

# EL HORNO CEMENTERO EN ALTURA



**Hemos llegado a definir con claridad la tecnología que nos permite optimizar los procesos de combustión y clinkerización en el horno cementero en condiciones atmosféricas normales; también hemos conseguido desarrollar procedimientos adecuados para optimizar la combustión en Hornos y Calderos ubicados en altura, compensando las deficiencias del aire como aportante de oxígeno y energía cinética a los procesos de combustión.**

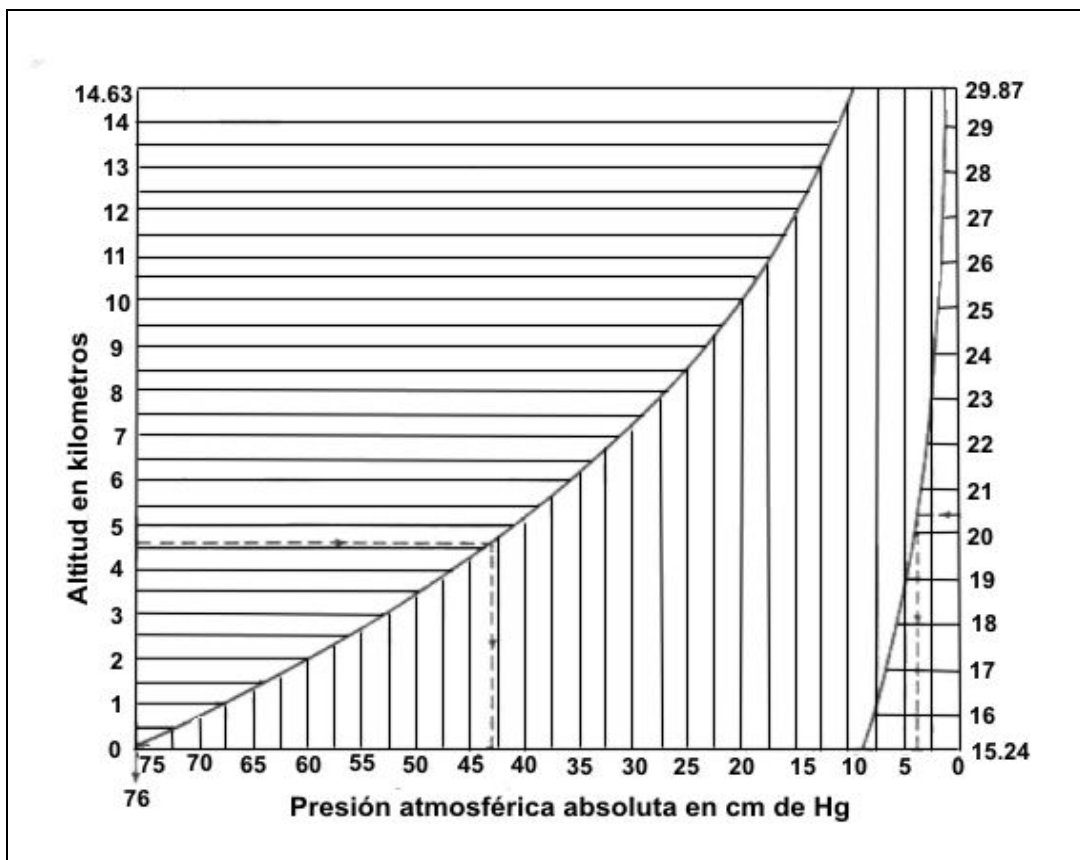
**En este artículo enfocamos el caso particular que representa el trabajo del horno cementero en altura, analizando los factores que se afectan con el enrarecimiento del aire, como influyen los procesos que se desarrollan en el horno y estableciendo la tecnología y procedimientos que permitan compensarlos.**

Para analizar y definir como se afecta el horno con la variación de las características del aire debemos conocer las funciones que desempeña el aire en el sistema de producción de clínker. Podemos establecer y comentar como se afectan con la altura las siguientes funciones, en probable orden de importancia:

## **APORTE DE OXÍGENO CON EL AIRE SECUNDARIO**

El aire aporta el oxígeno para la reacción de combustión. En el particular caso del horno cementero, en el cual el aire secundario ingresa al horno a un promedio de 800°C la variación por temperatura resulta mayor que la que

produce la disminución de la presión por efecto de la altura.; sumando ambos efectos las características del aire resultan muy pobres como comburente: En la costa un  $m^3$  de aire aporta a la combustión 297 gramos de oxígeno; a 3800 metros sobre el nivel del mar, por efecto de la presión, el aporte másico de  $O_2$  disminuye a 165 gramos/ $m^3$  (Figura 1). A  $800^\circ C$  el volumen se incrementa significativamente, disminuyendo proporcionalmente la densidad del aire; el aporte másico de  $1 m^3$  en la costa será de 74 gr/ $m^3$ ; a 3800 m.s.n.m su aporte de oxígeno será apenas de 41 gr/ $m^3$ , es decir, algo menos de la séptima parte, requiriéndose 7.2 veces más de aire en tales condiciones volumétricas, siendo la masa aportada en uno y otro caso siempre la misma.



El factor térmico ya ha sido previsto en el diseño del horno, por lo cual solamente se tendrá que compensar la diferencia en la presión y densidad.

Para compensar este mayor volumen requerido en altura, considerar el siguiente punto.



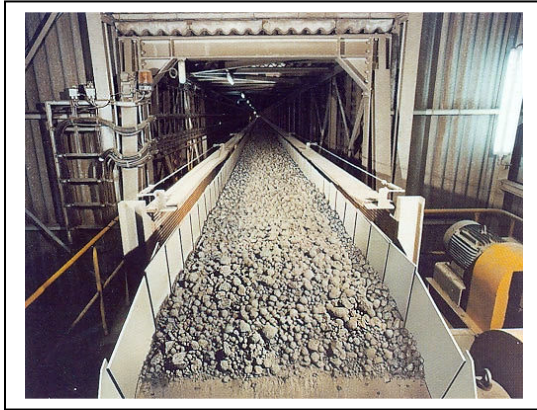
El aire secundario aporta el oxígeno para la reacción de combustión

## ENFRIAMIENTO DEL CLÍNKER Y RECUPERACIÓN DE CALOR

Para enfriar el clínker que produce el horno a  $1300^{\circ}\text{C}$  o algo menos, para solidificar la fase líquida y evitar el muñeco de nieve que se formaría en el enfriador, se utiliza aire.

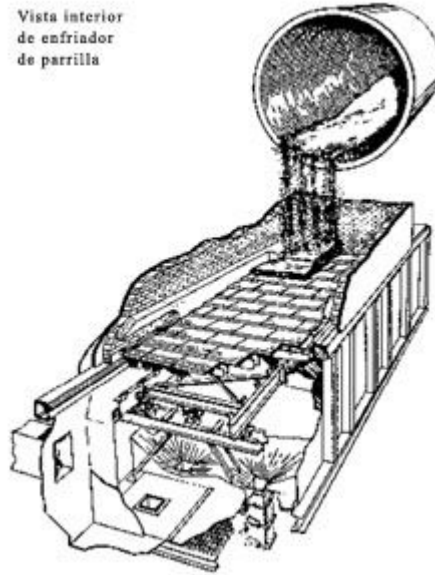
La masa de aire en contacto directo con el clínker permite disminuir su temperatura al mínimo establecido para evitar daños en el transporte y al mismo tiempo recircular al horno una proporción importante de calor ( $250 \text{ Kcal/m}^3\text{N}$ ). Al disminuir la densidad del aire y consecuentemente la masa de aire para secado, debe compensarse tal deficiencia inyectando el volumen adicional que corresponda. En un enfriador de parrilla se puede compensar el mayor volumen que produciría una mayor velocidad de paso y la consecuente disminución del rendimiento del secado, aumentando el espesor de la cama de clínker, disminuyendo la velocidad de la parrilla; por supuesto, también será requerido un ventilador que aporte mayor volumen y compense la mayor caída de presión correspondiente al incremento de la cama de clínker.

El equilibrio que debe mantenerse de presiones en el cabezal depende de la composición granulométrica del clínker, pero tal factor no se afecta con la altura.



La nodulización resulta fundamental para el trabajo del enfriador

Vista interior de enfriador de parrilla



## APORTE DE ENERGÍA CINÉTICA EN EL AIRE PRIMARIO

El impulso del aire primario, aportado en la forma prevista en el diseño de cada quemador, permite formar la llama que mantenga las condiciones térmicas exigidas en la zona crítica del horno. Al disponer de menor flujo másico, un quemador diseñado para trabajar en condiciones normales aportará energía insuficiente, desarmándose y desviándose la llama, por la mayor velocidad del aire primario, también con mayor volumen del normal.

Al haber logrado simplificar el campo del diseño de los quemadores, demostrando que todos se basan en el mismo principio operativo y solamente existe un tipo de llama conveniente para el horno, la llama cónica hueca, también podemos simplificar el efecto y la compensación necesaria para que un quemador cumpla total y eficientemente sus funciones en altura. Si conocemos la potencia específica (Newtons/Gcal) y el Swirl del quemador para operación en condiciones normales, bastará modificar las condiciones de aporte de impulso que proporciona el ventilador, definida por la presión estática en la descarga, para asegurarnos que el flujo másico en la punta del quemador represente el necesario para formar la llama cónica hueca que sostenga térmicamente el proceso de clinkerización y proteja el refractario en la forma ampliamente descrita en otros artículos. En términos prácticos, si para operar en altura resulta suficiente un ventilador con 120 mBar de presión en la descarga, tal requerimiento resultará más exigente en la medida que aumente la altura y tendrá que ser sustituido por un turbo ventilador (hasta 200 mBar). A partir de 2000 msnm, no resultará suficiente un turbo ventilador y resultará primero conveniente y después necesario (3000 msnm) disponer de un soplador (200 mBar a 1 Bar).

Los requerimientos de refrigeración del cañón del quemador quedarán totalmente satisfechos con la compensación del impulso en el aire primario.



El diseño del quemador puede ser el mismo en altura

Desde el punto de vista de la mecánica de fluidos en el horno, la menor densidad del aire secundario facilitará el trabajo que debe efectuar el aire primario, pues la velocidad de succión dependerá de la relación de los impulsos de ambos, compensando la mayor velocidad del aire en el interior del horno, lo que se producirá solamente si no se ha tomado en cuenta este factor en el diseño de planta; lamentablemente hemos comprobado que general mente se comete el error, por parte de los fabricantes, de utilizar los mismos diseños para cualquier altura, lo que demuestra su ignorancia en este tema, muy poco frecuente en países desarrollados o quienes deciden la cómoda pero costosa decisión de transportar las materias primas a la costa.

## **AIRE EN EL PRECALCINADOR**

El precalcinador no representa el reactor ideal de combustión que tenemos en el horno, pero la definición de objetivos en el proceso de combustión resulta más simple y concreto: se trata de disponer de inmediato del calor aportado por la combustión; la dificultad para cumplirlo, y debe hacerse de todas maneras y a cualquier costo, dependerá de la facilidad para quemarse del combustible. También en este caso tendrá que asegurarse el aporte de oxígeno requerido para la reacción química y el impulso que proporcione la energía de mezcla necesario para cada combustible en particular, lo cual trataremos en otros artículos.

## **CONCLUSIONES**

- 1.** En el diseño de hornos y quemadores para sistemas de producción de clínker debe tomarse en cuenta el factor altura.
- 2.** En hornos diseñados para condiciones normales operando en altura resultará indispensable modificar las características del ventilador o sustituirlo, para asegurar el impulso suficiente para formar la llama cónica hueca que asegure la máxima eficiencia del sistema.
- 3.** En altura resultará perfectamente factible alcanzar iguales o mejores rendimientos y productividad en hornos cementeros, aplicando la tecnología y criterios recomendados.