

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

2

616-45 EL HORNO VERTICAL A LA LUZ DE LOS CONOCIMIENTOS MAS RE -  
CIENTES.

(Der Zement Schachtofen im Lichte Neuester Erkenntnisse)

De: "ZEMENT - KALK - GIPS", n.º 1, pág. 1, 1951.

A. Beitlich.

---

En los años posteriores a la guerra, no lo fué posi -  
ble a la industria alemana del cemento, seguir el ritmo, cons -  
tantamente creciente, de la demanda de cemento. La necesidad de  
construir viviendas, reparar industrias y ampliarlas, así como  
las exigencias impuestas por las autoridades de ocupación y la  
reanudación del comercio de exportación, requerían un elevado -  
rendimiento de la capacidad de producción de las fábricas. Entro  
tanto, se repararon en su mayor parte, los daños ocasionados -  
por la acción enemiga y el abandono obligado por las circunstan  
cias bélicas, de forma que en casi todas las fábricas se ha al  
canzado el nivel de producción de la preguerra. Además la compo  
nencia aparecida, después de los reajustes monetarios, entre -  
los fabricantes y el comercio extranjero, ha hecho que también  
se haya vuelto a alcanzar el nivel anterior a la guerra, desde  
el punto de vista de la calidad.

Todas estas circunstancias condujeron necesariamente  
a que las fábricas con gran consumo de energía y gastos eleva -  
dos tendiesen a ampliar sus instalaciones mediante nuevas esta  
ciones de molido y hornos. En una primera ojeada, a este respec  
to, sorprende el que haya desaparecido en parte la línea de so-

paración, antes bien delimitada, entre hornos rotatorios y hornos verticales. Fábricas con hornos rotatorios, instalaron hornos verticales adicionales, mientras que otras dotadas de hornos verticales pasaron a adoptar nuevos hornos rotatorios. La causa de esto, depende en primer lugar de las condiciones regionales y ulteriormente del capital necesario para las construcciones de ampliación. En la zona septentrional de nuestra república federal, donde por la aglomeración de muchas fábricas se originaron, de vez en cuando dificultades para dar salida a los productos dentro del mercado interior, ha procurado orientarse cada vez más hacia la exportación.

En algunas fábricas con hornos verticales, se tropezó con la dificultad de que los cementos fabricados no siempre satisfacían las normas extranjeras, especialmente en lo referente a la pérdida al fuego. Por ello se trató de dotar a las instalaciones con hornos rotatorios y obtener el cemento como producto de la molienda común de clinker procedente de ambos tipos de hornos. En la zona meridional las condiciones son completamente distintas. En esta el comercio de exportación no tiene un volumen tan grande, y por ello, en la mayoría de las fábricas nuevas se instalaron hornos verticales, que requieren una inversión más reducida de capital y un tiempo de construcción más breve.

A pesar de las deficiencias que presenta el cemento fabricado en hornos verticales respecto al de los hornos rotatorios, les ha sido posible a estos, ponerse a la altura de los rotatorios, gracias a los perfeccionamientos que constantemente se han ido introduciendo. Pero para que en un futuro pró

ximo tenga el horno vertical posibilidades de imponerse, hay que atender en primer lugar a que se haga aplicación de los cuantiosos conocimientos y mejoras que se han realizado a través de los años. Precisamente, con las condiciones actuales, es favorable - especialmente dar paso en gran escala al horno vertical.

El objeto de este artículo es dar a conocer las experiencias y estimular el aumento de producción de los hornos y la mejora de la calidad del clinker.

#### PREFABRICACION DEL CRUDO

De importancia fundamental es el crudo y su preparación. Para el horno vertical, es aún más importante que para el rotatorio, que el crudo sea uniforme, especialmente desde el punto de vista químico. Grandes variaciones en su composición conducen inevitablemente a perturbaciones en el funcionamiento del horno y hacen necesarias frecuentes modificaciones en la dosificación de carbón. Con estas modificaciones se aumenta la tendencia a la formación de "pegados". Aunque el hornero sea advertido con tiempo de estas oscilaciones, no puede evitar aún con el manejo más cuidado del horno, que se produzcan anomalías. Por consiguiente para obtener un buen clinker hay que conseguir la preparación de un crudo de composición y grano uniformes, mediante una molinada uniforme y un espacio suficiente para efectuar la mezcla en los silos de crudo.

Químicamente es de gran interés, el contenido en  $Fe_2O_3$  del crudo. Frecuentemente se ha visto que es favorable agregar al crudo pequeñas cantidades de materiales que contengan óxidos de hierro, para completar su porcentaje de éste. A este respecto hay que tender hacia un módulo de arcilla de 1,5 aproximadamente

Las ventajas que se consiguen con esto son una coadura más uniforme con menor gasto de combustible, sin que se aumente la tendencia a la formación de "pegados".

### DOSIFICACIONES DEL CRUDO Y CARBÓN

Como combustible del horno vertical lo más apropiado es un menudo, lavado y seco, de antracita. Se puede emplear carbón de cok con diámetros menores de 10 milímetros, siempre que el desgaste producido en los medios de transporte debido a la dureza del cok se mantenga dentro de límites admisibles. Ante todo es importante, que el combustible presente una humedad uniforme cuando va a ser conducido al horno, ya que las fábricas de hornos verticales no disponen de instalaciones propias para secar carbón. Si esto no sucede, la dosificación uniforme de crudo y carbón tropieza con dificultades, que obran posteriormente de modo desfavorable en la marcha del horno. La dosificación de los dos materiales tienen que establecerse con medios de trabajo precisos atendidos por personal experto. Esto facilita constantemente la dirección de la combustión, traduciéndose en un ahorro de carbón. A ser posible todo horno debe de estar dotado de una instalación de dosificación propia. Los gastos suplementarios que por ello se originan se compensan con creces por las menores interrupciones que se advierten en el funcionamiento debidas a trabajos de reparación. Los alimentadores continuos como p. ej. cintas transportadoras, son preferibles a los de balanza. La adición de crudo por medio de tornillos dobles sin fin o la dosificación de carbón con mesas de alimentación son casi siempre muy imprecisos y por ello antieconómicos.

### MOLDEO DE LA MEZCLA DE CRUDO Y CARBÓN

Uno de los factores más importantes para la elaboración de un buen clinker con elevado rendimiento del horno simultáneamente, es la elección de la preparación y el moldeo de la mezcla de crudo y carbón. Para esto se han seguido una serie de procedimientos sobre los que expondremos brevemente sus ventajas e inconvenientes.

El humedecimiento se suele hacer la mayoría de las veces con mezcladores de tornillos sin fin, a los cuales se conduce directamente (es lo mejor) el material procedente de las instalaciones de dosificación por medio de canchales. Los silos intermedios a la artesa de humedecimiento son casi siempre innecesarios y puede prescindirse de ellos. Los mezcladores que trabajan bien deben mezclar íntimamente el material y distribuir el agua lo más uniformemente posible. El agua debe afluir desde ambos lados de la artesa a través de un número elevado de pequeños agujeros o boquillas. Además la cantidad de agua debe ser fácilmente regulable. Las paletas de mezclar deben ser de un material poco desgastable, bastante gruesas (25 - 30 mm.), y de un ancho tal que se solapen entre sí sus diferentes zonas de acción. Las partes desgastables de las paletas deben ir a rosca, de suerte que cuando su diámetro sufra un desgaste determinado puedan renovarse fácilmente. Debe prescindirse de emplear barras en vez de paletas, ya que con ellas el material se estanca en la artesa e impide el avance, formándose fuertes concrecionos en las paredes de la artesa. Además es importante que el número de revoluciones del eje no sea muy elevado, como sucede hoy frecuentemente. No debe exceder en lo posible de 40 r. p.m. ya que sino el material tiene tendencia a desagregarse.

Los primeros hornos verticales automáticos, se alimentaban por medio de piezas paralelepípedicas comprimidas. Sin embargo, hoy día, casi no se emplea este método. En su lugar, la masa humedecida se moldea con prensas, casi siempre formadas como trituradores de noria, en las cuales el material es obligado a pasar por orificios de 25 a 30 mm. de diámetro. También son corrientes prensas, en las que el material es obligado a pasar a través de placas verticales agujeradas, por medio de tornillos sin fin. Con este moldeo debe conseguirse que el aire pueda pasar bien a través de la capa de material moldeado, sin que se atasque el horno por la presencia de material demasiado fino. El inconveniente de este moldeo estriba en que las prensas se ven sometidas a un desgaste intenso, especialmente cuando el combustible contiene carbonilla de cok. Además el aire necesario para la combustión no siempre tiene el acceso suficiente al combustible lo cual conduce a una cocción débil del clinker.

Para combatir esta última dificultad, en muchas fábricas, se ha pasado a moldear la mezcla de carbón y crudo en forma de granalla. No todos los crudos son apropiados para esta clase de moldeo. El éxito depende en gran parte de la plasticidad del material. Las granallas deben tener aproximadamente el mismo tamaño, con 8 a 12 mm. de diámetro. Las granallas de mayores diámetros, lo mismo que las formas prensadas, no permiten el fácil acceso del aire de combustión al carbón. Por el contrario las de tamaños más reducidos determinan un llenado de horno demasiado compacto. Una buena granulación sólo puede conseguirse en tambores de dimensiones suficientes. Tales tambores tienen una longitud de 4 a 5 m. y un diámetro de 2,5 a 3 m. El número de tambores en servicio existentes en la actualidad es muy

reducido. Con un diámetro grande y por tanto una altura de caída considerable, se le dá al material ocasión de compactarse suficientemente. Es recomendable especialmente, que el crudo se riegue y desmenuce alternativamente dentro del tambor; este método proporciona granallas ligeras, del diámetro deseado. El disponer elementos dentro del tambor para obtener una mezcla mejor ó un estancamiento no ayuda al proceso de granulación y entorpece inutilmente, por el contrario, la limpieza del tambor. Ultimamente se ha desarrollado un procedimiento de granulación en Suiza principalmente, que en vez del tambor utiliza una mesa con bordes, inclinada. Según parece, las granallas que se obtienen son muy uniformes y han dado resultados satisfactorios para las operaciones posteriores.

En muchas fábricas de Alemania meridional se ha prescindido de las promas y de la granulación y se alimenta a los hornos directamente a partir del mezclador de tornillo sin fin. Este método, que con elevados rendimientos de horno (160 Tm por día) da un buen clinker, es el preferido por el autor. Con material uniforme, humedecimiento bien regulado y un cuidado metódico a cargo de personal instruido se obtiene un material suficientemente permeable para dar acceso suficiente de aire a la vez que no ofrece gran resistencia a la circulación de aire. El clinker se cuece bien, es poroso y de fácil molienda. Es muy favorable ya que se evita con ello el desgaste del moldeo y el consumo de energía es notablemente inferior. También se han obtenido buenos resultados con moldeo por medio de rodillos acanalados.

### ALIMENTACION DEL HORNO CON MATERIAL

Para la entrada del material, se encuentran aún instalaciones, en las cuales este, tiene que seguir un largo recorrido desde la máquina de moldear hasta el horno, al que cae libremente o es conducido por canales muy inclinados o tubos. Frecuentemente sucede que debido a los choques o caídas violentas, el material pierde su forma, sobre todo cuando se trabaja con él algo húmedo. Por ello se reducen considerablemente los huecos dentro del horno. Esto influye de modo desfavorable en la regulación de este. Lo mejor es que el material siga un recorrido pequeño y no caiga libremente, sino que deslice lentamente. El distribuidor rotatorio se adapta bien a este fin y debe llegar lo bastante profundo, para que alcance a la capa superior de material. También debe poder variar con facilidad su inclinación para que el hornero pueda dirigir el material hacia el centro o hacia los bordes del horno según convenga. Se ha visto que resulta muy práctica una barra horizontal de disección colocada en el borde más alto de la cúpula del horno; con su ayuda el hornero puede desde cualquier punto de la plataforma del horno hacer que el distribuidor gire a izquierdas o a derechas y aún dejar que funcione. De este modo el material se va lloviendo a sitios en los que, por cualquier razón, se ha ido vaciando más de prisa el horno o sea demasiado intensa la circulación de aire. Se tiene así en la mano la dirección de la combustión. Mucho menos favorables son los distribuidores rotatorios de mosa fija colocados dentro de la cúpula del horno. Con estos el material cae siempre en los mismos puntos, anularmente situados, y no se puede regular arbitrariamente la afluencia de este.

### FORMA DEL HORNO

Uno de los inconvenientes principales de muchos hornos de tipos antiguos reside en su forma, particularmente en su altura. Los ensayos en modelos reducidos y las experiencias deducidas de la práctica con hornos bajos han enseñado, que el clinker mejora de calidad cuando se cuece rápidamente, no se halla sometido a una carga elevada durante el proceso de sinterización y experimenta un enfriamiento enérgico y rápido después de abandonar el horno. El clinker de horno vertical debe ser poroso y de resistencia mecánica reducida, con un porcentaje pequeño de elementos mal cocidos o cocidos con exceso. Con hornos elevados sobre todo si el diámetro es también grande, resulta difícil conseguir un clinker bien y uniformemente cocido. Los hornos elevados tienen la tendencia a formar largas zonas de sinterización, especialmente en la parte central inferior del horno. La presión elevada del material suprayacente actúa desfavorablemente en el clinker, aun blando, y hace que la carga del horno se haga demasiado compacta entorpeciendo la circulación del aire, que al no ser uniforme origina una combustión deficiente. En hornos bajos, y en estos están comprendidos los de 7 á 9 metros, es mucho más fácil regular la combustión. El horno puede y debe llenarse hasta el borde superior, lo cual simplifica notablemente al hornero la dirección de aquél. Es ventajoso que el diámetro del horno no exceda de 2.5 m.; diámetros menores aceleran la combinación y disminuyen el peligro de formación de "pegados". También facilita el enfriamiento del clinker.

Las dimensiones interiores del horno, es decir, la configuración en sentido descendente de la sección transversal del horno, deben acoplarse al estado eventual de la carga. A -

través de la deshidratación, neutralización y finalmente la com bustión, la carga esta sometida a una lenta retracción, que se traduce en una contracción de su volumen total. Esta contracción como mejor puede tenerse en cuenta es, como ya ha señalado E. - Spohn, dando forma de embudo a la parte superior del horno, coincidiendo el extremo inferior del embudo con la zona en la cual ha concluido la contracción de volumen. Esto suele suceder a - 1,5 - 2 m. por debajo del borde del horno. Con ello se evita el que se formen grietas en el contorno, a través de las cuales - puede circular el aire de combustión sin utilidad alguna. Por la misma razón, tampoco es aconsejable estrechar o ensanchar la - sección del horno por debajo del embudo.

#### LA CARGA DE LLENADO DEL HORNO

En lo que se refiere a la carga del horno, el horno - vertical no es tan sensible como el horno rotatorio debido a su posición estática y a la temperatura que es más uniforme. Las - paredes del horno vertical suelen tener una vida de varios años. Normalmente solo la zona de sinterización requiere reparaciones ocasionales o nuevas paredes. Es difícil señalar que clase de - piedra es la mas apropiada. La elección acertada depende mucho de la composición química del material combustible, de la mar - cha del horno y de las sollicitaciones mecánicas. Este problema como mejor se resuelve es con ensayos prácticos.

Para los hornos que tienen una fuerte tendencia a la formación de "pegados" se han mostrado como muy eficaces las - piedras con un elevado contenido de Titan. Los "pegados" que se forman primordialmente en estas piedras se caen y luego la forma -

ción de "pegados" es muy reducida. Con piedras delgadas hay que contar con grandes pérdidas de calor. En algunos hornos la cubierta envolvente es refrigerada con parte del aire inyectado. Sin embargo la experiencia ha demostrado que no se obtienen ventajas apreciables.

#### AIRE DE COMBUSTION

Los adelantos mas importantes en el desarrollo de los modernos hornos verticales y en el aumento de su rendimiento afectan a la producción del aire de combustión. Los turbo-inyectores que tanto se usaban antes y aún hoy, son desplazados paulatinamente por inyectores blindados de pistón de mayor rendimiento. Estos últimos presentan la ventaja de que aportan constantemente la cantidad de aire necesaria al proceso de combustión independientemente de la resistencia que ofrezca el horno. Hay que cuidar de que el aire aspirado este libre de polvo y cuerpos extraños, para que no se produzcan daños en los émbolos que con tan reducido espacio de juego ajustan entre sí. Deben evitarse estrechamientos del diámetro útil de las tuberías de aire al llegar a la boca de inyección, situada debajo de la paletilla del horno, así como curvaturas excesivas, ya que con ello se producen desconsos de presión y pérdidas de volumen de aire aportado. Como los inyectores blindados producen mucho ruido deben instalarse en locales cerrados.

La regulación de aire inyectado se hace mediante una válvula de estrangulación dispuesta en una derivación, que desvía parte del aire inyectado procedente de la tubería de presión a la cámara de aspiración situada, normalmente, debajo del inyector. Es importante que se abra la válvula al arrancar el -

inyector, ya que si no tropieza a pleno rendimiento contra la resistencia total del horno. La inspección del inyector se realiza mediante manómetros y contadores de volumen de aire. El gasto de aire en un horno vertical a pleno rendimiento con una producción diaria de 150 a 160 Tns es de 190 a 200 m<sup>3</sup>/mm. y con una presión de 1.500 mm. de columna de agua, aproximadamente.

#### VACIADO DEL HORNO

En lo referente al vaciado de las parrillas se ha modificado o mejorado muy poco en los últimos años. La más utilizada, son las parrillas giratorias de la Fa. Cobrueber y la parrilla Maunstaedl de la Fa. Humboldt. Las dos están bien construidas y se han comportado igualmente bien a través de un funcionamiento de varios años. Para una marcha uniforme del horno es conveniente que se le dote a la parrilla con un mecanismo regulable.

Debido a las presiones crecientes en los hornos, también tuvieron que mejorarse las esclusas de vaciado. La acción de contrapesos ya no era suficiente para conseguir un cierre eficaz. Se ha probado como muy bueno un cierre de válvula magnética. En el instante de cierre de la esclusa, un potente electroimán atrae a la palanca de la válvula reteniéndola hasta tanto que se cierre esta. Si, como suele ocurrir, quede aprisionado un trozo de clinker entre la válvula y el borde de la esclusa la acción del campo magnético se debilita fuertemente. Ese seguro complementario del cierre trabaja sin desgaste alguno en contraposición con los cierres mecánicos de palancas articuladas. Las esclusas de vaciado de tipos más modernos están dotadas con mecanismos de cierre hidráulico.

### ELIMINACION DE GASES Y POLVO.

La evacuación de los gases de combustión de la cúpula del horno suele realizarse normalmente por medio de una chimenea de chapa, con tiro natural y que es suficiente por lo general para mantener la plataforma del hornero, libre de gases. Cuando el rendimiento de los hornos es muy elevado y los inyectores muy potentes, se ha recurrido también a la expulsión de los gases por medio de grandes ventiladores. Al forzar la producción y aumentar la aducción de aire, no puede evitarse que crezca la eycción de polvo procedente del horno, lo cual crea serias preocupaciones. Al contrario de lo que sucede con los gases de escape en instalaciones de hornos rotatorios, aquí se encuentra uno, con partículas relativamente grandes, que se depositan en las proximidades inmediatas a la chimenea y en los tejados de la fábrica, dando lugar a la tan indeseable arena de tejados. Además junto con los vapores de agua se produce un humo muy fino, compuesto de alcalinos, principalmente. Es relativamente fácil eliminar las partículas gruesas de los gases de escape con un gasto reducido en instalaciones y energía. Para ello se los conduce por medio de un ventilador, colocado a un lado de la chimenea, a una cámara de lavado. En esta los gases pasan a través de una lluvia de agua finamente pulverizada. Para aumentar la eficacia pueden establecerse aún dispositivos que agranden la superficie. El agua, cargada de polvo es liberada de las partículas más gruesas en un depósito de sedimentación y sirve después para preparar la masa de los mezcladores de tornillos sin fin. El polvo sedimentado puede agregarse también a la mezcla. Las partículas más finas del humo solo pueden eliminarse por procedimientos eléctricos.

### EL TRABAJO DEL HORNERO Y ORGANOS DE CONTROL

Como final hagamos aún algunas observaciones sobre el trabajo del hornero propiamente dicho. A este respecto no debe pretenderse ahorrar nada bajo ningún concepto. El hornero lleva gran parte de la responsabilidad sobre la calidad del cemento. También depende de él la economía de la cochura. No debe tener que atender a más de un horno, ya que la buena marcha de esto exige un constante y duro trabajo corporal. El hornero no puede observar la combustión como sucede en los hornos rotatorios. Le tiene que intuir. Los canales de aire que se forman, deben ser aplastados inmediatamente con la barra o bien ser cuidadosamente cubiertos por medio de material fresco. Es importante que exista una combustión uniforme en los bordes, que puede observarse bien y un fuego central que no se vaya hacia abajo. Un hornero bien adiestrado debe saber deducir el estado de la combustión a partir del aspecto del humo del horno. No se han podido utilizar análisis de humo en hornos verticales ya que es difícil tomar una muestra de gases correcta. Además el continuo abrir las válvulas de la cúpula hace que se introduzca constantemente aire parásito.

Un horno vertical bien instalado posee todos los órganos de mando de la marcha de la combustión a mano del hornero. Desde su puesto, este regula la velocidad de oxidación, el aire inyectado y la entrada de material. Gobierna todos los motores del horno y los órganos de alimentación. Para la vigilancia del horno por el hornero, así como para la dirección de la producción, se utilizan una serie de aparatos gráficos que registran la cantidad y presión del aire, la temperatura del clinker y la

de los gases de escape a lo largo del tiempo. La adquisición de estos aparatos supone gastos considerables, pero se ven pronto compensados por las ventajas que ofrece la mejor vigilancia del horno y del personal. Un horno vertical moderno con producción diaria de mas de 150 Tns. y consumo de combustible económico requiere, naturalmente, mejores instalaciones que los hornos antiguos con producciones diarias comprendidas entre 70 y 100 Tns. Pero con ello se está en condiciones de cocer un clinker mucho mejor, que puede equipararse en calidad a un clinker bueno procedente de hornos rotatorios.

- - - -