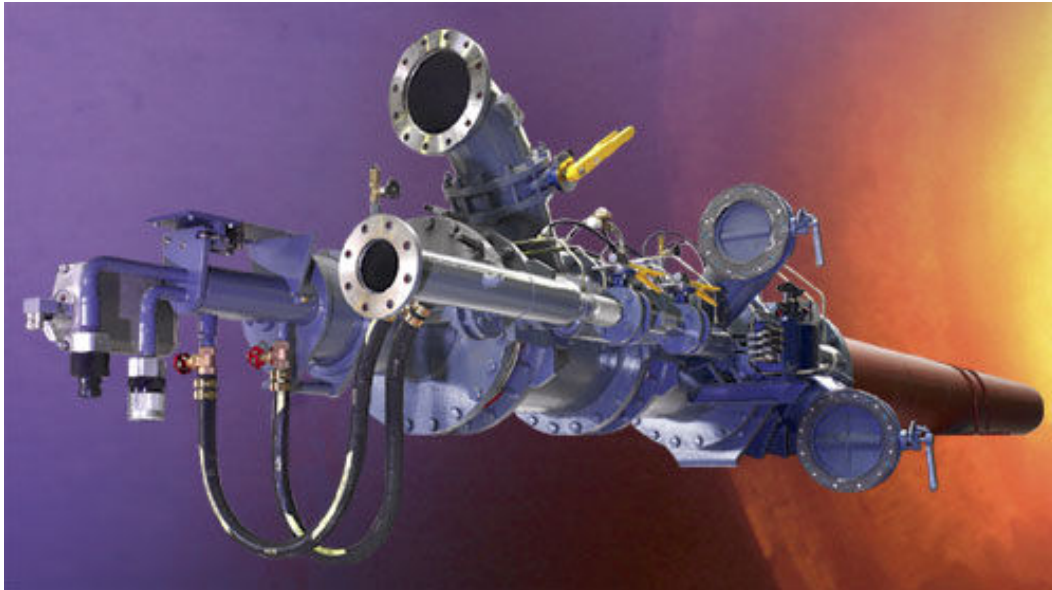


LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DE QUEMADORES PARA HORNOS CEMENTEROS



EL HORNO CEMENTERO ES EL CORAZÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CLÍNKER Y AUNQUE EN LAS PLANTAS MODERNAS LA MAYOR PROPORCIÓN DE COMBUSTIBLE SE QUEMA EN LOS PRECALCINADORES, EL QUEMADOR PRINCIPAL SIGUE SIENDO EL PRINCIPAL PROTAGONISTA DEL SISTEMA

Desde que Ransome patentó la incorporación del horno rotatorio en la fabricación de cemento en 1885, sus características han sido permanentemente modificadas en razón del tipo de proceso, combustible utilizado, capacidad de producción y la permanente necesidad de optimización energética.

El diseño del quemador ha tenido que evolucionar asumiendo tales cambios y cumpliendo sus funciones como verdadero "timón" del proceso.

En cualquier proceso industrial, el quemador cumple las funciones de aportar aire y combustible, mezclarlos, encender y quemar la mezcla y desplazar los productos de combustión.

En un horno cementero, el quemador cumple tales funciones y además tiene una activa participación en el proceso, resultando su manejo de importancia determinante en el control operativo de todo el sistema. Son muy pocos los diseñadores y fabricantes de quemadores para hornos cementeros, por resultar un sector muy especializado y requerir estas actividades investigación aplicada muy costosa.

Sin embargo, el mejor centro de investigación en este campo es el propio horno; por ello, el criterio del ingeniero de planta resultará muy valioso para inducir tendencias y precisar objetivos.

En la **FIGURA 1** se muestra el acortamiento de la longitud del horno para los procesos de fabricación progresivamente utilizados.

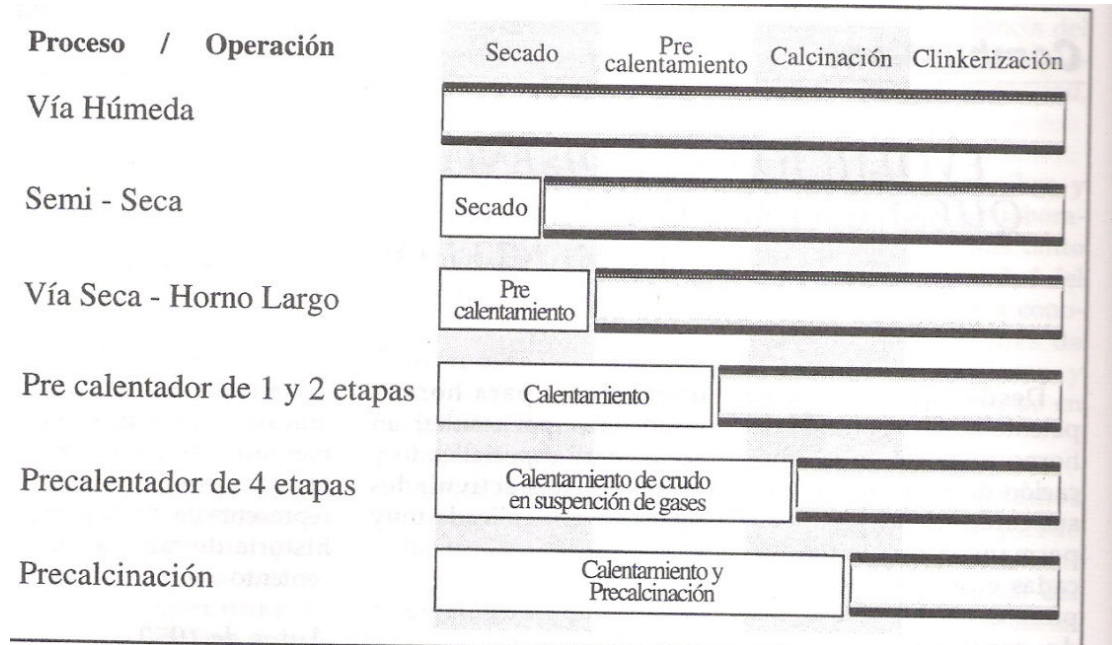


Figura 1

Evolución del horno cementero

La evolución de los quemadores para hornos cementeros está fuertemente ligada a este esquema, que representa en cierta forma la historia de fabricación del cemento

Antes de 1950

Predominaban los hornos largos vía húmeda y se utilizaba casi exclusivamente carbón mineral como combustible.

El quemador de carbón pulverizado estaba constituido por un simple tubo (UNICANAL), con una tobera de diseño básico elemental.

El control del flujo de carbón dependía del diámetro de la tobera y la velocidad de salida: a mayor velocidad, la llama se acorta y se hace más intensa. El tipo de llama es axial y el % de aire primario varía entre 15 y 40%.

De 1950 a 1960

Surge el petróleo como alternativa de empleo cómoda, barata y eficiente, determinando la sustitución radical del carbón, con mayor rapidez que la investigación sobre nuevos diseños.

Por ello, se utiliza inicialmente el quemador por atomización mecánica de presión directa con estrecho margen de regulación (3 a 1), y utilizando presiones muy altas (hasta 90 atm) o varias boquillas para mayores caudales.

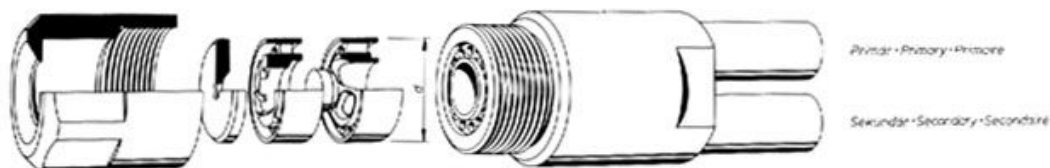
Progresivamente se mejoran los diseños: la abertura de la boquilla se hace variable, se adapta un retorno que permite aumentar el margen de regulación hasta 8 a 1, evitando paralizaciones para cambio de boquilla; se incorpora el aire comprimido como fluido pulverizador, etc.

También se utiliza el quemador ultrasónico, atomizando el petróleo con ondas sonoras de 10,000 a 20,000 Hz generadas en toberas acústicas con aire o vapor a 6 atm.

De 1960 a 1980

Prevalece el intercambiador de calor del crudo en suspensión de gases, se acortan los hornos y se incrementan los niveles de producción, aumentando el diámetro del horno.

Surge el quemador de doble control de presiones (axial-radial), predominando en todo el mundo los quemadores PILLARD PM-MY y FLS-TSFM que permiten concretar el concepto esencial de la llama ajustable en marcha, logrando disminuir el aire primario hasta un 12 a 15%.



Atomizador Pillard de Presión Mecánica

De 1980 a 1985

El concepto de la precalcinación y la reconversión del petróleo al carbón provocado por la crisis energética determinan un cambio radical en el diseño de quemadores.

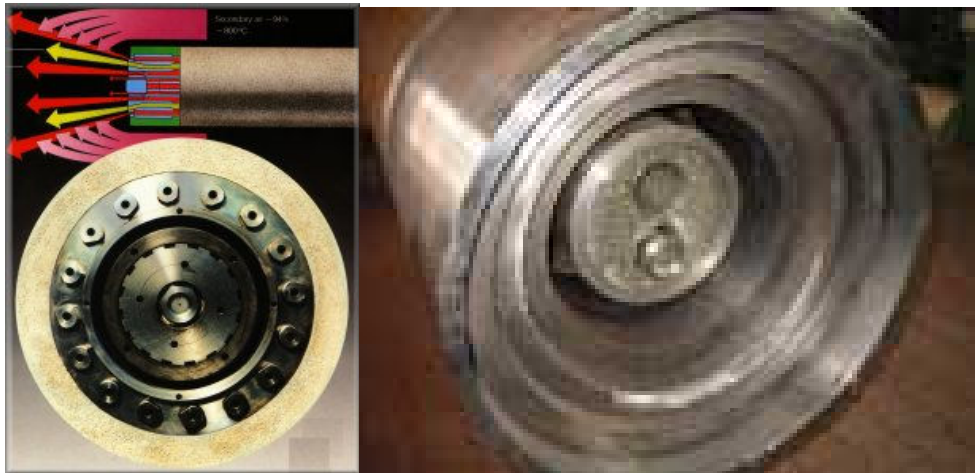
Las nuevas tecnologías de fabricación no admiten los diseños antiguos de los quemadores de carbón y el esfuerzo de los fabricantes de quemadores se orienta al objetivo de conseguir similares condiciones de control sobre la llama utilizando carbón, petróleo y gas en forma individual y/o combinada.

FLS desarrolla el quemador SWIRLAX y PILLARD aplica sus conceptos al funcionamiento del quemador con carbón en 3 circuitos tipo VR-K3.

La experiencia con ambos quemadores es muy buena en general. Permiten un amplio rango de ajuste de la forma de llama, regulando individualmente la longitud y el diámetro de la misma, lo cual favorece el control de formación de costra, temperatura del casco y calidad del clínker.

KHD perfecciona el PIRO-JET, basada en la consideración de que la alta velocidad del chorro axial exterior succiona el aire secundario hacia el interior de la llama, lo que facilita la rápida ignición del carbón.

La salida de este aire axial es a través de varias toberas, dividiéndose en corrientes individuales. El PIROJET utiliza porcentajes de aire primario de 7% y reduce considerablemente la emisión de NO_x



Toberas Pirojet de KHD y Rotaflam de Pillard

A partir de 1985

El notable esfuerzo de investigación desarrollado por los principales fabricantes de quemadores, a partir de la crisis energética, y presionados por el control de contaminación ambiental, rinde sus frutos:

J.R. Tucker & Asoc. desarrolla su quemador TUR-BOFLAME, formulando una nueva teoría de combustión en el horno cementero, basada en el fundamento de que la velocidad de combustión está limitada por la difusión gaseosa del oxígeno en la capa superficial de las partículas de carbón y el flujo de calor radiante de las partículas incandescentes a las que se encuentran en proceso de calentamiento.

La turbulencia y acción divergente son contrarias a tales factores; por el contrario, una corriente concentrada de combustible en forma de un cilindro hueco, eyectado desde una boquilla con mínima turbulencia y máxima velocidad, debería maximizar el área superficial de la llama, la difusión gaseosa del oxígeno y el flujo de calor radiante.

Pillard desarrolla el ROTAFLAM que incorpora la placa de estabilización de llama, el tubo exterior alargado para evitar una expansión aerodinámica inmediata creando el efecto bowl, salidas de aire axial en jets separados para recircular gases de combustión al interior de la llama (bajo NO_x).

El desplazamiento longitudinal de tubos móviles con compensadores de dilatación y tirantes para regulación de las aberturas de salida, evitan la pérdida de energía cinética en las válvulas de mariposa utilizadas anteriormente, permitiendo disminuir el volumen de aire primario hasta la mitad (6%), aportando la energía cinética necesaria. POLYSIUS crea un interesante nuevo concepto. Su quemador POLAFLAME se incluye en la categoría de quemadores donde el carbón es mezclado con el aire primario antes de salir del quemador. Para ello, el aire de transporte se utiliza para formar la llama, disminuyendo el requerimiento de aire primario.

El aporte de COMBUSTIÓN INDUSTRIAL

La doble especialidad en los campos teóricos y prácticos de combustión y clinkerización, nos ha permitido descubrir un mundo tecnológico diferente al que nos presentan los fabricantes de quemadores, el cual hemos podido aplicar en cientos de proyectos latinoamericanos. El resultado ha sido formidable, permitiéndonos simplificar la tecnología de combustión en general y la que se aplica en hornos cementeros en particular. Analicemos algunas experiencias en este campo:

- **Modificación del quemador Unicanal:**

Todavía muchos hornos que utilizan molienda directa de carbón, inyectan el flujo de aire de transporte y carbón pulverizado por un simple tubo, calentando el horno con leña, antes del encendido y normalización operativa.

La modificación del diseño que mostramos en la **Figura 2**, consistente en introducir un tubo central para instalación de una lanza para inyección de combustible líquido, permitió efectuar el calentamiento inicial y encendido del horno en forma adecuada y eficiente; al instalar una roseta en la parte externa, logramos además, conseguir la formación de llama cónica hueca, favoreciendo el acortamiento de llama y la nodulización en el horno.

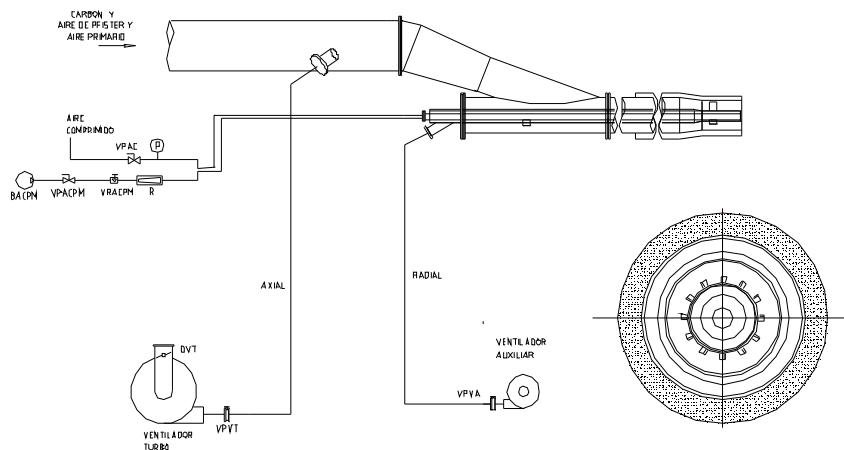
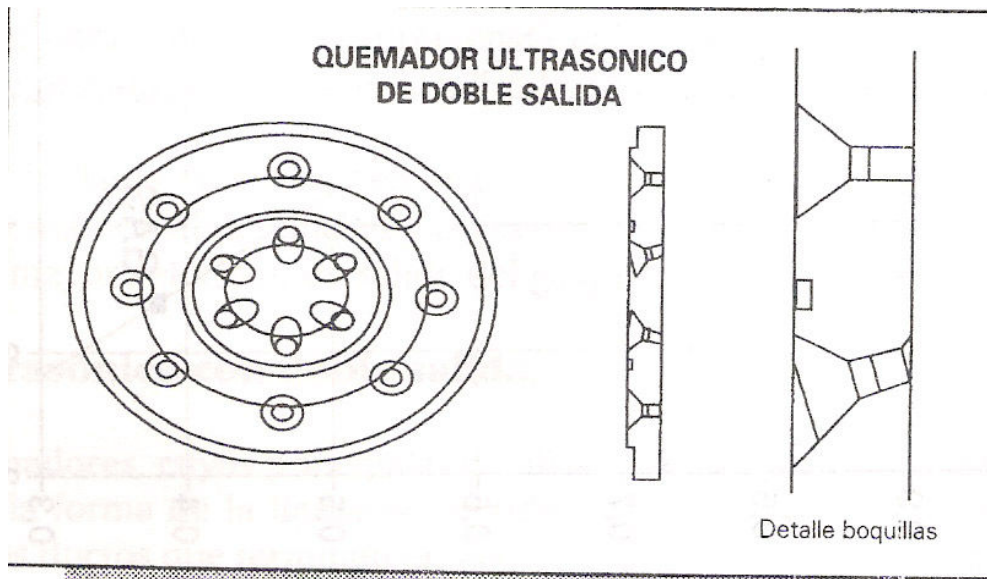


Figura 2
Quemador Unicanal modificado

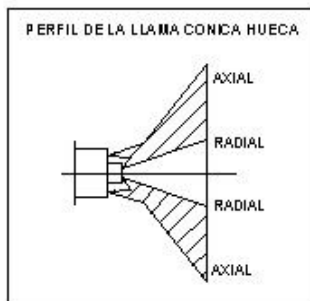
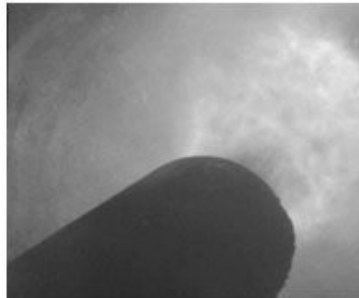
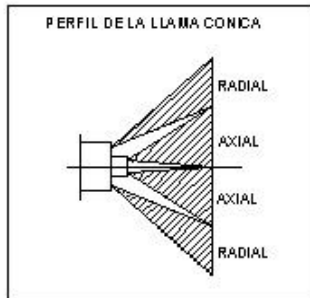
- **Quemadores duales coque/gas sin aire primario**

En plantas con disponibilidad de gas natural, en lugar del inyector de combustible líquido y el correspondiente aire primario, logramos perfeccionar, a partir del modelo original desarrollado por Helmut Riess en Colombia, el quemador dual que combina carbones muy difíciles de quemar, tales como antracita y pet coque con bajo nivel de volátiles, con gas natural, cuyo problema individual es su baja emisividad de llama.



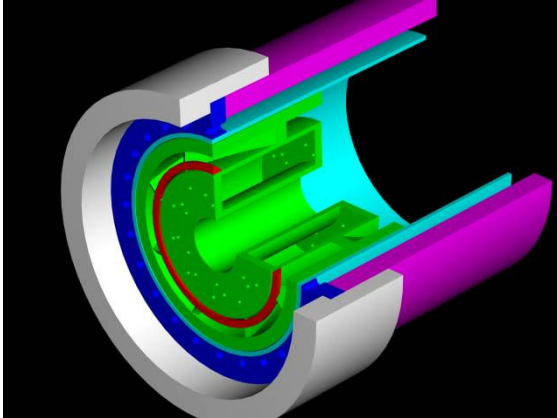
- **Llama cónica hueca**

Las ventajas de la llama cónica hueca, que permite concentrar más calor sin afectar la costra y el refractario, nos ha permitido establecer que todos los quemadores deben cumplir esta condición. Curiosamente los fabricantes de quemadores no han orientado sus esfuerzos en este sentido, porque la simplificación en este campo, afecta gravemente sus intereses comerciales. Un horno con llama cónica hueca que nodulice perfectamente el material en proceso, eliminando la mayoría de problemas operativos, resulta muy mal negocio para quines desarrollan y fabrican equipos orientados a administrar convenientemente los problemas con alta tecnología, en lugar de eliminarlos.



- **Diseños específicos para cada horno individual**

La simplificación de tecnología en este campo permite concebir el diseño, fabricación y montaje de quemadores específicamente adecuados para cada planta cementera individual, en función de sus características de materias primas, parámetros de operación, exigencias de producción y combustibles utilizados.



Quemador diseñado por Combustión Industrial

- **Modificación de quemadores existentes**

Todos los quemadores pueden y deberían ser modificados para formar llama cónica hueca, en razón de todos se basan en el mismo principio de funcionamiento y obedecen los mismos parámetros de regulación. Así lo hacemos, con participación directa de los ingenieros de cada planta, simplificando el control operativo y la productividad, mejorando el mantenimiento y proyectando los hornos a su función ecológica.



Todos los quemadores pueden ser modificados para formar llama cónica hueca y que estos quemadores de tercera generación se pueden y deben utilizar en hornos de cualquier época y tipo de proceso.