

Mejora de la eficiencia energética en la fabricación de cerámica estructural

E. Vaquer, A. Mezquita, E. Monfort

*Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE)
Universitat Jaume I. Castellón. España.*

Resumen

El proceso de fabricación de materiales cerámicos de construcción de arcilla cocida (también denominada cerámica estructural) es intensivo en consumo de energía térmica, que se consume principalmente durante las etapas de secado y cocción.

La energía térmica utilizada en el proceso proviene de la combustión de combustibles fósiles, principalmente gas natural, fuelóleo y coque de petróleo. Durante la combustión se producen emisiones de dióxido de carbono, uno de los gases de efecto invernadero, cuyas emisiones son objeto de control y reducción a escala internacional.

En la actualidad el coste de los combustibles derivados del petróleo se ha visto fuertemente incrementado, lo que repercute directamente sobre los costes de fabricación de estos productos cerámicos y en consecuencia sobre la competitividad de las empresas. Es importante, por tanto, incrementar la eficiencia energética en el proceso de fabricación para poder reducir tanto la factura energética como las emisiones de dióxido de carbono.

En este estudio se propone la realización de auditorías energéticas en las instalaciones industriales como herramienta para mejorar la eficiencia

energética del proceso de fabricación de cerámica estructural. Una de las actividades más importantes a realizar durante la ejecución de una auditoría energética es la realización de balances de energía en los principales equipos consumidores.

Estudios realizados en diversas instalaciones industriales muestran que la eficiencia energética global (energía necesaria/energía aportada) del proceso productivo se sitúa en torno al 30 %, lo que significa que el 70 % de la energía consumida en la planta productiva se disipa a través de las chimeneas, con el producto y las vagonetas, a través de las paredes, etc.

Finalmente se sugieren algunas acciones de ahorro que es posible implementar en las etapas de secado y cocción de los productos cerámicos. El ahorro potencial medio de energía térmica estimado en las instalaciones de fabricación de cerámica estructural, depende de la situación inicial obviamente, pero en términos generales se sitúa en el intervalo entre el 5 y el 10 % del consumo total de la instalación.

1. Introducción

El proceso de fabricación de cerámica estructural se ha representado esquemáticamente en la Figura 1.

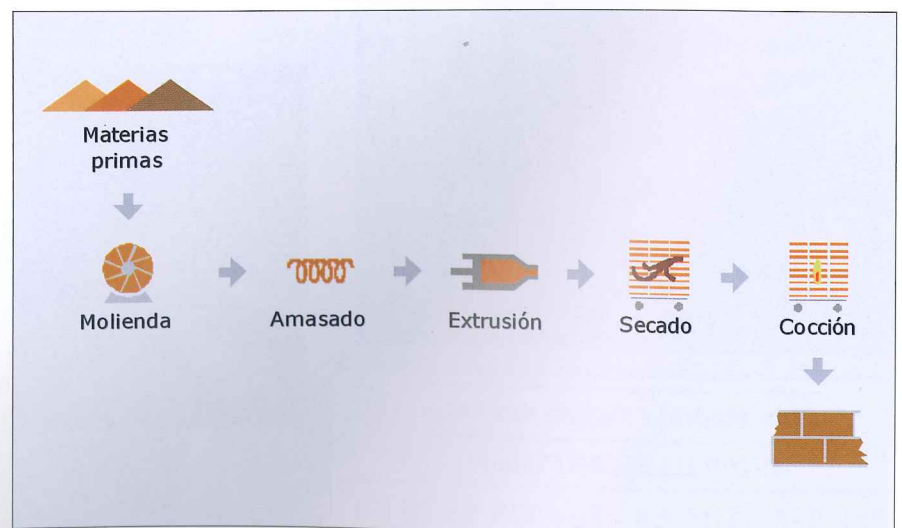


Figura 1. Diagrama del proceso de fabricación de cerámica estructural.

Las etapas con mayor consumo de energía térmica son las etapas de secado y cocción, siendo ésta última la que mayor consumo supone de las dos.

Habitualmente, el secado se realiza en secaderos túnel, en el que las piezas se sitúan en unas vagonetas que se mueven sobre unas guías. El aporte de calor al secadero se realiza habitualmente mediante quemadores y/o con gases recuperados de la zona de enfriamiento del horno.

La cocción se efectúa en hornos túnel, en el que las piezas van apiladas sobre vagonetas. El aporte energético se realiza mediante quemadores situados en la bóveda del horno, y a veces también en los laterales de la zona de calentamiento.

Con el objetivo de conocer el aprovechamiento energético real en las instalaciones industriales, e identificar las posibles acciones de ahorro energético, se recomienda la realización de auditorías energéticas, las cuales se llevan a cabo a través un procedimiento organizado de recopilación de información y medidas experimentales de las variables de trabajo.

Los principales resultados de una auditoría energética son:

- Obtención del consumo específico de energía en la empresa, y por etapa del proceso.
- Análisis de los factores productivos con mayor influencia en el consumo de energía.
- Identificación y evaluación técnica y económica de las distintas oportunidades de ahorro de energía.

Una de las herramientas más utilizadas en la realización de auditorías energéticas es el balance de energía.

2. Balances de energía

Un balance de energía consiste evaluar el contenido energético de cada una de las corrientes que intervienen en un proceso, que pueden ser líquidos, sólidos o gases.

Para realizar un balance energético a un sistema es necesario evaluar todas las entradas y salidas de energía de la instalación. El cálculo de la energía asociada a cada una de las corrientes se realiza a partir de los datos experimentales medidos en la instalación.

El procedimiento general seguido en la realización de los balances de energía es el siguiente:

- Análisis del proceso e identificación de todas las corrientes.
- Selección de las variables a medir y preparación de los equipos de medida.
- Realización de las medidas en la instalación.
- Realización de los cálculos.
- Análisis de los resultados obtenidos.

A continuación se describen las características y las variables a medir en la realización de un balance de energía a un secadero y a un horno de cocción de productos cerámicos.

2.1 Balance de energía a un secadero

La etapa de secado es una operación unitaria de transferencia simultánea de calor y materia. Es la etapa del proceso de fabricación de productos cerámicos en la que el producto crudo recién conformado pierde por evaporación el agua que contiene. Se trata de una fase delicada, ya que un ciclo de secado inadecuado producirá defectos en las piezas, no siempre visibles a simple vista.

El principal objetivo de esta etapa es reducir la humedad desde un 15–20 % hasta un 1–2 %, además de aumentar la resistencia mecánica en crudo.

Las entradas de energía en un secadero suelen ser las siguientes:

- Gases calientes: el aporte de gases calientes en un secadero puede realizarse con quemadores, con gases recuperados de la zona de enfriamiento del horno túnel o con los gases de escape de un sistema de cogeneración, o bien con una combinación de algunas de estas opciones.
- Entrada de aire ambiente.

- Piezas húmedas y vagonetas.

Las principales salidas de energía son:

- Entalpía de evaporación del agua contenida en las piezas.
- Gases de chimenea.
- Piezas y vagonetas.
- Pérdidas de calor a través de la estructura del secadero, las puertas, etc.

2.2 Balance de energía en un horno túnel

La etapa de cocción es la más importante del proceso productivo, pues durante su ejecución el producto sufre una serie de transformaciones físico-químicas que le confieren las características técnicas y estéticas requeridas.

Las entradas de energía en un horno suelen ser las siguientes:

- Gases calientes, aportados mediante quemadores
- Aire de enfriamiento.
- Piezas crudas y vagonetas.
- Aire comburente.

Las salidas de energía más habituales son:

- Entalpía de cocción del producto.
- Chimenea de humos de combustión.
- Chimenea de aire de enfriamiento.
- Piezas cocidas y vagonetas.
- Pérdidas de calor a través de la estructura del horno, las puertas, el foso, etc.

3. Resultados obtenidos

A continuación se muestran los resultados medios obtenidos por el Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) durante la ejecución de balances de energía realizados a secaderos y hornos túnel de fabricación de cerámica estructural.

En todos los casos se ha considerado que la temperatura de referencia para realizar los balances de energía es 273 K (0 °C). Este modo de proceder permite comparar adecuadamente balances de energía realizados en distintas instalaciones y en diferentes épocas del año.

3.1 Secadero túnel

Los resultados de un balance de energía pueden representarse mediante un Diagrama de Sankey. En la columna de la izquierda se muestran los aportes de energía a la instalación, en el centro el objeto de la operación, y en la columna de la derecha se representan las salidas de energía.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de Sankey típico correspondiente a un secadero túnel continuo.

Los resultados obtenidos muestran que entre el 80 – 90 % de la energía introducida en el secadero proviene de los gases calientes aportados. El origen de estos gases es diverso y depende en gran medida de la configuración del propio secadero, pudiendo provenir únicamente de la combustión del combustible empleado, o bien de los gases calientes recuperados de la chimenea de enfriamiento del horno o de los gases de escape de un sistema de cogeneración.

Este aporte de calor no supone el 100 % de la energía portada debido a que como la temperatura de referencia del balance de energía es de 273 K (0°C), la entrada de gases o productos a temperatura ambiente suponen aportes de energía al sistema.

Entre el 35 – 40 % de la energía total introducida en el secadero se emplea en evaporar el agua contenida en el material, aproximadamente entre el 30 – 40 % de la energía se disipa por la chimenea, apenas el 2 – 5 % se pierde con el material seco y el 20 – 25 % restante corresponde a las pérdidas de energía que se producen a través de las paredes del secadero, por las puertas y otros orificios, con las vagonetas, etc.

3.2 Horno túnel

En la Figura 3 se muestra el diagrama de Sankey típico correspondiente a un horno túnel continuo.

En el caso del horno túnel, entre el 80 y el 90% de la energía total introducida procede de la combustión en los quemadores. Al igual que ocurre en el secadero, este aporte de calor no supone el 100 % de la energía portada debido a que como la temperatura de referencia del balance es 0 °C, la entrada de gases o productos a temperatura ambiente al horno suponen aportes de energía al sistema.

La energía empleada en realizar las reacciones químicas y las transformaciones físicas deseadas en el producto supone entorno al 20 – 30 % de la total introducida.

Entre el 45 – 65 % de la energía se vierte al exterior a través de las chimeneas de los gases de combustión y de enfriamiento. En ocasiones, una par-

te de la energía contenida en los gases de enfriamiento se recupera en otras instalaciones de la empresa, que pueden ser el secadero de producto crudo o un secadero prehorno. La función de estos secaderos es la de acondicionar el material antes de su entrada en el horno.

Las pérdidas de energía a través de la estructura del horno, de las puertas, y con las vagonetas ascienden a un 10 – 20% de energía total introducida, y apenas entre el 1 y 2% se disipa con el material ya cocido.

4. Acciones de ahorro energético

Asociado a un menor consumo de energía térmica hay siempre un menor impacto ambiental. Este impacto depen-

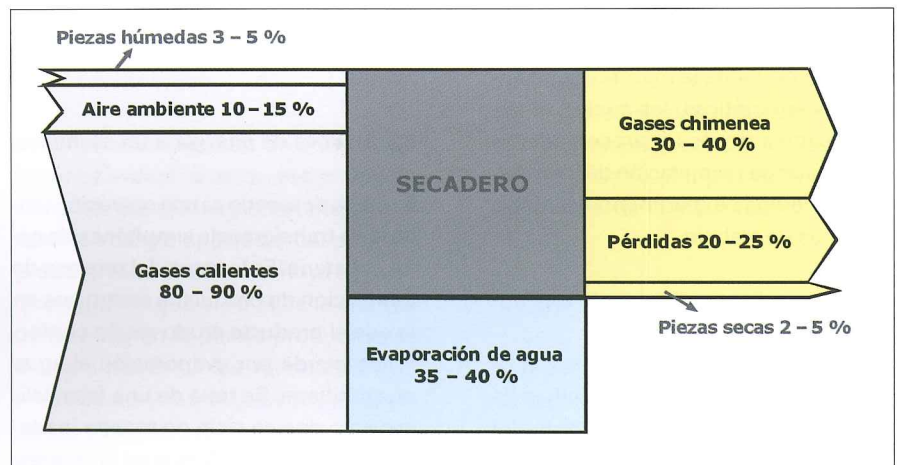


Figura 2. Diagrama de Sankey de un secadero continuo.

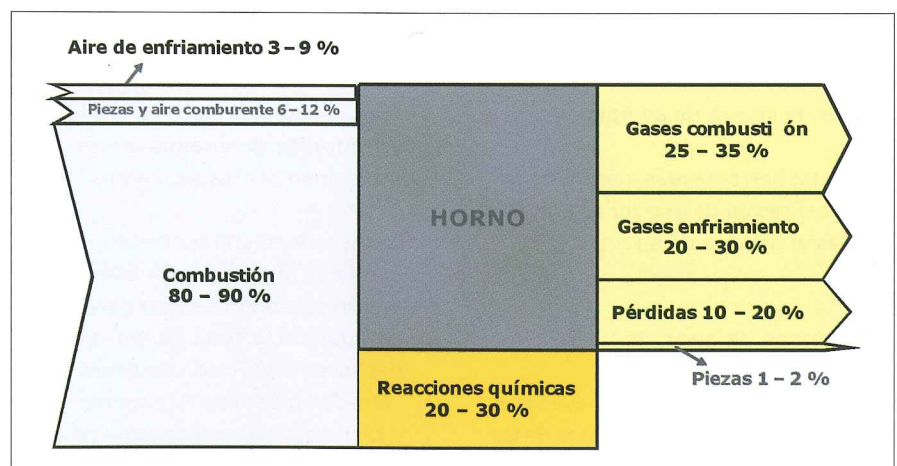


Figura 3. Diagrama de Sankey de un horno túnel.

derá del tipo de energía que se consuma y de la que se ahorre.

El potencial de ahorro de cada medida dependerá de las características propias de cada factoría, como por ejemplo la capacidad productiva, la tecnología empleada, combustibles utilizados, etc.

Las medidas de ahorro propuestas en los equipos de proceso (secadero y horno) son medidas de ahorro verticales, ya que son específicas de un sector de actividad industrial, ligadas al proceso y a la tecnología empleada.

A continuación se describen algunas de las acciones de ahorro aplicables en los equipos estudiados.

4.1 Acciones de ahorro energético en secaderos túnel

Algunas de las posibilidades de ahorro energético en los secaderos túnel continuos son:

4.1.1 Mejora de la distribución del aire en los secaderos

Una buena distribución del aire permitirá homogeneizar las temperaturas en cada zona del secadero, y en consecuencia la humedad de las piezas. De este modo se evitan secados diferenciales dentro de la misma pieza, que en ocasiones pueden llegar a originar grietas y fisuras.

La mejora de la distribución del aire se puede lograr mediante la instalación de sistemas de recirculación del aire de secado, que aumentan la velocidad de los gases y en consecuencia la transmisión de calor por convección hacia las piezas, o bien mediante la incorporación de ventiladores interiores tipo cónico, que permiten homogeneizar la temperatura de secado a lo largo de toda la altura de la vagoneta.

Las mejoras en la distribución de los gases de secado permitirán obtener un producto de mejor calidad, y reducir el ciclo de secado.

4.1.2 Recuperación de calores residuales

La recuperación de calor residual procedente de otros equipos permite reducir el consumo energético en el secadero e incrementar la eficiencia energética de toda la planta productiva. Algunas posibilidades de recuperación de calor en los secaderos son:

- Aprovechamiento de gases procedentes de la zona de enfriamiento del horno.
- Empleo de gases de escape de un sistema de cogeneración como gases de secado.
- Recirculación de los gases de chimenea del secadero en el propio secadero.

4.2 Acciones de ahorro energético en hornos

Algunas de las posibilidades de ahorro energético en los hornos túnel son:

4.2.1 Recuperación del calor sensible de los gases de combustión de los hornos

La recuperación de este calor dependerá de la temperatura y caudal de los humos, y sobre todo de su contenido en contaminantes como azufre, cloro y flúor. Habitualmente, esta recuperación se realiza de manera indirecta, haciendo uso de un intercambiador de calor para calentar aire ambiente, para evitar que el empleo directo de los humos ocasione la condensación de estos contaminantes en forma de ácidos en las instalaciones industriales donde se recuperen.

Algunas de las posibilidades de aprovechamiento del aire ambiente calentado son:

- En la zona inicial del horno, denominada prehorno, para el precalentamiento y presecado de las piezas antes del inicio del ciclo de cocción.
- En los quemadores, como aire de combustión.
- En el secadero de piezas recién conformadas.

El aprovechamiento de los gases calientes en el propio horno es la mejor opción, pues independiza el funcionamiento de unos equipos de los otros, ya que así se eliminan las pérdidas de calor durante los fines de semana, cuando el secadero de piezas recién conformadas habitualmente no funciona.

4.2.2 Recuperación de calores residuales

En los hornos túnel existen varias corrientes de gases calientes y limpios, libres de contaminantes, susceptibles de ser aprovechados bien en el propio horno, o bien en otros equipos. Estas corrientes son:

- Aire procedente de la refrigeración de la bóveda.
- Aire procedente de la refrigeración del foso.
- Gases de la zona de enfriamiento del horno.

Las posibilidades de aprovechamiento de estos gases son las mismas que las explicadas en el apartado anterior, bien en el propio horno o bien en el secadero túnel.

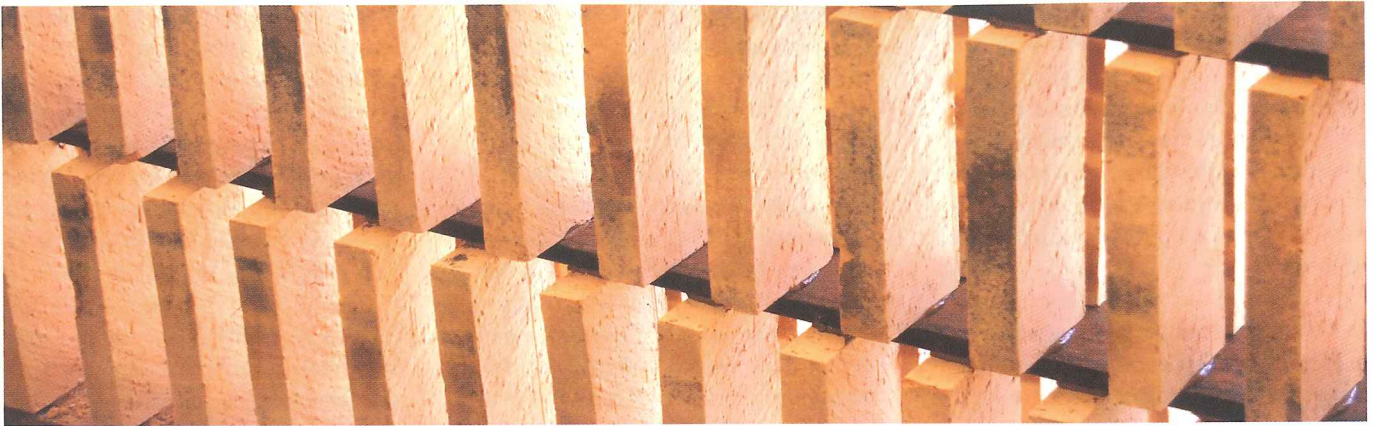
4.2.3 Instalación de quemadores de alta velocidad en el precalentamiento

Los quemadores jet o de alta velocidad son quemadores en los que los productos de la combustión salen a elevada velocidad. Esto permite una gran uniformidad de temperatura en la zona en la que se instalen, ya que aumenta la velocidad de transmisión de calor por convección. Se recomienda su instalación en las paredes laterales de la zona de precalentamiento de los hornos túnel, para facilitar el calentamiento uniforme de la carga antes de alcanzar la zona de máxima temperatura.

Una mayor homogeneidad de temperaturas en los productos en esta zona del horno permite reducir el ciclo de cocción, aumentando de este modo la producción.

4.2.4 Reducción de la masa de los vagones

Una de las pérdidas de calor en los hornos túnel se produce a través de los va-



gonas que transportan la carga, pues cuando salen del horno, en ocasiones, todavía están a una temperatura elevada, por no haber tenido tiempo, durante el enfriamiento, de perder la temperatura adquirida en la zona de cocción.

Este calor, una vez han salido las vagonetas del horno, se pierde, de modo que no puede ser aprovechado.

Para minimizar estas pérdidas de calor, se recomienda la construcción de las vagonetas con refractarios ligeros, de baja masa térmica, que pueden enfriarse a mayor velocidad y ceder su calor a los gases de enfriamiento en el interior del horno, de modo que posteriormente pueden ser recuperados.

4.2.5 Optimización de los sistemas de combustión

La optimización de los sistemas de combustión consiste en adecuar la cantidad de aire comburente utilizada a las necesidades del combustible y del proceso utilizado, para evitar el empleo de un exceso de comburente que conduzca a un consumo innecesario de combustible, siempre manteniendo los estándares de calidad del producto cocido.

En algunas instalaciones es posible la utilización como combustible de biomasa procedente de residuos agrícolas o industriales. Esta opción puede ser interesante dado que el precio de estos combustibles es inferior al de los combustibles fósiles empleados habitualmente.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones que se pueden extraer del análisis realizado son:

- Las auditorías energéticas constituyen el primer paso para realizar un proyecto de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones industriales de fabricación de productos cerámicos, pues permiten cuantificar los consumos de energía e identificar las posibles acciones de ahorro.
- Los balances de energía constituyen una herramienta imprescindible para conocer el aprovechamiento real de la energía en las instalaciones industriales, y cuantificar todas las pérdidas de energía que se producen.
- Las mayores pérdidas de calor en los secaderos túneles se producen a través de la chimenea y de las paredes del secadero.
- En los hornos túnel, las mayores pérdidas de energía se producen a través de las chimeneas de humos y de enfriamiento, y de las paredes y bóveda del horno.
- Las principales acciones de ahorro energético en los secaderos pasan por tratar de que el aporte de gases calientes provenga de otros equipos, como pueden ser el horno o un sistema de cogeneración.
- En los hornos túneles, la mejora de la eficiencia energética pasa por el aprovechamiento de los calores residuales de las chimeneas de humos y de enfriamiento, a ser posible en el propio horno, así como por reducir las pérdidas de calor asociadas a las vagonetas en la salida del horno y me-

orar el aislamiento constructivo del horno.

- El ahorro potencial medio de energía térmica estimado en las instalaciones de fabricación de cerámica estructural depende de la situación inicial, pero se sitúa en el intervalo entre el 5 y el 10 % del consumo total de la instalación.

6. Referencias bibliográficas

- *Directiva 2009/29/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE, para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.
- Mezquita, A.; Monfort, E.; Zaera, V. *Sector azulejero y comercio de emisiones: reducción de emisiones de CO₂, benchmarking europeo*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 48(4) (2009), 211-222.
- *Energy saving methods in the brick and tile: thermie programme action I 227*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European C, 1998.
- *Plan de ahorro y eficiencia energética 2004-2006 en Andalucía. Subsector: Industria de la cerámica estructural*. SO-DEAN, S.A. Junta de Andalucía.
- *Energy efficient operation of dryers in the ceramic industry*. [s.l.]: Energy efficiency best programme practice, 1998.
- *Energy efficient operation of kilns in the ceramic industries*. Oxfordshire: ETSU, 1996. ♦

English abstract in page 289.