

LOS GRANDES ERRORES Y ACIERTOS EN LA HISTORIA DEL HORNO CEMENTERO



Desde que se diseñó y puso en marcha el primer horno cementero, el sistema de producción de clínker ha sufrido y disfrutado muchos cambios hasta llegar al modelo actual, prácticamente inmejorable. En este artículo analizamos los grandes errores y principales aciertos cometidos, sin pretender ser dueños de la verdad en este campo; todos tenemos derecho a opinar.

El Horno Cementero constituye un caso particular de reactor múltiple, en el cual se desarrollan simultáneamente múltiples operaciones y procesos unitarios : secado, transporte de sólidos y gases, calcinación, nodulización, transferencia de calor por radiación, convección y conducción, calentamiento y enfriamiento, clinkerización, cristalización, evaporación, etc.

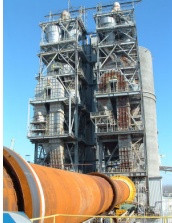
Desde los primeros hornos cementeros verticales y rotativos muchas transformaciones han permitido mejorar su productividad, incorporando los adelantos de la tecnología en casi siglo y medio de historia. En tal evolución, relativamente lenta comparada con la acontecida en otros sectores, podemos definir grandes aciertos y errores en las modificaciones y nuevos diseños incorporados.

Para conocer el camino recorrido y apreciar como se ha podido llegar a disponer de los modernos hornos cementeros con grandes capacidades de producción y niveles de eficiencia cercanos a los establecidos por límites termodinámicos, resultará interesante plantearlos en base a nuestra experiencia en este campo.

Para ser positivos, analizaremos inicialmente los grandes aciertos, fundamentando las razones por las cuales los consideramos como tales:

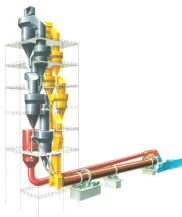
A. GRANDES ACIERTOS EN LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO DEL HORNO CEMENTERO

A.1 PRECALENTADOR DE POLVO EN SUSPENSIÓN DE GASES



Siendo el horno tubular rotativo un pésimo intercambiador de calor, al superar la etapa de vía húmeda y alimentar al sistema polvo crudo seco, la incorporación del intercambiador de calor entre los gases del horno y el polvo crudo en contracorriente a través de una torre vertical con sucesivas etapas de cicloneo, constituye una verdadera genialidad termodinámica, permitiendo cambiar el tiempo de calentamiento del material en proceso de minutos a segundos, desde la temperatura de alimentación al límite de 800°C, inicialmente en 2 o 3 etapas y finalmente hasta en 6 etapas de cicloneo.

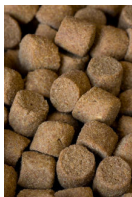
A.2 PRECALCINACIÓN



El Precalentador del Polvo en Suspensión de Gases debe limitar sus límites termodinámicos para evitar la presencia de fase líquida que provoca pegaduras y taponamientos, lo cual obliga a efectuar una proporción todavía importante de descarbonatación en el horno rotatorio. La incorporación de la precalcinación, basada en el concepto de efectuar simultáneamente la reacción exotérmica de la combustión y la reacción exotérmica de descarbonatación en el mismo reactor, constituye otra genialidad en este campo.

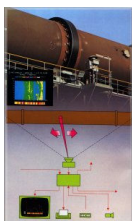
La precalcinación resulta tan importante y conveniente, que ya no podemos concebir un sistema de producción de clínker sin precalciner.

A.3 PELLETIZACIÓN DEL POLVO FINO



La disponibilidad del polvo fino captado por electrofiltros y/o filtros de mangas representa un grave problema en el proceso de producción, debido a que los separadores estáticos (ciclones) del precalentador no llegan a captar partículas de menos de 5 micras, siendo arrastrados con los gases de salida del horno alrededor del 80% de los finos recirculados en la alimentación, formando un ciclo externo que disminuye la capacidad y eficiencia del sistema. La pelletización del polvo fino, recirculando al horno directamente pellets (nódulos) en lugar de polvo al precalentador representa sustituir cambiar problemas por producción de clínker; en otros términos, cambiar costos adicionales y un dolor de caeza permanente, por dinero en efectivo.

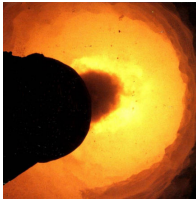
A.4 SCANNER



Cuando se menciona que el proceso de producción de clínker es ciencia y arte, una de las partes artísticas sin duda la constituye la habilidad operativa para mantener una adecuada formación de costra en el interior del horno, protegiendo el refractario en a zona crítica, sin pegaduras y anillamientos en el resto del horno.

Para tal propósito, el llamado Scanner, que nos muestra termográficamente y en vistosos colores la conformación interior de la costra del horno, permitiéndonos detectar a tiempo caídas de costra y desprotección del refractario y tendencias de anillamientos, representa una verdadera maravilla. Para quienes hemos vivido la época de control manual de temperaturas externas de la chapa del horno con radiómetro y los problemas de los carritos desplazables, el scanner constituye una ayuda invaluable en el control operativo del horno.

A.5 LLAMA CÓNICA HUECA



Aunque las reacciones de clinkerización son exotérmicas, en el proceso de fabricación resulta fundamental la forma en que se desarrolla la combustión en el interior del horno, para mantener la elevada temperatura requerida para formación de las fases mineralógicas del clínker .

Durante casi un siglo se ha sufrido los problemas derivados del impacto de llama y sobrecalentamientos de la zona crítica, por disponer de llamas con tendencia cónica que al pretender acortarse para concentrar calor en la zona crítica, buscando el objetivo de separar adecuadamente las zonas de nodulización y clinkerización, provocaban la fundición y/o caída de costra y las consiguientes desprotecciones del ladrillo que terminaban en mancha roja en la chapa del horno.

Al reconocerse la formación de llama como un problema de mecánica de fluidos y diseñarse el aporte de impulsos en la forma que permita formar la llama "llama cónica hueca" que se cierra en lugar de abrirse, protegiendo la costra y el ladrillo en lugar de atacarlos, han quedado totalmente definidas las características de diseño de los quemadores y establecido que solamente existe una forma y ubicación correctas para la llama del horno cementero.

La llama cónica hueca es tan importante para adecuado control operativo del los procesos de combustión y clinkerización, que ya se concibe un horno cementero que pueda operar en forma competitiva sin esta tecnología.

GRANDES ERRORES EN LA EVOLUCIÓN DEL HORNO CEMENTERO :

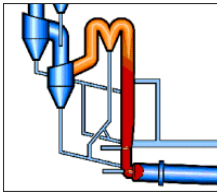
E.1 HORNO LARGO



Al superarse la tecnología de vía húmeda y sus elevados consumos energéticos, surgen los hornos largos de vía seca. Constituyen un grave error de diseño en la tecnología de fabricación de clínker, por desconocer que el horno rotatorio tubular constituye un pésimo intercambiador de calor por radiación y convección en la zona fría del horno.

Podría argumentarse que constituye un paso adelante entre la vía húmeda y el intercambiador del polvo en suspensión de gases, pero la tecnología de hornos largos de vía seca surge en la década de los 70, cuando ya existían precalentadores tipo Humboldt, por lo cual esta tecnología constituye un error histórico. Prueba de ello que duraron muy poco tiempo en operación los sistemas incorporados.

E.2 CUELLO DE CISNE



Al surgir la maravilla tecnológica de la precalcinación surgieron múltiples variaciones de diseño respecto al original Flash Calciner que efectuaba la precalcinación en un solo reactor, realizando la descarbonatación del polvo crudo en suspensión en el interior de la llama, alargando los diseños de reactores para permitir mayores producciones.

Consideramos que ello constituye un error porque en tales casos ya deja de constituir un proceso de precalcinación, convirtiéndose en una forma de transferencia de calor por convección, pero con los elementos que intercambian calor viajando en flujo laminar.

Los llamados cuellos de cisne, ganso o pato que alargan el tiempo de contacto gases – polvo constituyen en nuestra opinión un error de diseño. La precalcinación debe efectuarse necesariamente en flujo turbulento.

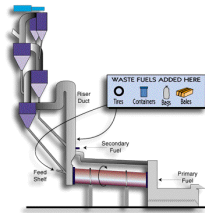
E.3 PRECALENTADOR TIPO S



La gran ventaja que representa disponer de precalcinación en el precalentador ha llevado a los fabricantes de equipo a captar proyectos con limitada capacidad de inversión, incorporando sistemas que transportan el oxígeno requerido para la combustión a través del horno; esto constituye un engaño porque se dispondría de aire con 3 o 4 % de oxígeno; constituye un error porque representa enfriar la temperatura de llama, afectando en forma gravísima (a la cuarta potencia) la

transferencia de calor por radiación en la llama. Resulta preferible incorporar un sistema de precalcinación que aporte oxígeno para la combustión inyectando aire frío, bajo la consideración de que un metro cúbico de aire normal aporta 300 gramos de oxígeno, mientras que un metro de aire a 1000°C solamente aporta 67 gramos para la combustión.

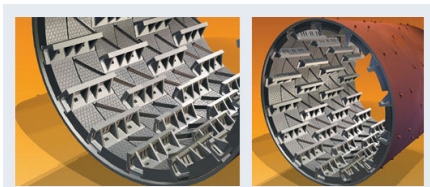
E.4 HORNO SUPER CORTO



El horno cementero ha sufrido muchos cambios en la parte posterior, pero existen 4 zonas que siempre han sido y seguirán siendo las mismas : Transición, Nodulización, Clinkerización y Enfriamiento. Sin importar lo que sucede en las etapas posteriores, a partir de la conclusión de la decarbonatación y quedar disponibles en proporciones adecuadas los 4 óxidos básicos (C,S,A,F), estas 4 etapas son imprescindibles, lo cual determina la necesidad de una longitud mínima adecuada.

Los fabricantes de equipo, entusiasmados por la precalcinación pero sin mucho criterio técnico cementero, diseñaron hornos supercortos, tales como el Pirorapid de Polysius, con relaciones L/D inferiores a 10. Este constituye un error histórico, porque la longitud de llama extiende la clinkerización hasta la zona de transición, provocando que se clinkerice antes de nodulizar; el resulta se tradujo en horno demasiado polvosos, con todos los problemas consiguientes. La relación mínima L/D para nuestro gusto, contando con llama cónica hueca, es de 12.

E.5 ENFRIADOR DE SATÉLITES



Las dificultades de los enfriadores tipo parrilla para manejar clínker polvoso y granulometrías demasiado variadas, determinaron que se diseñe este tipo de enfriadores tipo satélites, incorporando a la estructura mecánica del horno un componente adicional que girando con el mismo accionamiento efectúe el enfriamiento del clínker en 12 tubos de menor diámetro concéntricos.

La primera razón por la cual puede considerarse un error de diseño es el argumento conocido de los pésimos rendimientos de intercambiadores tubulares, pero el esfuerzo mecánico al que se somete a estos equipos es verdaderamente inmanejable, tomando en cuenta la abrasividad del clinker y el esfuerzo térmico individual de los tubos.

COMENTARIO FINAL

El análisis de los aciertos referidos nos permite establecer la excelencia técnica de los fabricantes de maquinaria y equipo para la industria cementera, protagonistas del desarrollo tecnológico en este campo.

Basados precisamente en el punto anterior nos preguntamos como tales excelentes técnicos pueden cometer los errores mencionados y comentados; la explicación la encontramos al considerar quienes se han perjudicado con las inversiones fallidas, lo cual nos enseña que los objetivos de carácter económico de fabricantes de cemento y los que persiguen los fabricantes de maquinaria y equipo no son coincidentes.