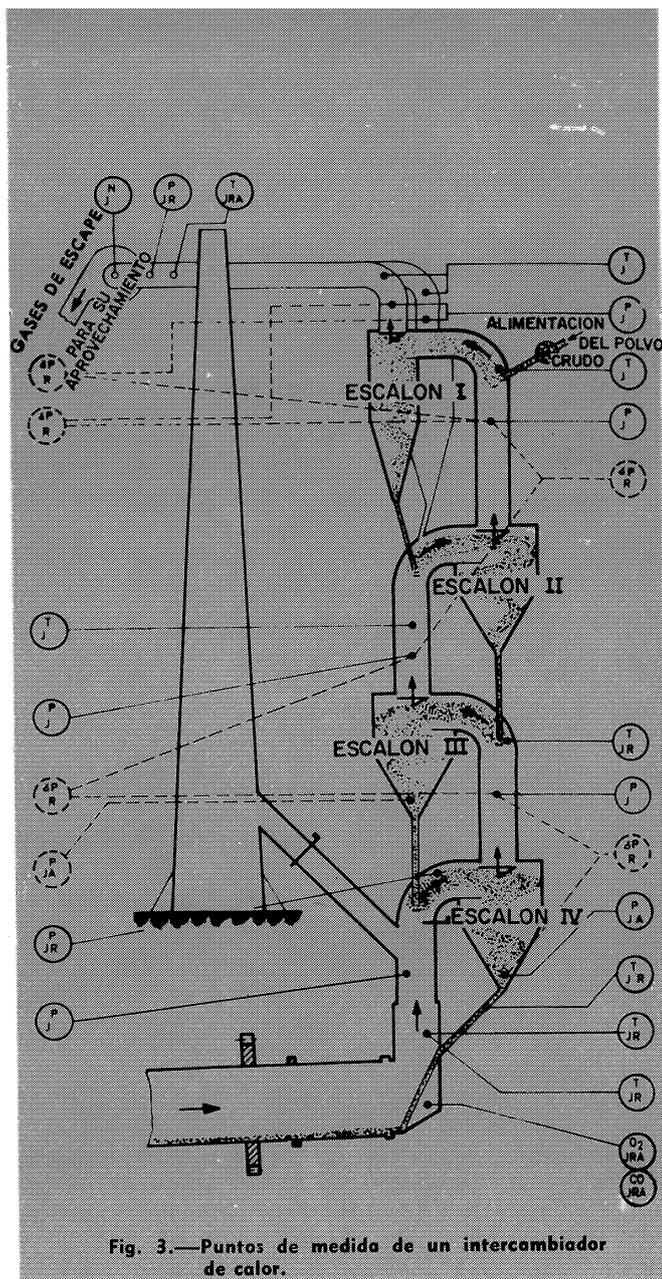


Fig. 3.—Puntos de medida de un intercambiador de calor.

CLAVE DE LOS SIGNOS

Puntos de medida (según ISA):

- T temperatura.
- P presión.
- N número de revoluciones.
- O₂ contenido en O₂.
- CO₂ contenido en CO₂.

Instrumentos:

- J indicador.
- R registrador.
- A alarma (acústica y óptica).

4. MEDICIONES EN LA ENTRADA DEL HORNO

La temperatura de entrada del material, interesante especialmente en un control con computador, se puede medir por los métodos normales.

También son importantes la medida del contenido en O₂ para el control de la combustión y la del porcentaje de CO para la protección del electrofiltro³. Una combustión incompleta, especialmente cuando se utiliza carbón en polvo, puede conducir, por enriquecimiento de CO, a una mezcla explosiva en el electrofiltro. La medida del CO debe hacerse en un tiempo breve para que pueda prevenir o desconectar automáticamente la tensión en el filtro, antes de que la mezcla de gases haya alcanzado la composición peligrosa. Por ello, se ha de inspeccionar diariamente la sonda de toma de gases en los aparatos de análisis automático. Una protección segura contra las explosiones, sólo puede efectuarse mediante un analizador perfecto.

5. VIGILANCIA Y REGULACION DEL HORNO ROTATORIO

La temperatura del material, en el caso de hornos rotatorios cortos con instalación de intercambiadores de calor en suspensión gaseosa, no se mide en diversas zonas del horno como es usual en hornos largos de vía seca y húmeda. Estas mediciones no tienen gran importancia y requieren elevados costos de entretenimiento y un cambio frecuente de los termopares. La medida de la temperatura en la zona de clinkerización es importantísima, ya que es indispensable para el manejo del horno. En la figura 4 se pueden ver dos maneras de realizarla. Se trata, en primer lugar, de un pirómetro de radiación total⁴; éste utiliza como campo de medida una parte limitada del espectro luminoso, la cual es irradiada por el material incandescente.

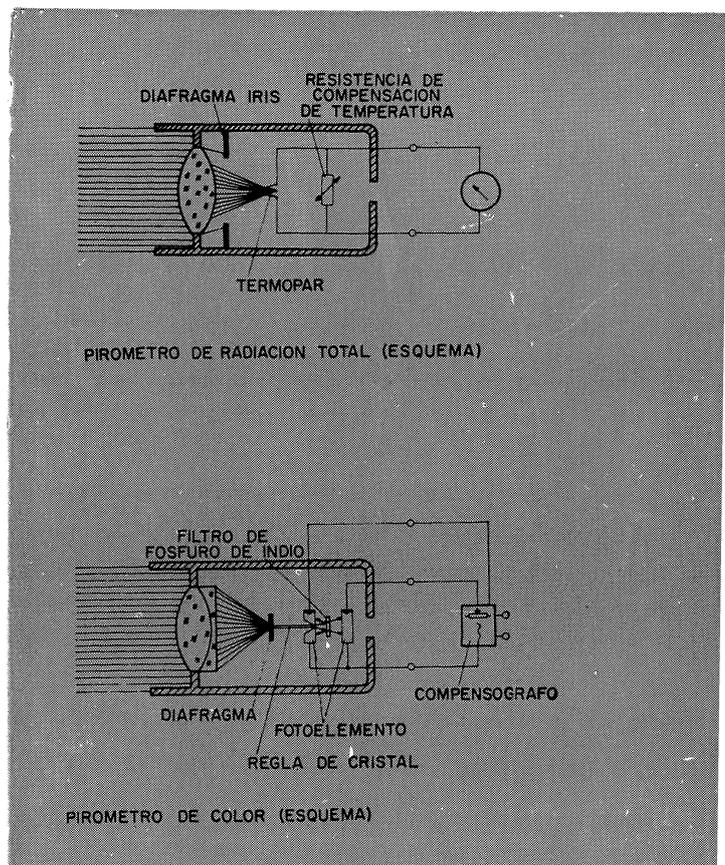


Fig. 4.—Montaje esquemático de dos pirómetros ópticos de radiación.

El pirómetro de color⁵, por el contrario, mide la energía diferencial entre dos espectros luminosos situados en un pequeño intervalo. En este caso aparece uniformemente un debilitamiento de la energía irradiada en ambos canales de medición debido a la atmósfera polvorienta del horno y, por lo tanto, se elimina. El aparato da una medida más exacta y se prefiere para la transmisión automática.

También es conveniente un control de la temperatura en la chapa del horno^{6 y 7}. Este puede realizarse con un pirómetro móvil de radiación, que detecta en la superficie los puntos sobrecalentados a lo largo de una determinada sección del horno.

Asimismo, puede instalarse un pirómetro de punto fijo a mayor distancia del horno, que detecta las temperaturas de la cubierta del horno mediante una oscilación automática. Ambos métodos están representados en las figuras 5 y 6.

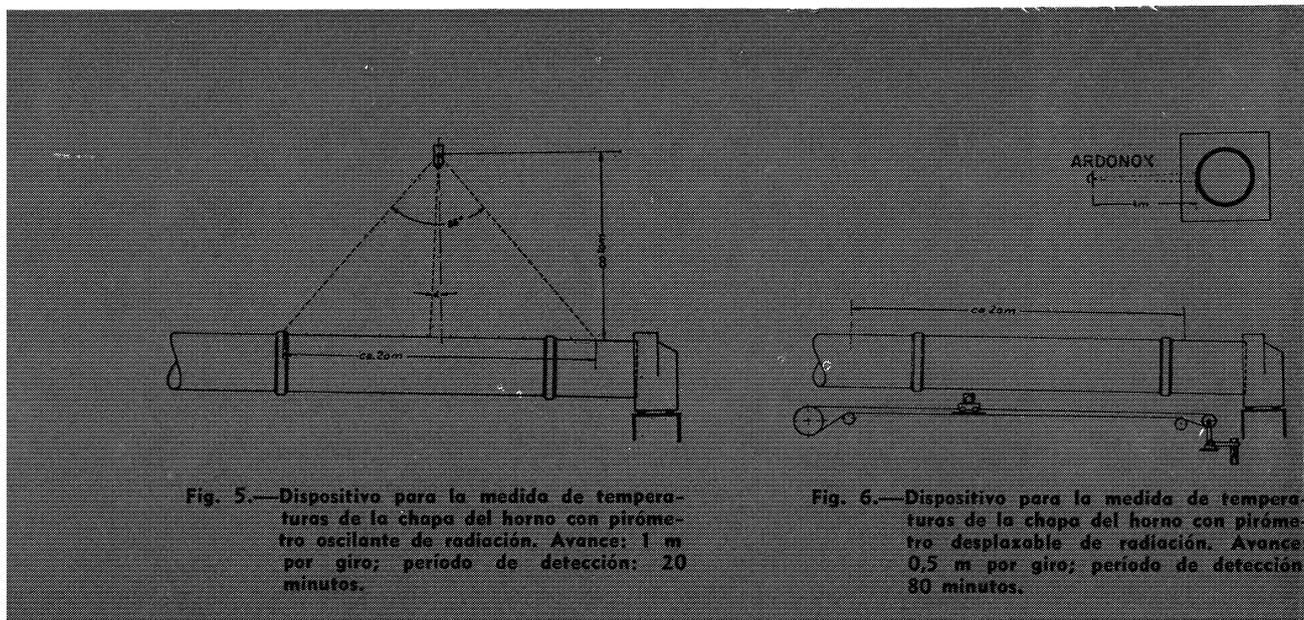


Fig. 5.—Dispositivo para la medida de temperaturas de la chapa del horno con pirómetro oscilante de radiación. Avance: 1 m por giro; período de detección: 20 minutos.

Fig. 6.—Dispositivo para la medida de temperaturas de la chapa del horno con pirómetro desplazable de radiación. Avance: 0,5 m por giro; período de detección: 80 minutos.

Finalmente parece necesario poder observar la imagen de la salida del horno en la sala de control del horno rotatorio teledirigido⁸. La experiencia ha demostrado que, con una correcta disposición de la cámara, la pantalla de la imagen ofrece mejor información que la visión directa del interior del horno.

Para conseguir un funcionamiento uniforme del horno es preciso también una aportación constante de calorías por unidad de tiempo. Esta puede efectuarse con una regulación de la cantidad de combustible⁹, cuya solución ya es conocida.

Para las básculas de cinta dosificadora de carbón, sirve el mismo razonamiento expresado para el polvo crudo en las figuras 1 y 2.

Las revoluciones del horno y del exhaustor de los gases de escape se maniobran mejor a distancia y manualmente. Después de la puesta en marcha se adopta para ellas una regulación fija, relacionada con el estado de carga correspondiente de la instalación.

Por otra parte se han de vigilar los movimientos axiales del horno. Esto se realiza ventajosamente mediante el acoplamiento de interruptores finales a un anillo móvil. En caso de desplazamiento axial correcto, dichos interruptores han de actuar en el momento predeterminado. Si se retrasa el establecimiento del contacto, se presenta inercia o parada en el desplazamiento del horno.

Estos estados producen la alarma en la sala de control.

6. REGULACION DE LA PRESION EN LOS EXTREMOS DEL PASO DEL GAS

Para alcanzar un flujo constante del gas a través del sistema del intercambiador han de mantenerse constantes las presiones en la cabeza del horno y detrás del intercambiador, lo cual se realiza con una válvula situada en la chimenea del enfriador o valiéndose de la regulación del ventilador de despolvado del mismo. Con esta operación se regula simultáneamente la cantidad de aire secundario que entra en el horno.

La regulación de la presión detrás del intercambiador de calor se efectúa mediante una válvula colocada detrás del electrofiltro, donde existe menos polvo. En caso de aprovechar los gases de escape en el secado durante la molienda, dicha regulación tiene mayor importancia, ya que impide la repercusión de las irregularidades de flujo y presión de la instalación de molienda en el horno.

7. VIGILANCIA Y REGULACION DEL ELECTROFILTRO

El electrofiltro se regula variando la tensión¹⁰. El rendimiento del filtro se influencia considerablemente por el punto de condensación de los gases, que en ciertos casos ha de corregirse por medio de toberas con entrada de agua, como ocurre, por ejemplo, cuando el filtro está diseñado para el funcionamiento con secado simultáneo con la molienda, pero sin que funcione esta instalación.

8. VIGILANCIA Y REGULACION DEL ENFRIADOR

Una buena regulación del enfriador debe reunir las siguientes condiciones:

- 1) introducir, dentro de lo posible, gran parte del calor del clínker al horno mediante la corriente de aire secundario;
- 2) conseguir un enfriamiento suficiente del clínker;
- 3) proteger las placas de la parrilla de los recalentamientos espontáneos.

La medida de la temperatura del aire secundario debe efectuarse en un canal de aspiración donde no influya la radiación de la pared. Para esto se han propuesto dos métodos, que pueden verse en forma esquemática en la figura 7. La caída de presión entre la corriente de aire secundario y el manguito de aspiración de una soplante o de un ventilador del aire frío, se utiliza para crear una corriente en la que se puede medir la temperatura del aire secundario sin influencia de la radiación de la pared. Como los ventiladores son sensibles a una elevada proporción de polvo, las soplantes resultan más correctas.

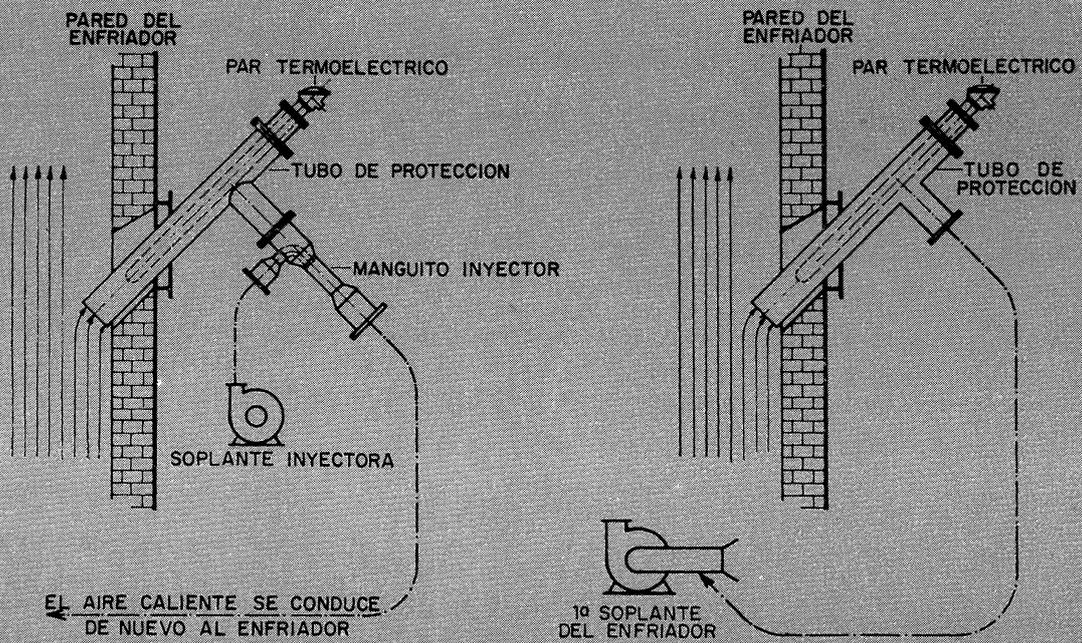


Fig. 7.—Dispositivos para la medida de la temperatura del aire secundario.

MANTENIMIENTO CONSTANTE DE LA POROSIDAD DEL LECHO DE CLINKER

FORMULA PARA DERIVAR LA REGULACION

$$X_w = X_k - [P \pm \alpha(\Delta P - \Delta P_m)]$$

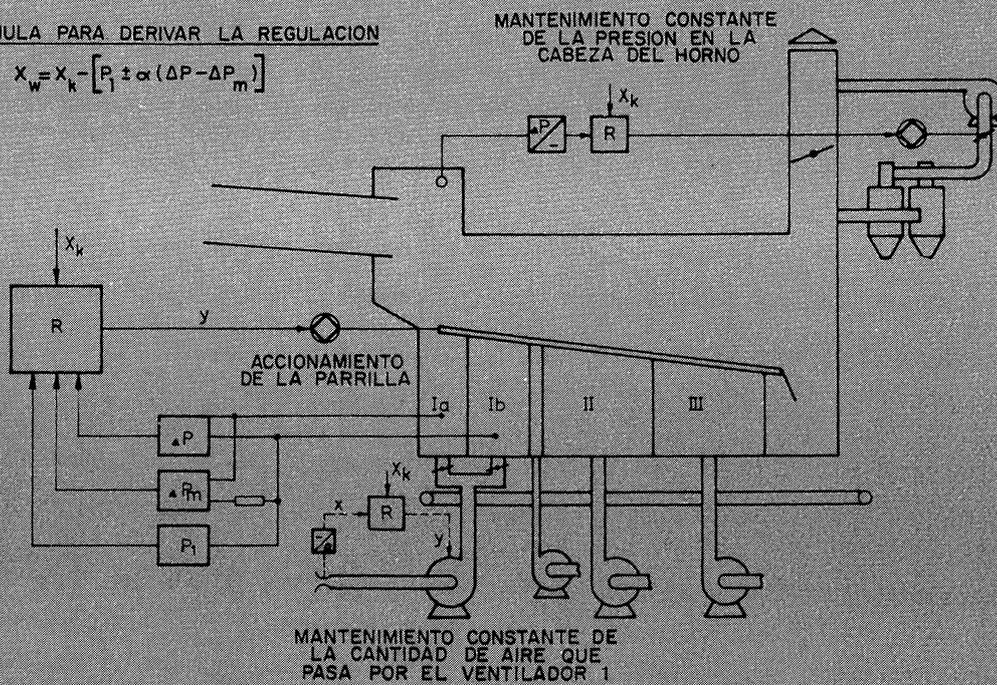


Fig. 8.—Regulación del enfriador según Lafarge.

La porosidad del lecho de clínker, que depende de la granulometría de éste y de la altura de aquél, se controla por la presión dinámica en la primera cámara de enfriamiento.

La corriente de aire de enfriamiento ha de mantenerse, por lo tanto, constante a través de la primera cámara. La temperatura de las placas de la parrilla se mide, generalmente, mediante un termómetro que se introduce por debajo de las placas fijas.

En el lugar de transporte del clínker situado entre la cadena de arrastre y la cinta de caucho, se recomienda la observación de la temperatura mediante un pirómetro de radiación para determinar las partes de clínker insuficientemente enfriadas. El dispositivo de observación conecta un dispositivo de riego. También es conveniente observar el número de revoluciones de la parrilla del enfriador y la entrada a éste mediante una cámara de televisión. A causa del elevado contenido de polvo en la cámara de enfriamiento, se precisa en este caso una técnica especial de iluminación.

La regulación del enfriador se efectúa, en general, según el principio de mantener constante la porosidad del lecho de clínker a través de la cámara con idéntico paso de aire, para alcanzarse, de esta forma, una cesión uniforme de calor en el aire secundario del horno. En este caso debe evitarse simultáneamente un sobrecalentamiento de las primeras placas. A menudo se consideran, como magnitudes auxiliares de la regulación, la temperatura del aire secundario y la temperatura de las placas.

Lafarge ha desarrollado un sistema de regulación muy sensible y de efecto rápido". Con él se consigue una buena uniformidad de la temperatura del aire secundario y una protección eficaz de las placas. La primera cámara de enfriamiento se divide en dos, de forma que el tabique de separación se encuentre detrás de la segunda o tercera fila de placas (fig. 8). Ambas cámaras (Ia v Ib) reciben por separado corrientes de aire fresco perfectamente reguladas a flujo constante. Cada cambio en el perfil del lecho de clínker en la primera cámara, se detecta por este medio y se regula rápidamente.

Actualmente en los enfriadores Fuller se montan cadenas de arrastre para sacar lo que atravesase la rejilla. En el canal de estas cadenas tiene lugar, en parte, una compensación de presión entre las cámaras de enfriamiento, lo que dificulta la aplicación del principio de Lafarge empleando este tipo de enfriadores.

(Continuará)