618 - 50

## marcha del horno vertical en Australia

## vertical kiln operation in Australia

(«Cement and Lime Manufacture», XXXIV, núm. 6, noviembre 1961, pág. 83.)

Dr. S. GOTTLIEB

El autor discute la producción de clínker de cemento en horno vertical empleando un proceso completamente automático, en un trabajo presentado al Simposium sobre cemento y hormigón celebrado recientemente por la Asociación de Ingenieros Australianos en Melbourne.

Ya se sabía, desde hace mucho tiempo, que sólo es posible hacer completamente automáticos los procesos a alta temperatura cuando son independientes de la observación visual. Por ello, el trabajo de los hornos verticales se ha sometido a una investigación intensa en todas sus fases: exactitud en las dosificaciones, uniformidad de materias primas, granulometría de combustible, etc., de tal manera que sea posible la total automatización del proceso de sinterización.

La introducción, en 1947, de los granuladores del tipo artesa, permitió la perfecta compenetración de las partículas del combustible con el crudo, abriendo paso al empleo de combustibles volátiles y llevando el tamaño de grano de ambos componentes dentro del mismo margen. El empleo de combustibles ricos en volátiles mejoró notablemente la uniformidad de sinterización por conseguir una velocidad de transmisión de calor excepcionalmente rápida.

La experiencia confirmó el principio de contracorriente aire-gas y tres hornos se transformaron para quemar aceite, basados en los resultados conseguidos con otro horno en un período de dieciocho meses. A pesar de marchar los cuatro hornos con combustible líquido durante varios meses, la producción se consideraba como experimental, debido, principalmente, a los problemas surgidos en la recirculación de los gases calientes.

De este trabajo se dedujo una conclusión importante, que más tarde condujo a la mejora en los proyectos de los hornos: el aumento del flujo de gases a alta temperatura, con grandes velocidades y caídas elevadas de presión, mejora la uniformidad de transmisión de calor en las zonas de sinterización. Este resultado es contrario al principio de que un horno vertical sólo puede trabajar con combustibles de alto contenido en carbono fijo, tales como el cok. Cada partícula de cok embebida en el material arde, no obstante, y radia calor al material que le rodea motivando un flujo de gases CO y CO<sub>2</sub> que se mueve a través de huecos y poros. En este proceso, juega un gran papel la transmisión de calor radiante de la partícula que arde y es inevitable que las capas de crudo de las inmediaciones de estas partículas se calienten a mayor temperatura que las capas más externas. Además, la partícula de combustible cambia en su contenido de cenizas, que reaccionan químicamente con la capa inmediata de crudo, formando eutécticos a temperaturas inferiores a la necesaria para sinterizar clínker.

Aunque se han conseguido grandes mejoras con los últimos intentos para reducir el tamaño de las partículas de combustible por molienda conjunta con el crudo, puede conseguirse mayor uniformidad de temperatura en la zona de sinterización mediante un combustible o mezcla de combustibles de mayor contenido en volátiles. Con tales combustibles, sin embargo, es esencial conseguir nódulos absolutamente uniformes de tamaño y, además, el tamaño de partículas de combustible y crudo deben ser lo más parecido posible. Es muy importante la uniformidad en la composición química de crudo y cenizas de combustible si el contenido en volátiles del combustible es muy elevado.

37

Si se producen nódulos de tamaño correcto en el granulador, la diferencia de temperatura entre su superficie y el núcleo puede ser 500°C. De este modo cada nódulo se encuentra rodeado con una corriente rápida de gases y aire caliente, y la materia volátil del combustible, que alcanza su temperatura de inflamación en el propio núcleo, quema tan pronto como entra la corriente caliente en los huecos formados por los nódulos.

Al aumentar la finura del crudo hay un crecimiento notable de la reacción química entre las partículas de combustible y los carbonatos del crudo, singularmente según la reacción;

 $CO_3Ca + C \rightarrow CaO + 2CO$ 

De este modo, en cierta extensión, la oxidación del combustible puede empezar independientemente del acceso de aire, y esto también contribuye, en gran escala, a la uniformidad de la sinterización.

La mezcla de crudo y combustible pulverizados se alimenta en el plato del nodulizador, a la vez que se añade una cantidad controlada de agua a través de unas duchas (fig. 1). Los nódulos fluyen a través de un distribuidor rotatorio, y de ahí caen al horno. El nodulizador de artesa se introdujo en Suiza en el año 1947, y en Australia tres años más tarde. Los primeros aparatos no eran muy perfectos, pero en los últimos años se han llevado a cabo muchas mejoras en los detalles mecánicos del equipo.

Las características de nodulización de crudos varían, en gran escala, con las propiedades físicas de las materias primas; su finura es de gran importancia. Se han ideado métodos de laboratorio para ensayar las características físicas de los crudos, siendo los ensayos más adecuados, para comprobar si los materiales pulverizados poseen características de nodulización aceptables, de una parte la formación de bolas pequeñas, del tamaño de un garbanzo, a partir del material pulverizado humedecido y posteriormente secos a 50° C para los ensayos de abrasión y resistencia mecánica; por otro lado, la formación de nódulos en el laboratorio con la cantidad óptima de agua, sometiendo estos nódulos al secado y posterior exposición al aire con un contenido de humedad conocido y midiendo la absorción y desorción de humedad. Los trabajos de laboratorio han demostrado que la porosidad de los nódulos después del secado, juega un papel importante sobre las propiedades físicas en el precalentamiento a temperaturas más altas. Por debajo de una porosidad crítica los nódulos muestran una tendencia a la rotura durante el proceso de precalentamiento; además, parece que es necesaria una cierta porosidad mínima para que los nódulos conserven su forma durante el precalentamiento y la sinterización; esta porosidad mínima varía y depende del tipo de material y de su finura. En la figura 2 puede observarse la sección de un nódulo bien sinterizado.

Si las velocidades de alimentación de nódulos en el horno y de descarga de clínker a través de la parrilla son iguales, el nivel de la carga permanecerá constante y el material se moverá hacía abajo a una velocidad uniforme de 1,35 m/h; esto corresponde a una producción de 200 t de clínker en veinticuatro horas. El aire se mueve hacía arriba en dirección opuesta y los nódulos bajan, calentándose hasta que la temperatura es suficiente para inflamar las partículas de carbón que llevan incorporadas, produciéndose así la zona caliente. A causa de la gran velocidad de transmisión de calor, el aumento de temperatura en una longitud de horno de 3 ft (91 cm) es superior a 1,360° C (desde 100° C en los gases de escape hasta 1,460° C en la zona caliente). En la figura 3 se muestran las partes principales en una sección del nuevo horno, así como un gráfico de sus temperaturas.

En el área por encima de la zona caliente puede haber una deficiencia de oxígeno en los gases; ciertas partículas de combustible en los nódulos alcanzan temperaturas a las que puede escapar su materia volátil, pero, por defecto de oxígeno, no queman completamente. Por lo tanto, o bien las partículas de carbón penetran en el nódulo de modo que la caída de temperatura entre la superficie de aquél y la partícula más próxima de combustible sea suficiente para prevenir el escape prematuro de las materias volátiles, o bien se crea un acceso de aire secundario en el área situada sobre la zona caliente con objeto de proporcionar oxígeno para la combustión de la materia volátil que ha alcanzado la temperatura de escape. En los dos últimos años se han realizado experiencias, en gran escala, con dos hornos, empleando conos en forma de campana para introducir aire en la parte alta del horno en contracorriente al flujo principal que procede de la base. En las figuras 4 y 5 se ven las secciones en la zona de sinterización de dos hornos, sin y con aportación de aire secundario. En relación con esta modificación hay que resolver varios problemas. Se requiere mayor exactitud en la dosificación y granulación, y el equilibrio entre la temperatura del aire y la ignición de los productos volátiles debe ser perfecto. Se reduce algo la producción, puesto que se dispone de un área más pequeña en la zona de sinterización.

Al proyectar un horno vertical que se alimente con nódulos son precisos amplios estudios y trabajo experimental sobre porosidad, marcha de gases en huecos y poros, ignición del carbón, inflamación de los varios grupos de materias volátiles, transmisión de calor por convección de los gases en flujo turbulento a la superficie del material y transmisión de calor por radiación de las partículas de combustible que arden a los materiales que les rodean. Para estudiar las fases de precalentamiento se proyectó un tubo toma-muestras. El tubo consta de dos medias cañas con bisagra y el extremo termina en punta. Se introduce en el horno por su parte más alta, se abren las dos medias cañas, se gira y se clerra de nuevo de tal manera que, al sacarlo del horno, lleve dentro una muestra representativa de las varias fases del precalentamiento y sinterización (fig. 6).

El igualar los tamaños de las partículas de combustible y crudo presentó muchos problemas. Las grandes ventajas de las partículas más finas de combustible se conocen desde hace mucho tiempo, y el combustible, finamente molido, produce clínker poroso en forma nodular que enfría muy bruscamente. El enfriamiento lento del clínker procedente de horno vertical de tipo más antiguo se consideró siempre una desventaja serla. De todos es sabido que los cristales de silicato tricálcico, creados por un adecuado tratamiento térmico, puede desintegrar en CaO libre y silicato bicálcico como consecuencia de varias circunstancias, singularmente debido al enfrimiento lento o por enfriamiento a partir de un estado sobrecalentado en condiciones químicamente reductoras. Un horno vertical

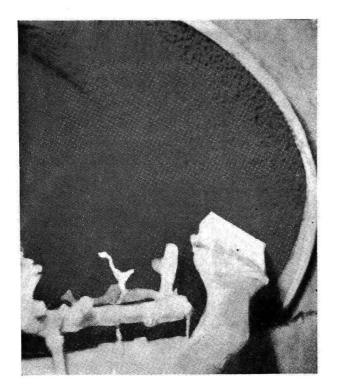
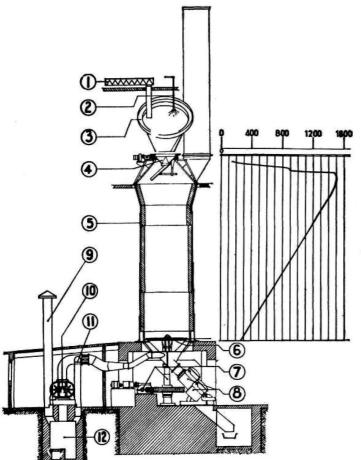


Fig. 2.

Fig. 1.



- Transportador-alimentador helicoidal.
   Ducha de agua.
   Nodulizador.

- Canaleta de alimentación.
- Chapa y revestimiento del horno. Parrilla rotatoria.
- 6. Parrilla rotatom.
  7. Mecanismo de arrastre de la 8. Esclusas de cierre hidráulico.
  9. Toma de aire.
  10. Soplante.
  11. «Bypass» de aire. Mecanismo de arrastre de la parrilla.

Fig. 3.

que emplea combustible finamente molido no permite tal desintegración, a causa de la porosidad y consecuente rápido enfriamiento de los nódulos sinterizados.

En la tabla I se expone el balance térmico de un horno vertical, en la planta de Traralgón, Victoria, Australia. En él se registra un consumo de combustible muy bajo en comparación con los hornos rotatorios convencionales que marchan en Australia; por otro lado, los resultados muestran posibles nuevas mejoras. Las pérdidas por radiación a través de la chapa del horno son grandes, indicando la necesidad de un mejor aislamiento que los hornos verticales modernos pueden soportar, puesto que las condiciones de su marcha tienen muy poca influencia sobre el revestimiento. Las investigaciones llevadas a cabo durante los pasados cuatro años, han demostrado que las pérdidas de calor de un horno vertical son mayores en el material que se encuentra hasta 10 cm, contados éstos desde el revestimiento; en esta capa, la sensibilidad a perturbar el balance de temperatura es la más elevada.

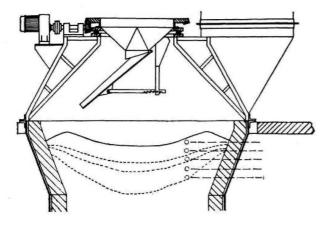
Con objeto de conseguir una exacta dosificación de combustible y crudo, la molienda conjunta en molino Loesche va muy bien; esto es debido a que esta clase de molino retiene las partículas en el proceso el tiempo justo para conseguir el tamaño requerido; el aire arrastra dichas partículas del molino a un clasificador rotatorio y de ahí se descarga al silo. El mejor método para controlar la constancia de composición química es adoptar el método de saturación en cal y no la valoración volumétrica de carbonato. La planta está equipada con los aparatos necesarios para proporcionar, con precisión crudo y combustible (fig. 7). Una vez hecha la mezcla se transporta a una tolva de alimentación de 20 t, en la cual se mantiene constante el nivel de material. El material sale de esta tolva por un alimentador de celdas de velocidad variable, eliminándose los peligros de avalancha.

En los últimos años las investigaciones han permitido llevar el diseño del horno vertical moderno a un punto de desarrollo muy prometedor. Es posible realizar el proceso de sinterización sin control visual de la cocción. El horno puede trabajar con combustibles pobres. Por el tipo de sinterización y enfriamiento, la calidad del clínker es alta y uniforme, y tiene la ventaja adicional de un contenido de álcalis mucho más bajo.

## TABLA I

## Balance térmico

Calor acumulado keal/kg	Calculado para 1 kg de clinker	Calor consumido kcal/kg
	Evaporación de agua	201,9
	Descomposición de carbonatos	. 510,4
	Calor arrastrado por el CO $_2$	. 30,8
	Calor sensible en gases de escape	. 90,8
	Calor sensible en el clínker	30,1
	Calor sensible en el polvo	1,1
	Parte de material volátil+CO+H $_2$	46,4
	Radiación a través de la chapa del horno	. 166,5
100,2	Reacción exotérmica	•
0,6	Materia orgánica en crudos	
977,2	Calor acumulado por el combustible $\dots$ $\dots$ $\dots$ $\dots$ $\dots$ $\dots$	
1.078,0	Calor teórico requerido para 1 kg de clínker:	1.078,0
	Descomposición de carbonatos	. 510,4
	Menos reacción isotérmica	. 100,2
		410,2
	Rendimiențo	. 38 %



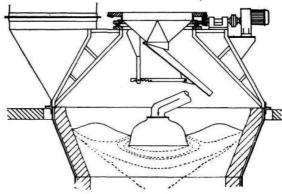
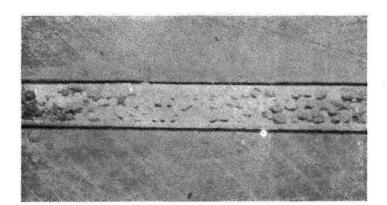


Fig. 4.

Fig. 5.



- Conteniendo combustíble y crudo húmedo.
   Parcialmente seco.
   Expulsado todo el CO<sub>2</sub>.
   Nódulos con envoltura sinterizada.
   Clínker completamente sinterizado.

Fig. 6.

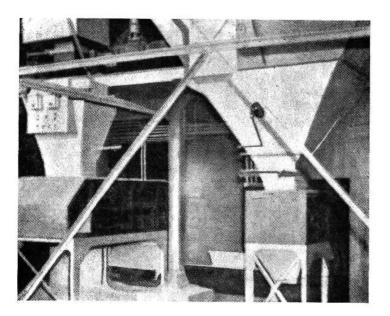


Fig. 7.

41