

Modelo matemático del enfriador de parrilla: conclusiones y aplicaciones prácticas deducidas del mismo

SALVADOR GUTIERREZ MAINAR, Ingeniero Industrial
Servicio de Proceso C.I. y D. ASLAND - Villaluenga de la Sagra

INTRODUCCION

La situación actual, en lo que se refiere al consumo de energía, obliga a una inspección detallada de aquellos puntos de una instalación sobre los que se pueda actuar para conseguir un ahorro en calorías. Es debido a ello por lo que un elemento de tal importancia como es el enfriador en el proceso de la producción del cemento debe ser aprovechado al máximo, atendiendo a su capacidad recuperadora de las calorías que salen del horno con el clínker.

En efecto, si en el balance térmico de un horno con un consumo de 840 kcal por kg de clínker pueden llegar las pérdidas por enfriador a suponer cerca del 25 % del total de las salidas de calor en el caso de una conducción deficiente, es necesario buscar la optimización de funcionamiento en base a la recuperación térmica.

Dicho de otra manera: Un enfriador de un horno de 3.000 t/24 h que pasara el rendimiento del 60 al 70 % supondría un ahorro en calorías de 36 kcal por kg de clínker, que al precio actual del fuel, y con un porcentaje de marcha del horno del 95 %, redundaría en unos 19 millones de pesetas anuales.

Esto es lo suficientemente importante como para justificar no sólo un mayor interés en la conducción del enfriador, sino para emprender una serie de investigaciones con el fin de obtener el máximo rendimiento de un enfriador.

En el seno de la Compañía General de Asfaltos y Portland ASLAND, y dirigidos por su Servicio de Proceso, se han llevado a cabo tales investigaciones. Se ha actuado durante cerca de dos años sobre enfriadores de parrilla de los tipos móvil y fijo. El presente trabajo se centra en los resultados obtenidos con los enfriadores de estos tipos existentes en la Compañía.

Los resultados han llevado a la confección de un modelo de funcionamiento del enfriador perfectamente ajustado a la realidad. Sobre ese modelo se han experimentado soluciones que han llevado en el momento actual a una definición de una filosofía de conducción, a un mayor conocimiento de los hechos y a una serie de proyectos de mejora que permitirán reducir el consumo calorífico de los hornos.

1. FUNDAMENTO DEL MODELO

Observando la figura 1 es fácil extraer el principio del método: Dividido el lecho de clínker en una serie de celdillas elementales de altura Δy , longitud Δx y ancho el de la parrilla, la transmisión de calor se realiza por el principio de corriente cruzada = el clínker avanza en sentido transversal y el aire lo hace atravesando de abajo arriba.

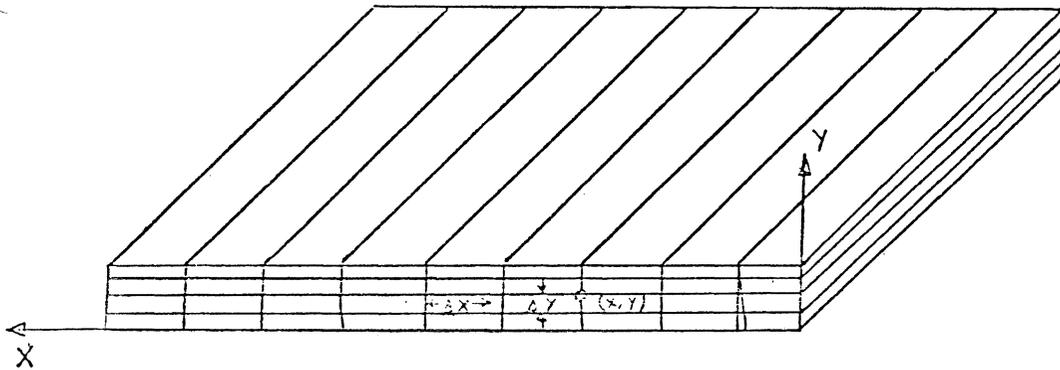


Fig. 1

El método consiste en efectuar un balance térmico en cada una de las celdillas elementales en que se dividió el lecho.

Llamando:

Q_a : al caudal de aire que atraviesa la celdilla por Q_{ck} ,

t_{ae} : temperatura de entrada del aire en la celdilla,

t_{as} : temperatura del aire de salida de la celdilla,

t_{me} : temperatura de entrada del material en la celdilla,

t_{ms} : temperatura de salida del material en la celdilla,

C_{ae} y C_{as} : calores específicos del aire a las temperaturas de entrada y salida,

C_{me} y C_{ms} : calores específicos del material de entrada y salida,

se debe cumplir:

$$Q_a (C_{as} t_{as} - C_{ae} t_{ae}) = C_{me} t_{me} - C_{ms} t_{ms}$$

De esta manera, se consigue obtener una distribución de temperaturas en cada punto del retículo en que queda dividido el lecho.

El único problema presentado era obtener un valor para el coeficiente de transmisión térmica aire-clínker. Los experimentos de laboratorio se mostraron como no válidos, siendo preciso recurrir a efectuar una serie de balances térmicos de un enfriador de una instalación real. Esto es así, debido a que en cada enfriador de cada horno, el lecho de clínker sobre parrilla presenta una distribución distinta, lo que afecta sustancialmente al intercambio.

Una vez construido el modelo, se está en disposición de plantearle todas las opciones que se deseen.

Inicialmente, se trataron los siguientes temas:

1. Efecto de las placas de agua a la caída del horno.
2. Relación espesor del lecho → Rendimiento de la recuperación térmica.
3. Acciones a tomar para mantener la recuperación térmica en caso de un cambio en la producción.
4. Recirculación del aire de escape.
5. Influencia de la temperatura ambiente.
6. Influencia del peso específico del lecho de clínker.

1. Efecto de las placas de agua a la caída del horno

Para evitar las pegaduras del clínker a la caída desde el horno, algunas instalaciones usan placas refrigeradas por agua, para anular las inestabilidades causadas por la apertura periódica de puertas con el fin de limpiar la caída.

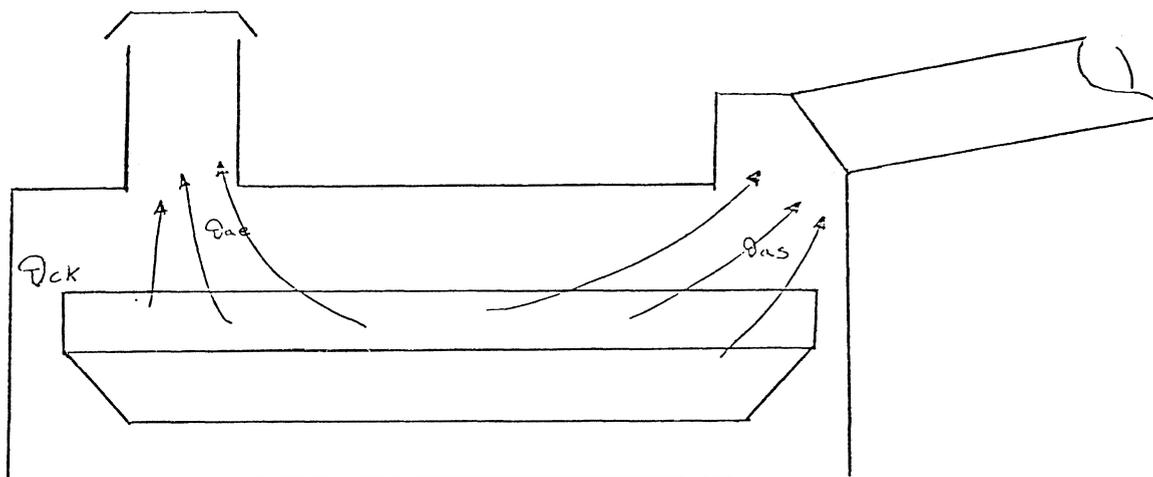


Fig. 2

Se investigó el efecto de unas placas de agua sobre un enfriador de 1,68 m de ancho de parrilla y 13 m de largo. Las placas absorbían unas 20 kcal por kg de clínker. Se estimó que el efecto sobre el modelo sería como si la temperatura del clínker y de entrada al enfriador hubiera descendido unos 50°C.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	Sin placas	Con placas
Temperatura aire secundario (°C)	658	634
Temperatura aire escape (°C)	253	253
Temperatura clínker (°C)	191	188
Rendimiento recuperación térmica (%)	52	50

Es decir, la temperatura del aire secundario desciende unos 24°C, y el rendimiento lo hace en dos puntos, sin que se aprecie variación notable en el resto.

2. Relación entre el espesor del lecho de clínker y el rendimiento de la recuperación térmica

Esta relación se había comprobado ya experimentalmente, y quedó corroborada por el modelo.

Los resultados se expresan en la figura 3. Al variar la velocidad de parrilla varía el espesor del lecho. También lo hace el caudal de aire de enfriamiento, como consecuencia de ello. No obstante, al disminuir la sección libre de paso se considera constante la velocidad del aire a través del lecho.

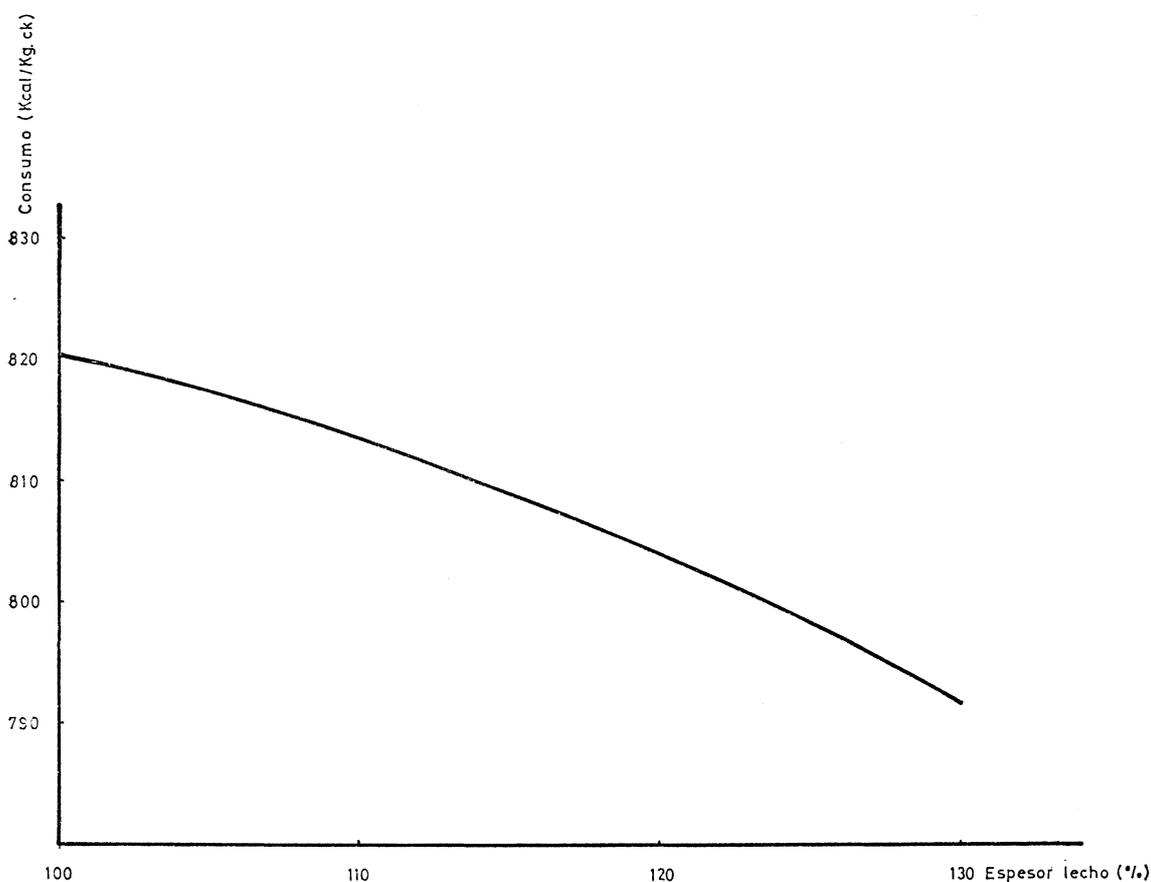


Fig. 3

La temperatura de aire secundario es directamente proporcional al espesor del lecho, siendo además muy acusada su variación. Ello influye, pues, en el consumo del horno, pudiéndose decir que desciende a razón de 2 kcal por kg de clínker por cada 3 mm de elevación del lecho.

Tanto la temperatura del clínker de salida como la del aire de escape descienden, pero siendo este descenso mucho más notable en chimenea que en el clínker.

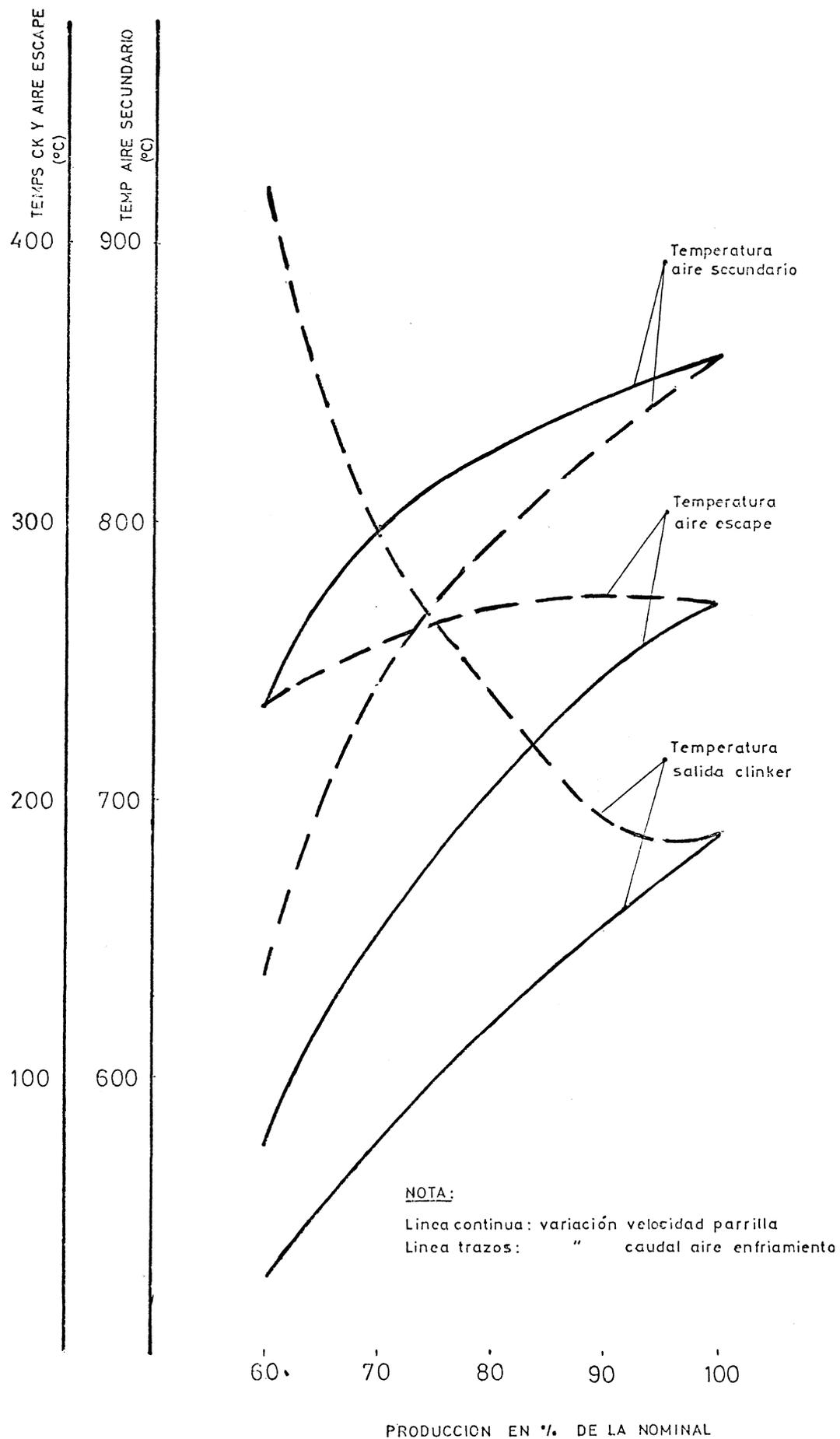


Fig. 4

Como consecuencia, podemos afirmar que es acertada una conducción del enfriador al máximo espesor de lecho compatible con la presión que pueden suministrar los ventiladores. Es preciso notar que el modelo suministra información en el plano térmico solamente. Es decir, no contempla el caso de formación de lomos, chimeneas, etc., en el lecho de clínker por causa de un mal reparto inicial o por falta de presión suficiente de los ventiladores.

3. *Acciones a tomar para mantener la recuperación térmica en el caso de un cambio en la producción*

Partiendo del criterio de que es fundamental una conducción, y por supuesto, una conducción acertada del enfriador, se plantea el problema de qué hacer en caso de que por cualquier causa (disminución marcha, etc.) la cantidad de clínker que pase al enfriador disminuya.

Se comparan utilizando el modelo dos opciones:

- a) Actuar sobre el caudal de aire de enfriamiento intentando mantener la cantidad en Nm^3/kg de clínker, sin variar la velocidad de parrilla.
- b) Modificar ésta última para mantener la altura del lecho de clínker, y como consecuencia, el caudal de aire de enfriamiento.

Partiendo de una producción 100 % sobre la nominal se experimentaron descensos del 10, 20, 30, y 40 %.

Se estudió el efecto en lo que se refiere a las temperaturas de aire secundario, aire de escape y clínker. Los resultados se aprecian en la figura 4.

De él podemos deducir que, suponiendo que fuera necesario elegir entre una de las dos acciones, la que pretende estabilizar la altura del lecho parece la más adecuada.

En efecto, la temperatura del aire secundario experimenta una disminución menor, mientras que la temperatura de clínker disminuye sensiblemente; el efecto de disminuir el aire de enfriamiento aparece en lo que respecta al clínker francamente negativo.

4. *Efecto de la recirculación de aire a la primera zona de pulsantes. (Enfriadores Recupol).*

La política de aumento de rendimiento del enfriador para ahorro de energía incluye el aprovechamiento de los gases calientes de salida del enfriador, y la primera posibilidad es introducir ese aire como aire en la primera zona para aumentar la temperatura del aire secundario (fig. 5).

Esa posibilidad se planteó al modelo. Sin embargo, se tuvo en cuenta que la pérdida de presión producida por el sistema de desempolvado y el conducto harían desplazarse el punto de trabajo del ventilador, por modificación de la resistencia del circuito (fig. 6). Como consecuencia de ello, y porque tanto las temperaturas como el polvo aconsejarían cambiar el ventilador preexistente por otro, se decidió que éste tendría unas características tales que a la temperatura de recirculación diera un caudal (en M^3/H) igual al que suministraba el primitivo.

Planteado esto al modelo, la información suministrada arroja una elevación de rendimiento de unos 5 enteros.

Igualmente, al disponer de una distribución de temperaturas de aire sobre el lecho, es posible determinar, con cierto grado de seguridad, el punto de aspiración, sin que sean grandes las posibilidades de alterar la combustión.

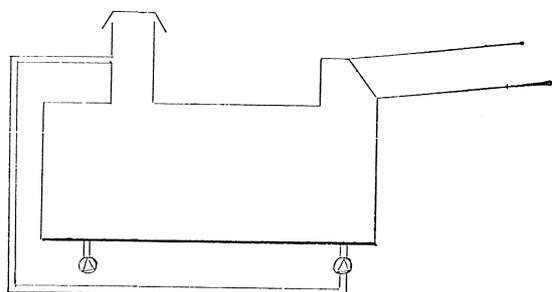


Fig. 5

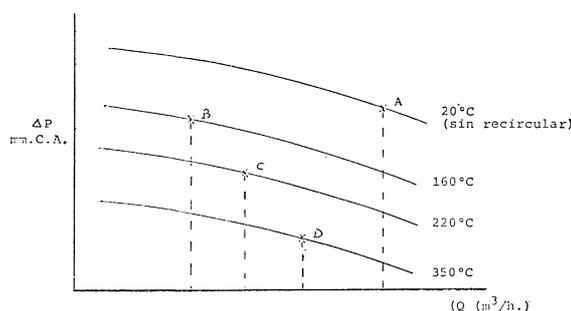


Fig. 6

Ahora bien, cada instalación debe ser estudiada cuidadosamente, ya que la recirculación hace subir la temperatura del clinker de salida. Asimismo hay fabricantes, en aquellos modelos de enfriadores de parrilla móvil, que no aconsejan la recirculación por el peligro de que empeore la refrigeración de las placas.

5. Influencia de la temperatura ambiente

Suponiendo un espesor de lecho de 100 mm se experimentó el efecto de variar la temperatura del aire de enfriamiento en $\pm 10^\circ\text{C}$. Los resultados fueron los siguientes:

Temperatura aire enfriamiento ($^\circ\text{C}$)	10	20	30
Temperatura aire secundario ($^\circ\text{C}$)	651	658	662
Temperatura clinker ($^\circ\text{C}$)	185	191	203
Rendimiento (%)	51,9	52	52,8

Es decir, la recuperación térmica no varía apreciablemente, aunque quizás haya una ligera variación en la temperatura de salida del clinker, en una relación cercana a $1^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ aire enfriamiento.

6. Influencia del peso específico del lecho de clinker

Se probaron lechos de clinker de distinto peso específico.

Ello hace variar el porcentaje de huecos en el lecho, las velocidades de aire y, en consecuencia, la transmisión del calor. Debido a ello, podemos afirmar que el rendimiento de la recuperación térmica del enfriador aumenta conforme lo hace el peso específico del lecho de clinker. Debemos hacer la misma advertencia en lo referente a la temperatura de salida de éste que la ya expuesta, al tratar de la recirculación.

Llevando esta conclusión aún más lejos, en principio podemos afirmar que un clínker de granulometría más abierta conducirá a un mayor rendimiento del enfriador. Esto implicaría que, si un horno de intercambiador tiene su curva granulométrica más abierta, le es más conveniente un enfriador de parrilla que a un horno tipo Lepol. Es preciso hacer la salvedad que el modelo trata únicamente de problemas térmicos, y no toca aquellos que se pudieran presentar por acumulación de finos, chimeneas en el lecho, lomos, etc.

2. RESULTADOS PRACTICOS

Como consecuencia de la aplicación de estos principios se han llegado a unas mejoras en los rendimientos de los enfriadores realmente satisfactorias.

En dos enfriadores de $1,68 \times 13$ m para hornos de 600 t/24 h se pasó de un rendimiento medio de la recuperación térmica del 48 % a un 62 %, lo que se ha traducido en un ahorro real en consumo energético para los hornos de cerca de 20 kcal por kg de clínker.

El resultado más espectacular se ha conseguido en un enfriador de $2,4 \times 21$ m para un horno de 1.800 t/24 h al pasar su rendimiento de un 44 a 65 %, ganando unas 75 kcal por kg de clínker.

Las acciones tomadas, a partir de la aplicación del modelo, se refirieron simplemente a reducción de velocidad de parrilla y de caudal de aire de enfriamiento, estando en vías de ejecución la puesta en funcionamiento de la recirculación de aire de chimenea.

Es necesario señalar que el aumento de capa de clínker debe ir coordinado con una política de revisión de los cierres de las descargas de finos, en especial de las cámaras más cercanas a la caída del horno, ya que de otro modo, al abrirse dichas descargas por efecto de una mayor presión, habrá pérdida de aire en la zona en que éste sirve para repartir adecuadamente al clínker, por lo que se producirán lomos y aglomeraciones que darán al traste con la mejora pretendida.

Actualmente se hallan en curso trabajos realizados con el aprovechamiento de gases calientes de escape del enfriador para secado de materias primas o producción de vapor. En este tema es interesante el poder disponer de un modelo que dé una idea de las temperaturas de aire una vez pasado el lecho de clínker con el fin de determinar exactamente el posible punto de aspiración.

RESUMEN

El trabajo apunta la importancia que reviste el enfriador de clínker en el tema del ahorro de energía. Para un mejor conocimiento del funcionamiento de aquél se ha puesto a punto un modelo que permite predecir el efecto de cambios en la velocidad de parrilla, caudal de aire de enfriamiento, recirculación de gases calientes y granulometría del clínker.

Resultados conseguidos aplicando las conclusiones extraídas del modelo han permitido ahorros de energía que, en algún caso, han llegado a las 75 kcal por kg de clínker. El modelo proporciona asimismo una filosofía de conducción, ayudando además a suministrar datos que permitan realizar estudios sobre aprovechamiento de energía.