

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

648-38 EL HORNO VERTICAL. SU ESTADO ACTUAL

F. Soria Santamaría, Ldo. en Ciencias Químicas

- Sinopsis -

Se consideran los inconvenientes de los antiguos hornos verticales y las reformas llevadas a cabo para mejorar la calidad y la producción. Se tratan como circunstancias, que más han influido en la modernización del horno vertical, la granulación en los crudos y la aplicación de compresores adecuados,

INTRODUCCION

Se ha hablado mucho, recientemente, del resurgir de este tipo de instalación, clásica en su aspecto pero totalmente renovada con los modernos recursos de la técnica.

De hecho, estos hornos adolecían de ciertos defectos, atribuíbles, más que al horno en sí, a las instalaciones accesorias y a las de preparación de crudos que proceden a la alimentación.

El tratarse de una máquina estática, donde el material se mueve exclusivamente por gravedad y en sentido casi vertical, exige una preparación de materias primas bastante correcta y, desde luego, mucho más que el rotatorio, tanto en lo que se refiere a composición química como a granulometría y grado de homogeneización.

Por otro lado, el empleo de procedimientos imperfectos para mezclar crudo y combustible, motivaba tal cantidad de trastornos que, en raras ocasiones, por no decir en ninguna, se conseguía un clinker homogéneo y con el tratamiento térmico adecuado.

La formación de adherencias y los grandes bloques de material incoado o sobrecocido producidos, eran, como consecuencia de instalaciones inadecuadas, otros factores que desmerecían el horno vertical.

Por desgracia, hasta hoy no ha sido posible producir clinker por vía húmeda en este tipo de horno, en cuyo caso la homogeneización sería más correcta; siempre hay que recurrir a procedimientos en seco, que ya se encuentran bastante perfeccionados.

MEJORAS EN EL HORNO MODERNO

Al construir hoy en día nuevas instalaciones, se ha considerado la modificación, en ciertos aspectos, de los antiguos hornos, al conocer más a fondo la marcha de los materiales, como resultado de los adelantos científico-técnicos y de la experiencia.

Crudos.— El hecho de emplear el combustible mezclado con el crudo, hace que las propiedades o circunstancias más convenientes dependan de la acción conjunta de ambos componentes.

Hay cualidades, como la retracción, que casi exclusivamente dependen del crudo, por su mayor volumen en la mezcla. Esta retracción llega a ser de tal magnitud (30-50% del volumen primitivo), que exige un ensanchamiento en la boca del horno, de características fijadas, si se ha de mantener el grado de compacidad en toda su longitud.

El progreso más destacado, en la alimentación, ha sido la aplicación del granulador. De las briquetas prensadas, pasando por las barras cilíndricas moldeadas, hemos llegado al granulador de plato, que produce gránulos de 5-25 mm, y aún se tiende a su disminución; a menor

diámetro de gránulo, más se estrecha la zona de sinterización, hasta un cierto límite de aplicación.

Lógicamente, existe una relación entre el tamaño máximo de las partículas del combustible empleado y el del gránulo resultante del granulador, relación que, en ningún caso, conviene sea superior a $1/2$. Por otra parte, la adición de agua en la granulación tiene sus límites, ya que un defecto de aquélla puede resultar antieconómico (pérdidas de polvo), y un exceso, producir aglutinación en bloques de porosidad desigual, con los consiguientes trastornos (perturbación en la marcha del aire, cocciones irregulares por mala combustión y transmisión de calor, lentitud en el paso del material con disminución de la producción, etc.).

Por ello, debe comprobarse en el Laboratorio de fábrica, con cierta periodicidad, la humedad de los gránulos y la influencia de la procedente del combustible, para reajustar el dispositivo de entrada de agua (normalmente, la humedad en los gránulos oscila de 12-15%). Si los materiales son muy plásticos, puede reducirse este porcentaje; la plasticidad puede modificarse, bien con adiciones, o bien modificando la finura de molido entre ciertos límites.

Desde el punto de vista mecánico, conviene mezclar previamente el crudo y el combustible mediante un tornillo sinfín u otro dispositivo similar. La caída del nodulizador al horno es móvil, con objeto de distribuir los gránulos y formar un cono, con tendencia a concentrar en el centro, los gránulos más gruesos, siempre más porosos y que favorecen una distribución más homogénea de la temperatura en la sección transversal del horno.

Según esto, siempre conviene conocer la granulometría de los gránulos, como orientación de la compacidad en el horno; los fi

nos deben desecharse para evitar las pérdidas de polvo.

Desde el punto de vista químico diremos que, en estos hornos, se consiguen buenas cocciones con crudos de módulo aluminico bajo (1,5-1,7), siempre que, simultáneamente, se eleve el módulo silíceo. Los álcalis, como siempre, son perjudiciales, aunque van bien fundentes del tipo de las piritas o incluso de las fluoritas (aumento de resistencia mecánica, ahorro de combustible, eliminación de cal libre, etc.).

Combustibles..- Son dos los combustibles normalmente empleados en estos hornos: cok y antracita. El primero, más poroso, de menor contenido en volátiles, normalmente, y más factible de retener humedad; ambos suelen tener un contenido en cenizas más bien reducido y pueden emplearse mezclados. Es posible que pronto tengan aplicación en estos hornos los combustibles líquidos (fuel-oil, etc.).

Hoy se tiende a aumentar el contacto, o mejor dicho, la capacidad de reacción física, entre crudo y combustible (ya hemos considerado la formación de gránulos) y entre ambos y el aire de combustión, dejando más en segundo término la capacidad de reacción química; la relación normal crudo-combustible es de 10:1, y a veces inferior, suficiente para conseguir una distribución bastante homogénea.

Es de gran importancia la granulometría del combustible, tanto en los tamaños máximos (función del diámetro del gránulo) como en los mínimos, ya que los finos producen, fácilmente, monóxido de carbono, el cual pasa directamente a la atmósfera en el primer lecho de material.- Con ello, disminuye el rendimiento térmico y se aumenta el consumo de combustible. La experiencia confirma que no deben emplearse tamaños inferiores a 2-3 mm de diámetro.

El contenido en humedad de los carbones no debe exceder del 10%; ténganse muy en cuenta los trastornos que acarrea un exceso de humedad en los gránulos.

Aire para enfriamiento y combustión.— Junto con la granulación de crudos, el poder disponer de elevado volumen y presión de aire (modernos compresores) es, en la modernización del horno vertical, el segundo factor de trascendencia.

Con ello se ha conseguido:

- a) Una combustión más perfecta (ahorro de combustible).
- b) Una posición más definida y elevada de la zona de sinterización.
- c) Un enfriamiento más rápido y homogéneo del clinker resultante.
- d) Junto con la granulación, una distribución de carga y temperaturas mucho más regulares.

El ahorro de combustible motiva una disminución en el consumo de aire por kilo de clinker producido, lo que justifica un aumento de la zona de enfriamiento y un estrechamiento de la de clinkerización. Asimismo, al mantener la compacidad en cada sección del horno, se consigue una mejor distribución del aire, impidiendo la posibilidad de combustión incompleta.

El más íntimo contacto, entre el aire ascendente y el sólido que desciende, ocasiona un intercambio térmico mayor, y con ello el combustible quema en las zonas altas con aire precalentado (800-900°C) y a elevada presión, por lo que la combustión es rápida y completa; las pérdidas de CO quedan reducidas, y el enfriamiento del clinker es más perfecto. Inyecciones complementarias de aire de refrige-

ración, a media altura del horno, favorecen este enfriamiento, evitando la cristalización total en el clínker, impidiendo la formación de silicato dicálcico C_2S y facilitando la molienda.

Antiguamente, la formación de bloques, sobre todo en el centro del horno, motivaba la aparición de grandes concentraciones de monóxido de carbono, que no sólo escapaba como tal a la atmósfera, sino que actuaba químicamente como reductor frente a ciertos óxidos (aparición de sales ferrosas, sulfuros, etc.), modificando las cualidades y proporción de fase líquida y dando lugar a sobrecoocidos.

En todo caso, el flujo de aire era superior en las zonas periféricas, por dos razones: menor resistencia de la carga y mayor densidad del aire, al ser más baja la temperatura (pérdidas por radiación-gradiente de temperatura) y, en consecuencia, mayor la concentración en oxígeno.

Por ello, en tales zonas, la sinterización se mantenía a buena altura y las concentraciones en monóxido eran bajas. Por el contrario, en el interior, la gran compacidad, por un lado, y la relación oxígeno/combustible más baja, por otro, dificultaban las reacciones; el carbono reacciona con el CO_2 procedente de la descarbonatación de la caliza (reacción de Boudouard), sin posibilidades de más oxígeno ni temperatura suficiente para completar la reacción hasta CO_2 , quedando como CO que se suma a los gases de escape. El resultado es una distorsión de la zona de sinterización, que llega en su centro casi hasta la parrilla de descarga, sin ocasión ya de conseguir un enfriamiento correcto del clínker dentro del horno.

Una pérdida de 1 Kcal/kg de clínker en forma de CO, equivale, en el consumo total, a 2,5-3 Kcal/kg de clínker. Es cierto que no pue-

den eliminarse completamente las pérdidas de calor en los gases, pero sí aquellas que proporciona el CO como posible calor de combustión. Hay quien, sin embargo, considera que la formación de CO no puede evitarse, dadas las leyes físico-químicas que gobiernan los equilibrios:



Con todo, hoy en día, el consumo de calor en las modernas instalaciones de horno vertical queda por debajo de 1000 Kcal/kg de clínker, frente a las 1500 Kcal/kg, o más, que se consumen en un rotatorio normal.

Revestimiento.— El estrechamiento de la zona de sinterización, debido, en parte, al ensanche de la boca y, en parte, al empleo de inyectores adecuados, reduce indirectamente la influencia del crudo sobre la pared y, como consecuencia, quedan simplificados los problemas de revestimiento.

En los hornos antiguos, la marcha irregular de los materiales daba lugar a adherencias en el forro, circunstancia hoy resuelta — con el empleo de buenos refractarios en la zona de sinterización y mejor distribución de materiales en el horno.

Los materiales extraaluminosos (60-70% de alúmina) no suelen formar adherencia: son recomendables en los tres primeros metros del horno. Si se emplea ladrillo de magnesita, debe colocarse a partir de un metro de la boca (es peligrosa la humedad de los crudos).

En algunas instalaciones extranjeras se emplean materiales refractarios a base de dióxido de titanio, prensados en frío, que no pro

ducen adherencia, y pueden colocarse desde la boca sin ningún peligro frente a la humedad.

Parrilla de descarga.-- El ideal en estos hornos es producir un clinker suelto y poroso (de fácil cocción y fácil enfriamiento). Esto tiene como inconveniente la producción de "chimeneas", con la consiguiente caída rápida del material, incluso a través de la parrilla, sobre todo si aquél es fino. Es lo que suele ocurrir en modelos de emparrillado similares al tipo Grueber, de diseño totalmente plano y simplista.

Debe repartirse por igual el material poroso y el compacto, el duro y el blando, sin tener que alterar la distribución del aire en toda la sección inferior de la carga. Esto ha conducido a nuevos tipos de parrilla de pisos escalonados, de los que existen varios modelos en funcionamiento; esta disposición colabora eficazmente en la correcta distribución del aire en el horno. Con todo, siguen las modificaciones y perfeccionamientos.

Automatismo.-- El horno vertical moderno se controla desde un cuadro, donde se incluyen prácticamente todas las variables que intervienen normalmente en su marcha. Entre ellas se encuentran:

- 1 - Tonelaje en la alimentación y relación crudo/combustible (automatismo en las pesadas).
- 2 - Revoluciones del plato granulador.
- 3 - Revoluciones de la parrilla (variación continua), en doble marcha.
- 4 - Regulación de aire en la soplante (indicación y registro de los datos de presión y volumen).
- 5 - Regulación en el tipo de chimeneas; indicación y registro de la temperatura; análisis automático de gases.

- 6 - Señalización luminosa, acústica y enclavamientos eléctricos que automatizan el funcionamiento de las máquinas, para prever anomalías o defectos en la marcha de la fabricación.

CONCLUSIONES

Se ha hablado mucho acerca de las diferencias entre la fabricación de cemento Portland en horno vertical o en horno rotatorio.

En los últimos años se aceptaba, casi unánimemente, la superioridad técnica del horno rotatorio sobre el vertical. Hoy día, y como consecuencia de las mejoras introducidas en este último, dicha superioridad es discutible, como lo demuestra el auge actual del horno vertical automático.

Comparativamente, el horno vertical siempre ha sido una máquina económica para producir cemento. Por un lado, el costo y tiempo de instalación, así como el acero consumido por tonelada instalada, eran siempre inferiores que en el rotatorio; por otro lado, el combustible empleado por tonelada producida era también inferior.

Ahora bien, el horno vertical ha adolecido siempre de dos defectos fundamentales: baja producción y baja calidad del producto acabado.

Por aquellas ventajas (más bien de tipo económico), el horno vertical se usaba mucho en países como el nuestro, donde, tradicionalmente, se consideraba de interés las economías de acero y de combustible.

Los defectos señalados anteriormente sólo conservan su vigencia en los primitivos hornos, sin tener en cuenta las recientes modificaciones:

En producción, se ha pasado de 40 t/día, hace 30 años, a 180-240 t/día, en la actualidad, disminuyendo a su vez el número de hombres hora/t, con relación a la producción en rotatorio.

En cuanto a calidad, si bien hay fábricas que siguen produciendo cemento de baja calidad, hay otras de montaje reciente que producen un Portland de calidad similar, en todos sus aspectos, al de horno rotatorio. Estas nuevas fábricas, claro está, llevan consigo las modificaciones que hemos citado a través del artículo y, además, un control muy riguroso de la composición y homogeneización de crudos; esta última es condición imprescindible, si tenemos en cuenta que, una vez introducido el material en estos hornos, ya no caben posteriores intervenciones sobre él.

Resumiendo, diremos que, siempre que se trate de nuevas instalaciones para fabricar cemento Portland, no debe desecharse la solución que nos brinda el horno vertical automático que, en ciertas ocasiones, bien por las condiciones de la fábrica, bien por las cualidades de las materias primas, puede ser francamente ventajosa, considerada, sobre todo, desde el punto de vista económico.

La fábrica con hornos verticales puede ser muy provechosa para producciones pequeñas y hasta medias, circunstancias muy de acuerdo con las posibilidades de nuestro país, definidas por múltiples factores, que no viene al caso comentar.

- - -

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Hornos verticales de cemento. Hornos rotatorios
W. Anselm, MONOGRAFIA Nº 116. Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. Madrid, Julio 1952.
- 2.- El horno vertical
(The Vertical Kiln)
F. P. Songyi, CEMENT, LIME AND GRAVEL, tomo 26, nº 11, Mayo 1952, pág. 430-3.
- 3.- El horno vertical del futuro
(Der Schachtofen von Morgen)
E. Spohn, ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 7, nº 11, Noviembre 1954, pág. 409.
Ultimos Avances Materiales Construcción, nº 66, Noviembre 1955, - pág. 10.
- 4.- Dispositivos de dosificación para hornos verticales de cemento
(Dosiervorrichtungen für Zement-Schachtöfen)
E. Spohn, ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 6, nº 9, Septiembre 1953, pág. 333.
- 5.- Juicio sobre la calidad del clinker de cemento de horno vertical
(Die Beurteilung der Güte von Schachtofenklinker)
A. Jordan, ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 7, nº 2, Febrero 1954, pág. 53.
- 6.- Nota sobre los sulfuros y los elementos vitreos de los clinkerés elaborados en horno vertical
(Note sur les sulfures et les éléments vitreux des clinkers élaborés au four droit)
J. Eustache y Infuma, REV. MAT. CONSTR. ET TRAV. PUBL. nº 436, Enero, 1952, pág. 5.
- 7.- Las condiciones de presión en el horno vertical de cemento y la influencia que ejercen sobre ellas la forma del material de alimentación, ventilación y altura del horno
(Die Druckverhältnisse im Zementschachtofen und deren Beeinflussung durch die Form des Aufgabegutes durch das Gebläse und die Ofenhöhe)
A. Beitlich, ZEMENT-KALK-GIPS, tomo 5, nº 5, Mayo 1952, pág. 151.

8.- Significación de la pérdida de CO en los hornos verticales de cemento

(Die Bedeutung des CO-Verlustes bei Zementschachtöfen)

H. Eigen, ZEMENT-KALK-GIPS, vol. 8, nº 4, Abril 1955, pág. 140.