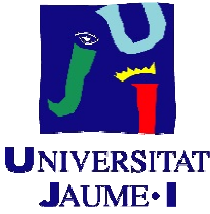


ANÁLISIS EXERGÉTICO A UN HORNO DE COCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS

S. FERRER⁽¹⁾, E. MONFORT⁽¹⁾, A. MEZQUITA⁽¹⁾, V.M. AGUILLELLA⁽²⁾

⁽¹⁾ INSTITUTO DE TECNOLOGÍA CERÁMICA (ITC), ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LAS INDUSTRIAS CERÁMICAS (AICE). ⁽²⁾ DEPARTAMENTO DE FÍSICA. UNIVERSITAT JAUME I. CASTELLÓN (SPAIN)



1 Introducció

La etapa de cocci3n es la etapa del proceso de fabricaci3n de baldosas cerámicas que presenta un mayor consumo de energía térmica. Normalmente, para determinar la eficiencia energética de esta etapa, se lleva a cabo un análisis energético completo al horno. Estos análisis están basados en el primer principio de la termodinámica, que trata por igual a toda la energía, sin tener en cuenta su calidad ni degradaci3n durante su transformaci3n.

Para estudiar la calidad de la energía se recurre al segundo principio de la termodinámica, donde aparece el concepto de exergía. La exergía es un parámetro que mide la calidad de la energía, y se define como el máximo trabajo útil cuando un sistema es llevado desde su estado original al de equilibrio termodinámico con el ambiente, sin más intervenci3n que la suya propia y la del ambiente.

El análisis exergético permite identificar y cuantificar las irreversibilidades del proceso o fuentes de destrucci3n de exergía, que muestran la manera de mejorar el funcionamiento de un sistema, para así mejorar el rendimiento energético del proceso.

2 Objetivo

El objetivo del trabajo ha sido realizar un análisis exergético a un horno continuo monoestrato de rodillos, durante la cocci3n de gres porcelánico.

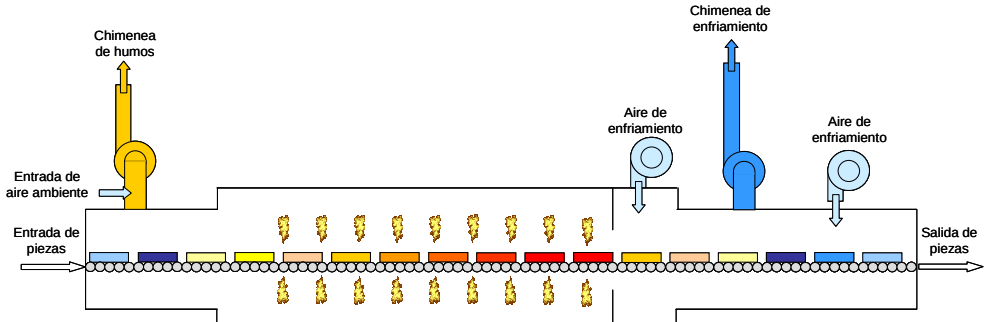


Figura 1. Esquema del horno monoestrato de rodillos estudiado.

3 Metodología

Para aplicar el balance de exergía se ha desarrollado una metodología específica, puesto que no se han encontrado estudios previos aplicados a hornos monoestrato de rodillos.

El balance de exergía se obtiene combinando los balances de energía y entropía:

$$\dot{A}_D = \sum_i \dot{A}_{e,i} - (\sum_j \dot{A}_{s,j} + \dot{A}_r - \dot{A}_{Qp} - \dot{A}_{Qf})$$

Donde $\dot{A}_D$ corresponde a la exergía destruida en el proceso asociada a las irreversibilidades, $\dot{A}_{e,i}$ y $\dot{A}_{s,j}$ es la exergía de los flujos entrantes y salientes, respectivamente, $\dot{A}_r$ es la exergía consumida en las transformaciones físico-químicas del material durante la cocci3n, $\dot{A}_{Qp}$ corresponden a la exergía asociada a los flujos de calor que se pierden por las superficies del horno, $\dot{A}_{Qf}$ son las pérdidas incontroladas.

Para un flujo de materia, su exergía puede dividirse en varios componentes, siendo la exergía física y la exergía química sus dos principales contribuyentes.

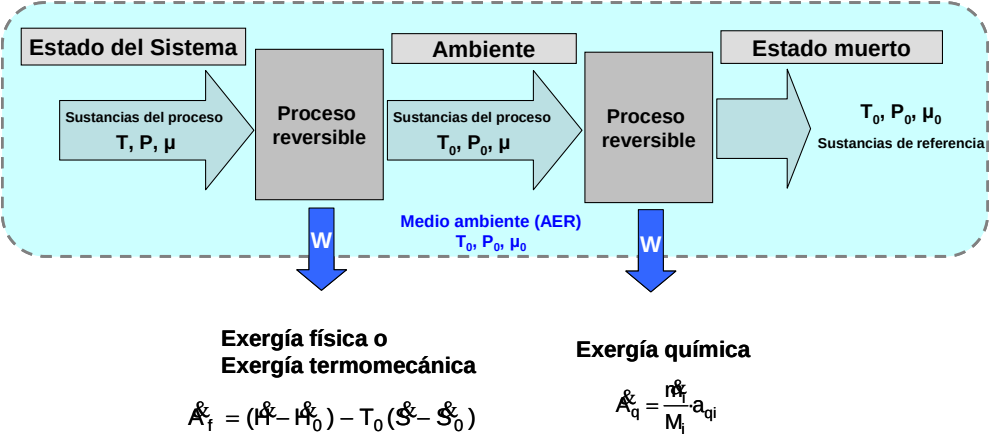


Figura 2. Exergía contenida en un flujo material

5 Conclusiones

El balance de energía ha puesto de manifiesto que el horno de rodillos es un sistema muy ineficiente con un rendimiento energético del 15%, es decir, el 85% de la energía no se aprovecha.

El análisis de exergía ha permitido localizar y cuantificar las irreversibilidades presentes en el horno, obteniéndose que la exergía destruida es del orden del 63,5%, y el rendimiento exergético del 8,5%.

El análisis exergético indica que para minimizar la exergía destruida es fundamental:

- Minimizar el exceso de aire de combusti3n
- Optimizar el caudal de aire de enfriamiento de material (relaci3n másica de aire/producto)
- Minimizar las pérdidas por paredes
- Implementar sistemas de recuperaci3n energética para aprovechar la exergía remanente.

4 Resultados y discusi3n

Los resultados del balance de energía se representan en forma de diagrama de Sankey en la figura 3.

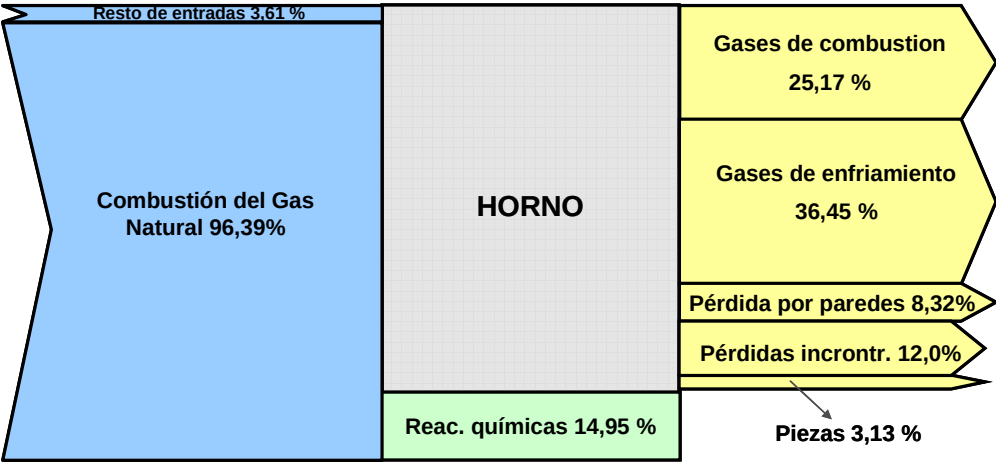


Figura 3. Diagrama de Sankey del balance de energía del horno.

De los resultados obtenidos del balance de energía cabe resaltar que:

- El aporte de energía al horno de cocci3n de baldosas se realiza, mayoritariamente, mediante la **combusti3n de gas natural** (96% del total).
- Las **transformaciones físico-químicas** del material requieren solamente el **14,95%** de la energía introducida en el horno.
- Por las **chimeneas** se pierde más del 61 % de toda la energía aportada al horno.
- Las pérdidas de energía a través de las **paredes del horno** (8%) y las fugas **incontroladas** (12%) son significativas. Sería conveniente mejorar la calidad del aislamiento térmico del horno.

En la figura 4 se ha representado un diagrama de Sankey con los resultados obtenidos del balance de exergía.

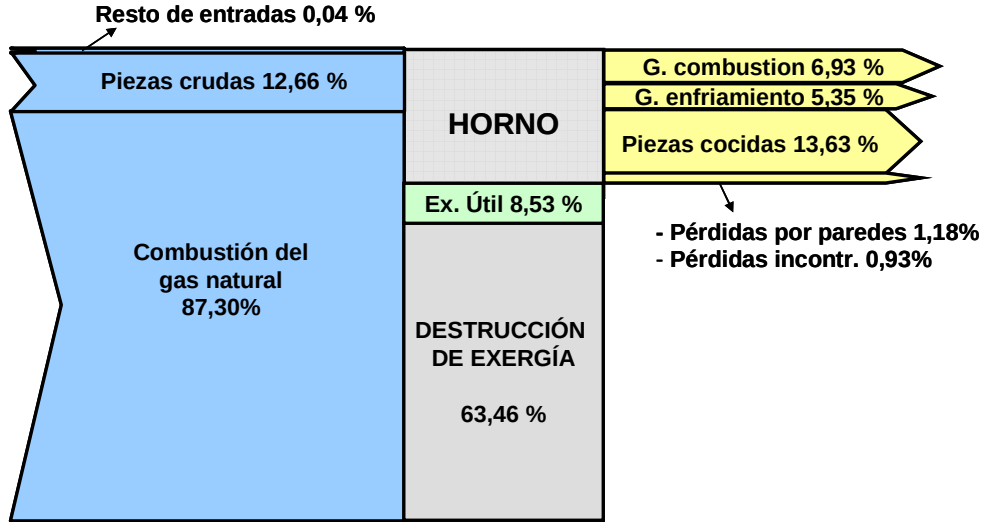


Figura 4. Diagrama de Sankey del balance de exergía del horno.

De los resultados obtenidos del balance exergía cabe resaltar que:

- La principal fuente de exergía en el horno es la **combusti3n del gas natural**.
- Una parte de esta exergía se utiliza para llevar a cabo las **transformaciones físico-químicas** del material, principal objetivo de la operaci3n de cocci3n. Concretamente el 8,5%.
- La **exergía destruida** a causa de las irreversibilidades del horno ascienden al 63,5%. Ésta se destruye principalmente en la **combusti3n del gas natural** (27%), en el **procesamiento del material cerámico** (el 29%), en las **transferencias de calor** (24%), y en el enfriamiento del material (19%).
- El 28% de la exergía restante es exergía remanente susceptible de ser aprovechada.

6 Bibliografía

- Dincer, I., Rosen, M.A., 2007. Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development. Elsevier, London.
- Moran, Michael J, and Howard N. Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics: 5th edition. Chichester: John Wiley, 2004
- T.J. Kotas, The exergy method of thermal plant analysis. Krieger, Florida, 1996.
- Utlu, Z.; Hepbasli, A. Exergoeconomic analysis of energy utilization of drying process in a ceramic production. Applied Thermal Engineering, 70 (1), pp. 748-762, 2014.
- Y.A. Çengel and M.A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach, 5 th ed. McGraw-Hill. New York, 2006.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por IVACE, a través del proyecto IMAMCA/2015/1, Proyecto cofinanciado por el IVACE y por los Fondos FEDER, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2014-2020.

