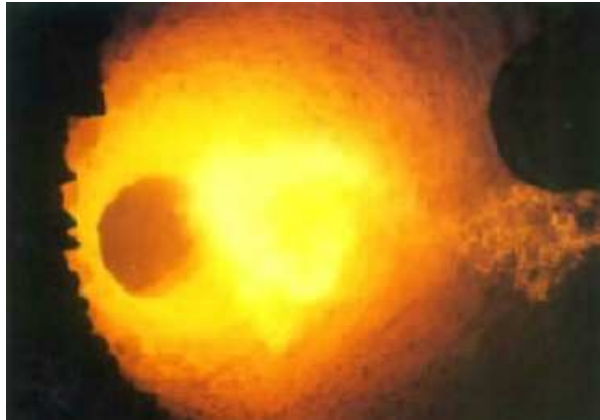


ARTÍCULOS TÉCNICOS COMBUSTIÓN Y CLINKERIZACIÓN



EL USO DEL GAS NATURAL EN LOS HORNOS CEMENTEROS

1. Presentación

El Horno cementero es el incinerador de basura del futuro y ya comenzó a cumplir este rol con la incorporación permanente de combustibles alternos, aunque todavía por razones de conveniencia económica más que necesidad ecológica, por lo cual resultará particularmente importante analizar la conveniencia de empleo en el sistema de producción de clinker del mejor combustible de todos, tomando como referencia su limpieza y facilidad de combustión: El Gas Natural.

Muchos hornos queman gas natural, pero tenemos la impresión de que todos lo hacen en forma inadecuada, desaprovechando las inmensas posibilidades técnicas que permiten sus características y posibilidades de empleo, por desconocer la forma de compensar con tecnología apropiada, la principal, y quizás única, desventaja del gas natural como combustible industrial: su menor emisividad de llama, respecto a las de combustibles sólidos y líquidos.

En este artículo despejamos todas las dudas en este campo, demostrando que el gas natural también representa una bendición del cielo para los hornos cementeros, si se utiliza la tecnología correcta, con los criterios de aplicación adecuados.

2. Fundamentos Teóricos

En el desarrollo de la combustión y el control de la formación de llama, existen tres aspectos fundamentales: cinética química, mecánica de fluidos y transferencia de calor.

En cuanto a cinética química, el gas natural representa el combustible más fácil de quemar en razón de ser el combustible industrial con la menor relación carbono-hidrógeno; en cuanto a la mecánica de fluidos, siendo el gas natural un fluido con una inmensa disponibilidad de energía cinética, puede sustituir en la operación del horno, no solamente a los otros combustibles, sino también al aire primario, como flujo dominante y aportante del impulso requerido para controlar la forma de la llama, contando con el diseño adecuado del quemador.

Respecto a la transferencia de calor en el Horno cementero, donde se manejan altas temperaturas, la principal forma de transferencia de calor es por radiación, la cual resulta directamente proporcional a la emisividad y a la temperatura a la cuarta potencia, como podemos apreciar en la fórmula correspondiente:

$$Q_r = e s T^4$$

Donde:

Q_r : Cantidad de calor transferido por radiación

e : Emisividad

s : Constante de Stefan Boltzman

T : Temperatura

Tomando en consideración que el mayor volumen de gases producidos por unidad energética al quemar gas natural respecto a combustibles sólidos y líquidos representa una menor temperatura adiabática de alrededor de 100°C y que las partículas de coque producto de la disociación del gas natural resultan 100 veces más pequeñas que las provenientes de petróleo y carbón, la transferencia de calor por radiación a partir de llamas de gas natural resulta considerablemente menos intensa que las excelentes condiciones que se logran con las llamas de petróleo y carbón, a las elevadas temperaturas que se manejan en el Horno Cementero.

En los Hornos Cementeros modernos, sin embargo, el 60% del calor total se aporta en las cámaras de precalcinación, para suministrar el mayor requerimiento de calor que representa la descarbonatación; la diferencia radical que existe entre el Horno y el Precalcinador como reactores de combustión, también exigen un tratamiento totalmente diferente cuando se trata de quemar gas natural.

3. Combustión del Gas Natural en el Horno

El Horno Cementero constituye un reactor ideal de combustión por varias razones:

- La alta temperatura requerida para mantener las condiciones de fusión parcial del material en proceso ($>1350^{\circ}\text{C}$) exigen altas temperaturas de llama ($1700-1800^{\circ}\text{C}$), todo lo que favorece la cinética química de la reacción de combustión.
- La exigencia de protección de la chapa metálica obliga a mantener el forro refractario básico con formación de costra protectora del propio clínker sobre el mismo, con relativamente menor coeficiente de transferencia de calor (superficie porosa) y alto nivel de emisividad.
- Las reacciones de clinkerización que se desarrollan en la zona crítica son exotérmicas.

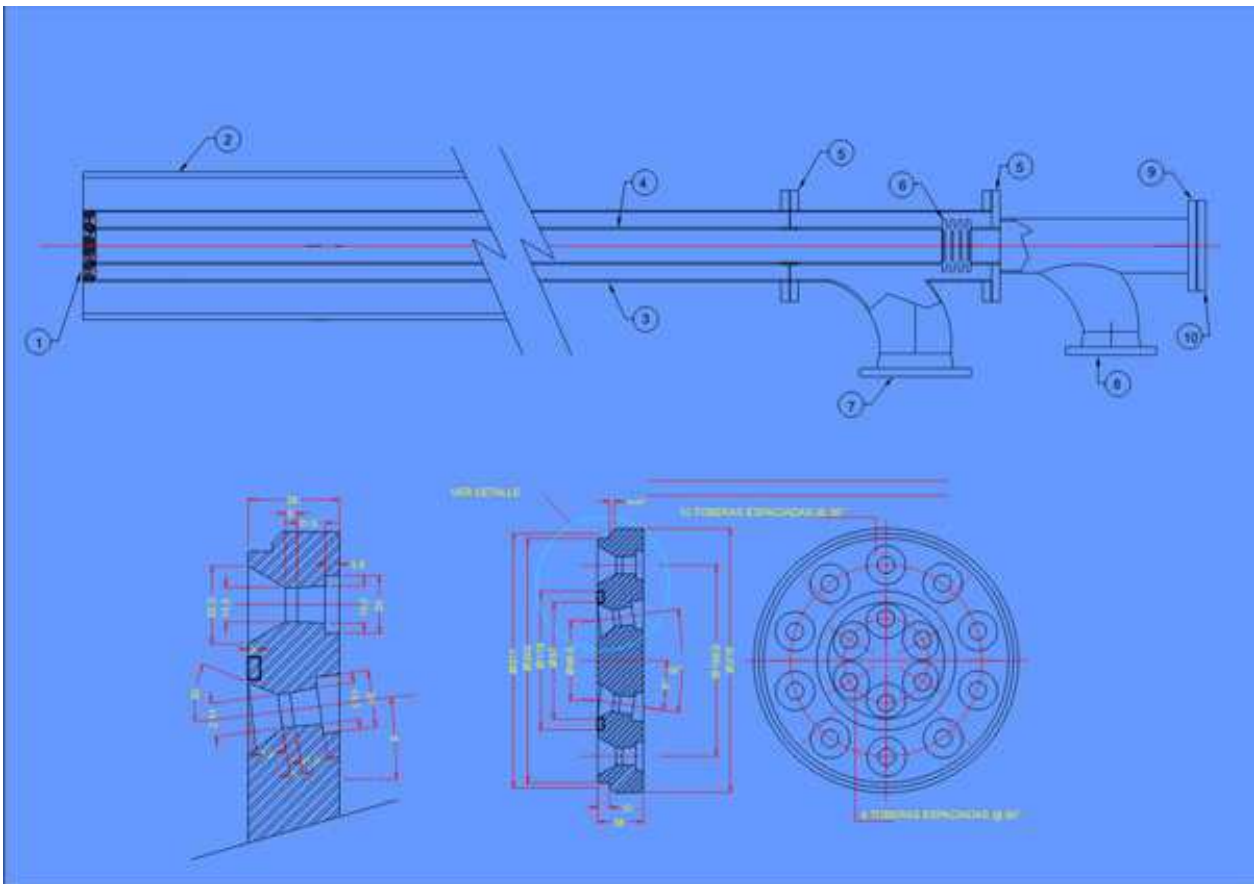
En tales circunstancias puede quemarse cualquier combustible difícil de quemar, lo que convierte al horno cementero en el incinerador ecológico ideal, pero al confrontar la situación antagónica, quemar el combustible más fácil de quemar, la velocidad de reacción es tan rápida que la presencia de partículas de coque en estado incandescente resulta fugaz. Siendo estas partículas las que producen la imagen, coloración y emisividad que caracterizan las llamas que observamos cuando quemamos combustibles sólidos y líquidos, las condiciones que determinan la cantidad de calor transferido por radiación, temperatura y emisividad, resultarán menos favorecidas quemando gas natural.

En Calderos y otros tipos de hornos la temperatura de llama no marca una diferencia en este aspecto, porque generalmente se utiliza mayores niveles de exceso de aire para quemar carbón (30%) y petróleos residuales (20%) y se alcanzan similares temperaturas de llama al utilizar un 10% de exceso de aire con gas natural. En el Horno Cementero, reactor ideal de combustión, resulta posible conseguir combustión completa con cualquier combustible y bajos niveles de exceso de aire, por lo cual tal compensación desaparece.

Este constituye un factor clave para determinar que no se puedan mantener condiciones satisfactorias de producción y eficiencia en un horno cementero, quemando exclusivamente gas natural en el quemador principal; así lo hemos comprobado en numerosas experiencias en varios países latinoamericanos.

Una de estas experiencias nos permitió también comprobar que tal deficiencia del gas natural en las condiciones operativas del horno, representan una excelente oportunidad de combinar las características de combustión del gas natural y las de combustibles que en el otro extremo, resultan muy difíciles de quemar por no disponer de suficientes volátiles para acelerar su combustión, como en el caso de pet coke, carbones minerales tipo Antracita, o petróleos residuales con altas composiciones de compuestos aromáticos y asfálticos, tales como Residual de Vacío o Asfalto.

En la **Figura 1** se muestra el quemador que diseñamos para el Horno 7 de Cementos del Caribe en Barranquilla-Colombia. En la puesta en servicio de este quemador no pudimos estabilizar el horno con 100% de Gas Natural, pero al utilizarlo en forma Dual con 20% de Gas Natural y 80% de Pet Coke, sin aire primario, los resultados fueron formidables, rompiéndose todos los récords de producción, rendimiento térmico, factores de carga y marcha, alargando la siguiente campaña de refractarios en más del 100%.



La alternativa de utilizar el gas natural como flujo aportante de energía cinética, eliminando totalmente el aire primario frío y utilizando como aire de combustión el 100% de aire secundario a un promedio de 800 °C , tomando en cuenta hornos de vía seca y húmeda, representa una ventaja que entienden muy bien los fabricantes de cemento y los proveedores de quemadores que han competido reduciendo el aire primario en sus diseños: Rotaflam de Pillard (7-8%), PiroJet de KHD (6%) y Centrax de FLS (5%), aunque confrontando algunos problemas.

4. Combustión en el Precalcinador

El Precalcinador podría caracterizarse como un reactor de descarbonatación, y al contrario del Horno, resulta un pésimo reactor de combustión por las siguientes razones:

- En el Precalcinador se produce el 95% de la reacción de descarbonatación que resulta fuertemente endotérmica (650 Kcal/Kg), por lo cual constituye un reactor frío.
- Los niveles de temperatura requeridos para la precalcinación son muy inferiores a los del Horno, resultando suficiente 1000°C para completar la descarbonatación, lo cual resulta cinéticamente muy lento para la combustión.
- La condición de suspensión de las partículas de crudo en el interior de la llama determina condiciones de extrema dificultad para transferir calor y favorecer la cinética de la reacción de combustión, por lo cual resulta muy difícil completar la combustión con combustibles tradicionales.

Para las exigencias que debe cumplirse en el precalcinador, el gas natural resulta el combustible ideal, permitiendo asegurar un control eficiente sobre la precalcinación, sin formación de fase líquida que produce pegaduras y riesgos de atoros en la parte final del precalentador.

5. CONCLUSIONES

- 5.1** La menor emisividad de llamas de gas natural resulta un factor determinante para establecer que no se puede mantener los niveles de producción de clínker y condiciones térmicas de la zona crítica, al sustituir combustibles sólidos o líquidos por gas natural, por disminuir la transferencia de calor por radiación.

- 5.2** Esta desventaja del gas natural se convierte en una posibilidad extraordinaria de optimización de costos, disponiendo de un quemador con el diseño adecuado para combinar el gas natural con combustibles muy difíciles de quemar y consecuente bajo precio, con altos niveles de emisividad pero con bajo contenido de volátiles.
- 5.3** La posibilidad de utilizar el gas natural como flujo dominante y aportante de energía cinética para formación de llama, permitirá utilizar quemadores sin aire primario, con la ventaja térmica de utilizar el 100% de aire secundario caliente para la combustión y ahorrar íntegramente la energía eléctrica del soplador o ventilador.
- 5.4** Las condiciones térmicas en el precalcinador determinan que constituya un pésimo reactor de combustión , resultando muy difícil completar la combustión utilizando combustibles sólidos y líquidos; la facilidad de inyección, limpieza y velocidad de combustión del gas natural y la mayor proporción de transferencia de calor por conversión, lo convierten en el combustible ideal para esta etapa del proceso.
- 5.5** Para Hornos antiguos sin precalcinador, el gas natural representa una posibilidad inmejorable para mejorar los niveles de producción y eficiencia, instalando quemadores en el precalentador o disminuyendo los niveles de inversión para incorporar una cámara de precalcincación en el sistema de producción de clínker.

Conclusión Final :

La disponibilidad de gas natural representa una ventaja formidable para cualquier fábrica de cemento del mundo, aplicando la tecnología correcta y los criterios adecuados.