618-17 LA CARGA OPTIMA DEL HORNO ROTATORIO

(Loading the Rotary Kiln)

R. E. Gibbs

De: "PIT AND QUARRY, 100, Julio, 1950

Las variables que intervienen en el funcionamiento de un horno rotatorio son casi infinitas. Por esta razón, el problema de establecer las mejores condiciones operatorias de uha unidad aparece sumamente complejo.

La "uniformidad" es indudablemente la regla fundamental que gobierna el resultado de cualquier proceso y el funcionamiento de un horno rotatorio no constituye una excepción. Cuanto más se aproximen las condiciones de funcionamiento a esa uniformidad tanto más beneficiosos serán los resultados logrados.

La industria del cemento es la que parece apreciar más la homogeneidad y uniformidad del producto fabricado, de todas las que emplean el horno rotativo en sus procesos de manufactura. Las características físicas y químicas del cemento, para unos crudos de composición dada dependen de la marcha operatoria del horno y es en este punto donde ha de prestarse la mayor atención a las condiciones de combustión, curva de temperaturas y alimentación del horno.

Un punto en el cual no parece haber acuerdo definitivo es el de la carga óptima, es decir, el espesor de la capa de material que ha de contener el tubo. Sin duda alguna ésta es una de las variables que más influyen en el proceso de cocción. El horno puede cargarse de tal modo que contribuya a mantener un alto grado de estabilidad de funcionamiento en el proceso de clinkerización. Cuando el horno se encuentra adecuadamente cargado, el material mismo hace un efecto de "rueda libre" o volante que no puede alcanzarse por ningún otro medio, compensando en -

parte las irregularidades de funcionamiento y mejorando la uniformidad y calidad del producto resultante (clinker); por otra parte, también se reduce la cantidad de calor gastado por kg. de clinker.

En cierto modo, las dimensiones físicas del horno rotatorio son las que gobiernan la velocidad de producción máxima admisible y el consumo mínimo de calorías. Estas dimensiones físicas limitan también la carga o sea, la cantidad máxima de crudo que puede haber en el horno así como el tiempo de paso del material por el tubo. No debe olvidarse que la velocidad de rotación del horno también influye sobre la velocidad de paso del material pero, en la práctica, son las dimensiones del tubo las que marcan la capacidad de producción nominal. El límite superior de producción de cualquier horno rotativo se determina por el ritmo a que puede introducirse calor dentro del tubo, factor que viene determinado por la diferencia de temperaturas (gradiente), y por el aprovechamiento de este calor (rendimiento) absorbido por la masa que se cuece, sobre lo cual influye decisivamente una dimensión: el diámetro del tubo.

La velocidad de los gases en la zona de combustión parece ser la que condiciona la velocidad a que puede ser quemado el combustible con buen rendimiento. En la práctica se ha visto que esta velocidad es tal que deben producirse en la combustión de 2.300.000 a 2.440.000 Kcal/hora, por m^2 de sección transversal del tubo-horno. Si D es el diámetro del horno, tendremos:

$$\frac{D^2 \times 3,14 \times 2.300.000}{4} = 1.800.000\ D^2\ \mathrm{kcal/h/m^2}$$

que nos dá, en función del diámetro, la cantidad de calor nominal que debe desarrollarse en el sistema. (En el trabajo original hay una gráfica que dá estas cantidades de calor en función de los diámetros de tubo más corrientes).

Se vé, por la fórmula anterior, que la capacidad para quemar combustible en un horno resulta cuadruplicada cuando el diámetro del tubo se duplica. Pero no hay que pensar de esto que la capacidad de producción del horno se cuadruplica también; esto es erróneo. Se ha visto, con los hornos actuales, que la velocidad de producción se multiplica por ocho (y a veces más) cuando el diámetro del tubo aumenta al doble y la longitud del mismo esta debidamente proporcionada.

La cantidad de calor requerida en un horno depende de la masa de material sometida a proceso y puesto que las pérdidas de calor de un sistema determinado son aproximadamente constantes puede comprenderse fácilmente porque es conveniente cargar el horno al máximo permisible.

Hay dos factores importantes a considerar cuando se trata de establecer la carga óptima de un horno tubular. Uno de ellos es el calor óptimo a producir dentro del horno y el otro las necesidades de calor que exige la masa a cocer. Estas dos magnitudes pueden relacionarse fácilmente para cualquier tubo determinado. La carga del horno viene fijada, en general, por la apertura del extremo de alimentación (fig. 2) característica que no siempre se tiene en cuenta en su debido valor, y que es uno de los puntos más importantes del horno puesto que esta dimensión es la que limita, no sólo la carga sino la capacidad del sistema para quemar combustible. Fijando el tiro, puede modificarse la apertura del extremo de alimentación de tal forma que la capacidad para quemar combustible oscile entre cero y el valor máximo posible.

Si volvemos a la fig. 2 podemos ver que, con un diámetro dado del tubo (D), la apertura para la salida de gases (D_1) puede ostentar un valor cualquiera. Cuando D_1 se hace más pequeño, la capacidad de carga del horno aumenta; cuando se considera constante el tiro, la capacidad del sistema para quemar carbón disminuye al decrecer D_1. Entonces, si fijamos el diámetro del horno D, la velocidad de rotación y el tiro, una disminución en D_1 presupone un decremento en la capacidad para quemar combustible y un aumento en la cantidad de carbón por hora cuando el horno se carga a la capacidad determinada por D_1.

La letra h (fig. 2) representa el grosor o espesor de la carga y las curvas de la fig. 3 indican el método empleado por el autor para representar la dependencia entre el diámetro de la boca de alimentación D_1 y las diversas cantidades de calor. En esta figura puede verse que las tendencias de las dos curvas, la del calor disponible y la del calor nece sario para la cocción del crudo son opuestas. En la fig. 4 se representa la dependencia entre estas dos magnitudes y el grosor de la capa h. Si no existiese limitación alguna en el sistema, es obvio que el punto de trabajo sería el de intersección de estas dos curvas lo cual daría el espesor de carga óptimo.

Para aclarar más los conceptos vamos a reproducir el ejemplo dado por el Sr. Gibbs sobre la modificación introducida en la marcha de un horno, teniendo en cuenta que conservamos, en lo que sigue, las unidades inglesas para evitar el tener que modificar las curvas de la fig. 3.

Se trata de un horno rotatorio de 8 piés de diámetro y 160 piés de largo que produce 145 Ton de clinker por día. Este tubo va recubierto con ladrillos refractarios de 6 pulgadas; el tiro se fija en 1 pulgada de agua y el horno es diáfano, es decir, sin cadenas u otros artificios. La apertura del extremo de alimentación D_1 es de 5 piés y la carga tiene un espesor h de 1 pié.

En una tabla dada en el original puede verse que para un horno de 8 piés de diámetro corresponde un máximo desarrollo de calor de 43,5 millones de B.t.u./hora. Esto equivale á 7,25 millones de B.t.u./Ton de producto. El área transversal de la carga es de 3,38 piés^2, lo cual significa que la velocidad de paso del material es de 34,4 piés/hora.

Según la experiencia del autor, con un tiro de 1 á 1,5 pulgadas de columna de agua en el extremo de alimentación de un horno diáfano, la apertura representada por D_1 es capaz de evacuar los vapores y gases producidos en el proceso de cocción del horno en una magnitud equivalente a 3,5 millones de B.t.u./hora de calor desarrollado en el interior del tubo.

En este ejemplo, la cantidad de calor requerido por la carga es de

$$\frac{43.500.000}{3,38} = 12.900.000 \text{ B.t.u./hora/pié}^2$$

de sección transversal de la carga.

El calor disponible será:

$$\frac{3.500.000 \times D_1^2}{4}$$

y el calor necesario vendrá dado por 12.900.000 S, siendo S la sección transversal de la carga.

En las curvas de la fig. 3 puede verse como se relacionan D_1 y las distintas cantidades de calor (hay una pequeña tabla en el trabajo original). En la gráfica se ve que las dos curvas superiores se cortan en D_1 = 4,6 piés, correspondiendo a este punto 57 millones de B.t.u./hora. - Sin embargo esta cifra se sale de los límites del horno puesto que como hemos dicho anteriormente para un horno de 8 piés corresponden 43,5 millones de B.t.u./hora.

Hemos de notar que la curva de calor disponible corta a la ordenada correspondiente a 43,5 millones cuando D_1 = 4 piés. Por tanto, el valor correcto de h será:

$$\frac{7 \text{ piés} - 4 \text{ piés}}{2} = 1{,}5 \text{ piés}$$

lo cual constituye un espesor adecuado para un horno de 8 piés de diámetro.

Con este espesor de carga el área transversal de la misma será de 6,03 piés^2, así que el calor necesario por pié^2 de sección de carga sea de 7,2 millones de B.t.u./hora.

Aunque, como puede apreciarse, en estas condiciones de funcionamiento será necesario reducir la velocidad de rotación del horno, es digno de notar que esta reducción no está exactamente en proporción inversa de la relación de las áreas transversales de la carga, es decir 3,38/6,03 = 0,563, sino que debe disminuir en un 20 % más del valor indicado, es decir en 0,563 x 1,20 = 0,675, o sea en un 67,5 %.

En todo caso, se observará que, cargando adecuadamente el horno la velocidad de producción aumenta y el peso de combustible por unidad de producto fabricado disminuye. En nuestro ejemplo, se puede suponer que la velocidad de rotación debe disminuirse solamente en un 32,5 %

Se hizo notar antes que para una carga más pequeña del horno la velocidad de rotación debe ser tal que el material pase por el tubo a razón de 34,4 pies/hora. Como esta velocidad es directamente proporcional a la de rotación, tenemos que el clinker caminará ahora a razón de

$$34{,}4 \times 0{,}675 = 23{,}25 \text{ piés/hora}$$

cuando D_1 = 4 piés y el grosor h de la carga es 1,4 piés.

Tendremos entonces para la capacidad de producción

$$\frac{6{,}03 \times 23{,}25 \times 90}{2.000} = 6{,}32 \text{ Ton/hora}$$

como nuevo ritmo de producción, frente a 6,05 Ton/hora para las primitivas condiciones de funcionamiento.

Como en la nueva marcha no se ha de gastar más calor, esto significa que el combustible consumida por Ton de clinker se ha reducido de 7,25 millones de B.t.u. a 6,88 millones de B.t.u.

La producción diaria de clinker ha aumentado ahora de 145 a 152 Ton ganándose, por añadidura, en regularidad de marcha, ausencia de fluctuaciones, uniformidad y calidad del producto manufacturado.
