

PERFILES DE TEMPERATURA EN UN HORNO LADRILLERO**TEMPERATURE PROFILES IN A BRICK KILN**

J. Rodríguez-Ramírez*, F. Diego-Nava, C. Martínez-Alvarez, L. Méndez-Lagunas y M. Aguilar-Lescas.

*Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca, IPN.
Hornos 1003 Sta. Cruz Xoxocotlán, Oax. C. P. 71230, México.*

Resumen

La temperatura se midió en diferentes ubicaciones de un horno tipo escocés modificado de tiro directo durante el proceso de cocción de ladrillo. Se realizaron dos pruebas; la cocción de ladrillo con un dosificado manual de aserrín y con un dosificado mecánico empleando un soplador oscilante. Se midió, además, la temperatura en el interior y en la superficie de un ladrillo ubicado en el centro del horno. Se dio seguimiento a cada operación realizada tradicionalmente durante la cocción de ladrillo y se evaluó la calidad del ladrillo con relación a su ubicación en el horno. Cada operación del proceso de cocción de ladrillo se identificó con cambios en la temperatura registrada por los termopares. La calidad de los ladrillos se relacionó con la ubicación de estos en el horno y por consecuencia con la temperatura alcanzada durante la cocción. El uso de un dosificador mecánico de aserrín dio como resultado una disminución del tiempo de cocción y una menor emisión de humo debido a una mejor distribución y combustión de aserrín en el hogar del horno. Con el monitoreo de la temperatura fue posible modificar algunas etapas del proceso para obtener mayor número de piezas de primera calidad y evitar la sobre cocción de ladrillos.

Palabras clave: horno de cerámica, medición de temperatura, transferencia de calor, cocción de ladrillos.

Abstract

The temperature was measured in many points of a modified scotch kiln during brick firing process. Two trials were carried out, one was made with manual feeding of sawdust and the other was made with mechanized feeding using an oscillator fan. Also the inner and outer temperature of a brick, which were placed in the kiln center, was measured. Each step of the traditional brick firing was monitored and the brick quality was evaluated with regard to its position in the kiln. Each brick firing step was related to temperature changes which were recorded by thermocouples. The brick quality was related to its position in the kiln and consequently to its temperature during the firing process. The use of a mechanized feeder resulted in a decrease of the firing time and less emission of smoke due to a better distribution and combustion of sawdust in the kiln furnace. As a result of the study, it was possible to modify some steps in the firing process to obtain more bricks with a higher quality and avoid the over firing.

Keywords: brick kiln, temperature measurement, heat transfer, bricks firing.

1. Introducción

La construcción de casas y edificios hace necesario el consumo de ladrillo rojo, no obstante, la producción de ladrillo ha sido considerada uno de los procesos más contaminantes. Los cambios o adaptaciones técnicas que se incorporen al proceso de producción de ladrillos no solo deberán tener como objetivo evitar la contaminación si no también incrementar el ingreso económico de los ladrilleros. El aumento del ingreso debe

lograrse mediante un mayor porcentaje de producción de ladrillo de primera calidad y la disminución de costos de producción con una inversión lo mas baja posible. Los costos de producción y el nivel de la emisión de contaminantes están relacionados con el diseño del horno y el tipo de combustible utilizado para la cocción. Diferentes tipos de hornos se emplean a nivel mundial para la cocción de ladrillos (Richards, 1990; Hoopmans y Joseph, 1993; Jones, 1996), uno de los más comunes en México es el

*Autor para la correspondencia: E-mail: jrodrigr@ipn.mx
Tel. (95) 15170610. Fax: (95) 15170400.

horno "tipo escocés". El conocimiento del comportamiento térmico de cada horno, es necesario para la comprensión del fenómeno (Lybaert y col., 1993, Traore, 1972.), para la caracterización del comportamiento de los hornos (Aréchiga, 1999), para la validación de modelos matemáticos (Flores-Pimentel y col., 1999) y para establecer condiciones de cocción, que den por resultado un número mayor de ladrillos con mejor calidad y una disminución del nivel de la emisión de contaminantes.

En este trabajo se describe el comportamiento térmico del un horno modificado tipo escocés durante la cocción tradicional de las ladrilleras de los Valles Centrales de Oaxaca. Se realizaron dos pruebas; la cocción de ladrillo con un dosificado manual de aserrín y con un dosificado mecánico empleando un soplador oscilante. Se presentan las temperaturas en diferentes ubicaciones del horno y se relacionan con cada operación del proceso de cocción. Finalmente se evaluó la calidad del ladrillo tomando en consideración su ubicación en el horno. Los datos de las temperaturas en el horno permitieron la evaluación de las condiciones internas en las que se lleva a cabo el proceso de cocción de ladrillo y se ofrecen como información experimental para la comparación con modelos matemáticos.

Las graficas de la temperatura en función del tiempo y de las operaciones realizadas en el horno durante la cocción dan criterios para que el operario modifique la forma del quemado, establezca las condiciones mas apropiadas para operar el horno, identifique una ubicación representativa para el monitoreo de temperatura y obtenga una mayor proporción de ladrillos de primera clase.

La promoción del uso de dosificadores mecánicos es apoyada en este trabajo, y se considera que con el dosificador oscilante se tuvo un menor tiempo de cocción, una menor emisión de contaminantes y una mejor

distribución de temperaturas, sin embargo, la operación del dosificador debe ser considerada en el proceso de cocción de tal manera que se permita el calentamiento adecuado de la carga de ladrillos.

2. Metodología

Un horno tipo escocés se diseñó y construyó en el municipio de San Agustín Yatareni, Oaxaca, México (Diego y col., 1999). Las modificaciones al diseño tradicional fueron la capacidad, la forma y las consideraciones constructivas. La capacidad del horno modificado fue de veinticinco mil ladrillos mientras que la capacidad de un horno promedio de la región es de doce mil ladrillos. La forma tradicional de los hornos es rectangular, mientras que en el horno modificado la parte frontal es semicircular y la parte posterior es rectangular (Fig. 1). La forma semicircular del frente dificulta el acomodo del ladrillo pero evita agrietamientos de las esquinas debido a cambios térmicos, disminuye pérdidas de temperatura por la pared y permite una mejor distribución de aserrín en el hogar cuando se utiliza un dosificador oscilatorio.

Debido a su forma rectangular, la parte posterior se utiliza como referencia para el acomodo de las piezas. La construcción del horno se realizó junto al banco de arcilla de la ladrillera. Debido al desnivel, gran parte de los costados y la parte posterior del horno de adobe quedó cubierto por el suelo por lo que se presentan menos fracturas en las esquinas y menos pérdidas de calor por las paredes. La pared semicircular de adobe frontal y aquellas que sobresalieron del nivel del suelo fueron reforzadas con ladrillo cocido y uniones de concreto. El horno se carga mediante la colocación de los ladrillos de tal forma que haya huecos por donde fluyan los gases de combustión para aprovechar el tiro del horno (Fig. 2).

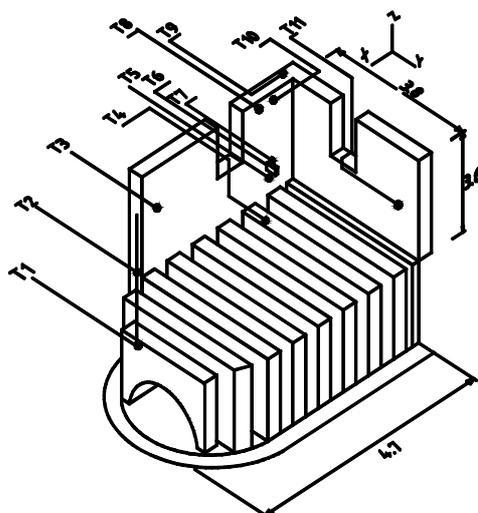


Fig. 1. Ubicación de termopares en el horno tipo escocés modificado.

Los ladrillos se colocan de canto, se ordenan en filas y se dejan espacios entre ellos. Cada espacio entre dos ladrillos de una fila se intercala con un ladrillo de otra fila. Se forma una capa horizontal, juntando las filas de ladrillos. La carga contiene tantas capas como lo permite la altura del horno. La dirección de las filas de una capa es perpendicular a las filas de la capa siguiente. Conforme el horno se carga de ladrillo crudo, se colocan los sensores de temperatura, en su adecuada ubicación (Fig. 1). Los sensores de temperatura son termopares tipo K, elaborados con alambre cromel- alúmel calibre 20, con aislamiento de fibra cerámica, con terminales de cerámica y puntas soldadas. Se ubicaron once termopares en el horno en lugares en donde se pudiera evaluar; el nivel de lecho, el efecto de la pared semicircular, de la pared recta y de las esquinas. A un ladrillo crudo localizado en el centro del horno, se le insertó un termopar, otro se fijó a su superficie y otro se colocó en sus inmediaciones por donde fluyen los gases de combustión. Las mediciones de temperatura se realizaron durante todo el

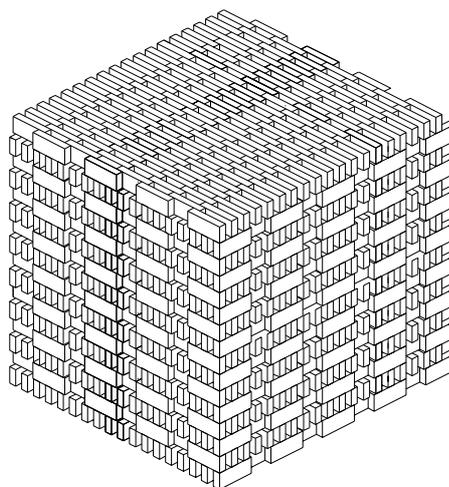


Fig. 2. Acomodo de la carga de ladrillos.

proceso de cocción, que consiste en el calentamiento del horno, secado y calentamiento de ladrillos crudos, cocción y enfriamiento. Durante este proceso el operario realiza una serie de maniobras; al inicio, la parte superior del horno no se cubre para aprovechar el tiro del horno y conforme avanza el calentamiento se tapa la parte superior en secciones para dirigir los gases de combustión hacia las secciones donde juzga que hay menos temperatura. Estas operaciones las realiza de acuerdo al asentamiento del lecho de ladrillos, la emisión de los gases de combustión, la intensidad del calor que siente y el color observado en la carga. Se realizaron dos pruebas; la cocción de ladrillo con un dosificador manual de aserrín y con un dosificador mecánico empleando un soplador oscilante. En el dosificador mecánico, el aserrín se introduce al soplador por medio de la succión provocada por el rotor. En cada una de las pruebas y durante todo el proceso se anotaron cada una de las acciones que el operario realizó y cada 15 minutos se registraron las temperaturas con un sistema de adquisición de datos MAC 14 Mca. Cole-Parmer.

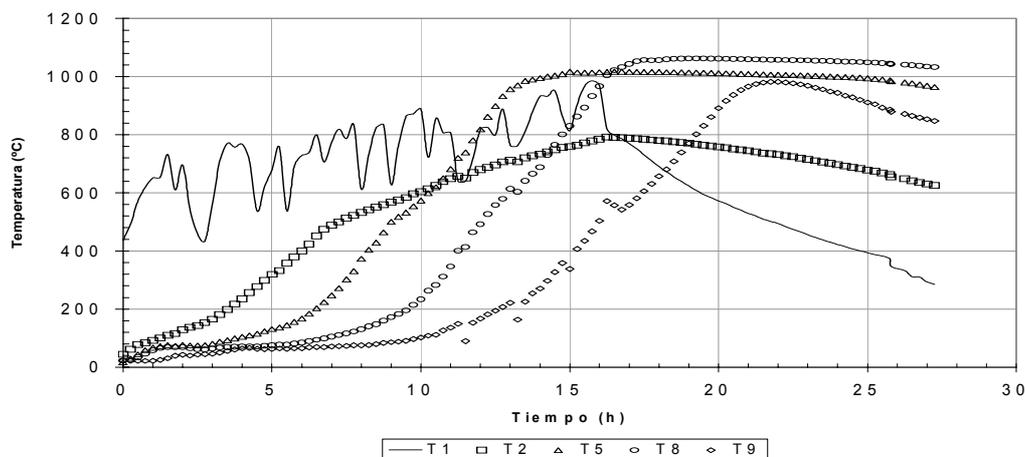


Fig. 3. Temperaturas durante la etapa de calentamiento con dosificación manual de aserrín.

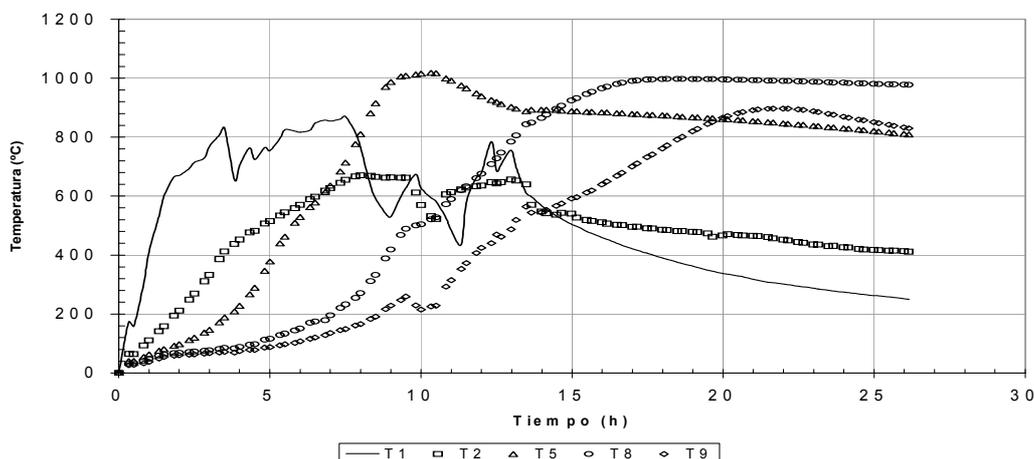


Fig. 4. Temperatura durante la etapa de calentamiento con dosificado mecánico de aserrín.

Los datos se graficaron y se analizaron tomando en consideración cada una de las operaciones que se llevaron a cabo durante todo el proceso de cocción.

3. Resultados y discusión

En las Figs. 3 y 4 se muestran las gráficas de los perfiles de las temperaturas medidas durante la etapa de calentamiento en el proceso de cocción de ladrillo registrado por cinco de los once termopares. El primer termopar (T1), está ubicado justo arriba de boca de alimentación del hogar, el segundo

(T2), al frente y a media altura del horno, el tercero (T5), en el centro del horno, el cuarto (T8), en medio y parte alta del horno y el quinto (T9), en la esquina posterior izquierda y parte alta del horno. El calor generado en el hogar del horno con el dosificado manual o mecánico, se ve reflejado con el incremento de temperatura medido por el termopar T1. La temperatura medida por el termopar T1 es oscilatoria; asciende cuando se alimenta aserrín al hogar y desciende cuando se detiene la dosificación. Un número mayor de

oscilaciones se presenta con el dosificado manual, pues el operario requiere de descansos periódicos, mientras que con el dosificador mecánico, solo se presentaron tres interrupciones. Cada vez que se reinicia la alimentación de aserrín, este cubre parcialmente el material que está ardiendo en el lecho del hogar y provoca la formación de humo debido a la falta temporal de aire durante la combustión.

Los termopares T2, T5, T8 y T9 ponen de manifiesto la velocidad de transferencia de calor en cada lugar donde están ubicados. Durante el calentamiento, el tiro del horno provoca que el calor se transfiera del hogar a la parte alta del horno. Debido al tiro y a su cercanía con la ventana del hogar, existe un flujo mayor de gases en la pared frontal del horno, motivo por el cual el termopar T2 registró gradientes mayores de temperatura que los otros termopares. La gráfica de temperatura T2 muestra un cambio de tendencia debido a que el operario cubre la parte superior semicircular del horno para dirigir los gases de combustión hacia la parte posterior del horno.

Las temperaturas registradas por los termopares T5, T8 y T9, muestran en las primeras cinco horas, un ligero calentamiento debido a que los gases de combustión son enfriados al evaporar y calentar los ladrillos, que se manifiesta por la emisión de vapor de agua del horno. Las tendencias de calentamiento son similares en los tres termopares pero se presentan desfasados. El calentamiento más lento lo exhibe el termopar T9 ubicado en la esquina superior del horno. A temperaturas por arriba de los 100 °C, los gradientes de temperatura muestran una pendiente más grande y son menores entre los 900 y 1000 °C. No obstante, si se sigue alimentando aserrín, en el centro del horno puede alcanzarse temperaturas mayores, provocando la fundición de ladrillos. En la prueba con el dosificado manual (Fig. 3), el operario

decidió superar los 1000 °C, alcanzando, una temperatura de 1100 °C a las 16 horas de haber iniciado el proceso de cocción, lo que provocó un asentamiento de la carga de ladrillo obligando al operario a tomar acciones para evitar que la temperatura se siguiera incrementando. Como resultado de la alta temperatura, se fundieron aproximadamente mil ladrillos ubicados en el centro del horno.

En la gráfica de temperatura registrada por el termopar T9, se puede apreciar pequeñas disminuciones repentinas de temperatura, las cuales están relacionadas con maniobras realizadas por el operario. Cada maniobra requiere dejar de dosificar aserrín y cerrar la boca del hogar para evitar la entrada de aire que al calentarse y ascender por el horno, impida la ejecución de las actividades. Las maniobras consistieron en poner una cubierta con ladrillo crudo colocados sobre su canto, en la parte semicircular de horno (11 horas), en poner dos capas de ladrillo colocados sobre su canto sobre el horno y cubrir los costados de la carga de ladrillos que sobresalen de las paredes del horno (13 horas), en colocar ladrillos acostados “parcialmente cocidos” como cubierta de la carga (15 horas) y finalmente, en concluir la alimentación del aserrín procediéndose a tapar completamente la boca del hogar y a cubrir totalmente el horno con ladrillo cocido (16 horas).

En la Fig. 5 se muestran los perfiles de temperatura durante el proceso completo de cocción de ladrillo con el empleo de un soplador de aserrín, en esta gráfica se incorporan las mediciones en la parte superior frontal del horno (T3), en la parte central inferior del horno (T4), en el centro de la penúltima capa superior de ladrillos (T10). La cocción de gran parte de la carga de ladrillo se realiza una vez que se deja de suministrar combustible al hogar, se alcanzan las temperaturas deseadas y el horno está completamente tapado.

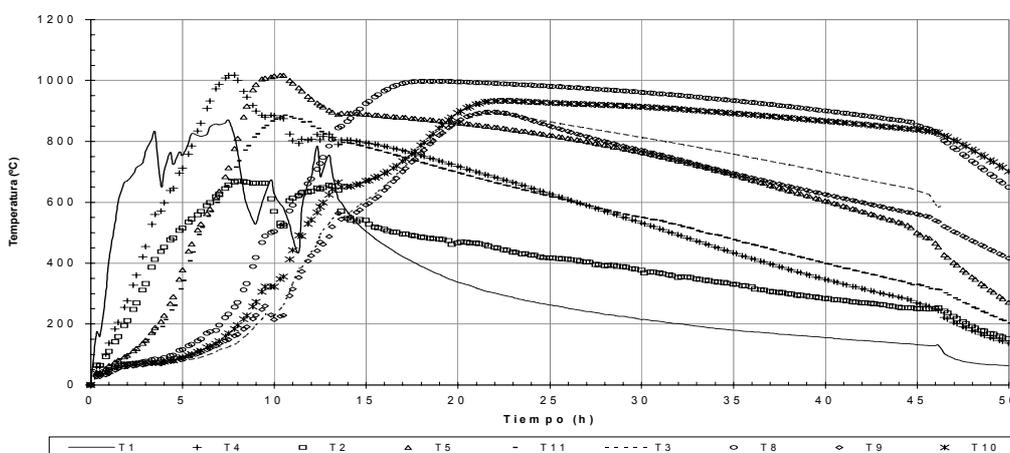


Fig. 5. Temperaturas en el proceso completo de cocción de ladrillos.

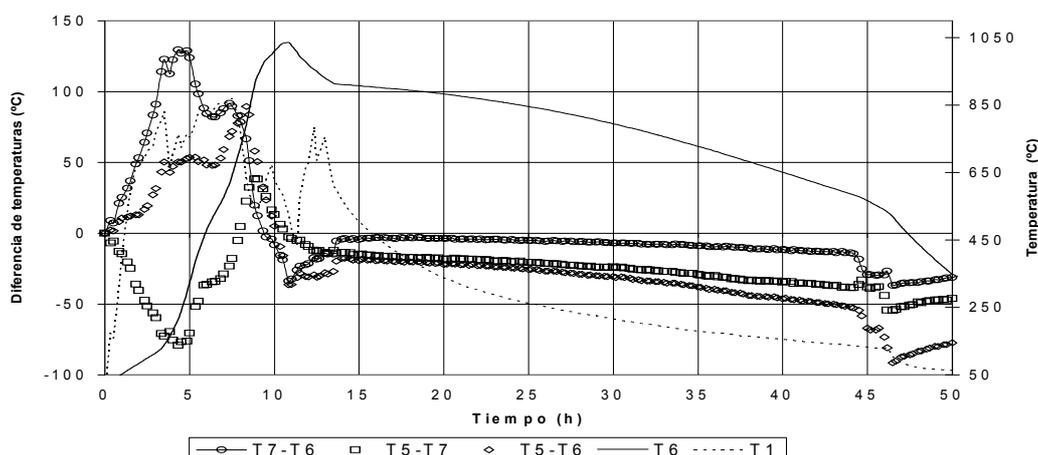


Fig. 6. Diferencias de temperaturas entre del interior y exterior de ladrillo.

En el centro del horno se alcanzan temperaturas de hasta 1000 °C. A partir de este momento el calor se transfiere del centro hacia los extremos del horno.

La temperatura del centro disminuye lentamente mientras que las temperaturas de las esquinas y de la parte superior del horno se siguen incrementando superando los 800 °C. Posteriormente, la pérdida de calor por las paredes y por la parte superior del horno provoca que las temperaturas descieran. La disminución de la temperatura dependerá del

aislamiento del horno. En orden descendente de temperatura, los niveles mas altos se alcanzan en la parte superior del horno; en el centro, en el frente y en las esquinas, luego en la parte central a media altura del horno, las temperaturas menores se presentan en la esquina media a media altura del horno, debajo y en el centro de la carga de ladrillos y finalmente en las paredes del horno. Con base a los gradientes de temperatura, la pérdida de calor en el horno se presentan en el orden descendente siguiente: parte inferior del

horno, abajo, en medio y arriba de las esquinas del horno, en el centro del horno y finalmente, en la parte superior.

Una vez que se considera terminada la cocción, la carga de ladrillo cocido se enfría con el flujo de aire provocado por el tiro del horno. Enfriado el horno, se sacan los ladrillos y se procede a revisar el estado de los ladrillos en las diferentes zonas donde fueron ubicados los termopares. Ladrillos con un tono rojo intenso se encontraron en el centro desde la parte inferior hasta la parte alta del horno. Alrededor de los ladrillos con color rojo intenso, se encontraron ladrillos con una menor intensidad de color pero catalogados como de 1ª calidad (Hernández, 1996). Ladrillos de 2ª calidad se encontraron junto a las paredes del horno; en mayor proporción en las esquinas y en menor proporción junto a la pared semicircular del horno. Las diferencias de las temperaturas registradas por el termopar T5, con las temperaturas en el interior (T6) y en la superficie (T7) de un ladrillo ubicado en el centro del horno, se presentan en la figura 6. A manera de referencia, se agregan los perfiles de temperatura de los termopares T1 y T6, para identificar la temperatura que ha alcanzado el interior del ladrillo así como el tiempo en que se alimenta aserrín al hogar.

Debido a que el acomodo de los ladrillos es alternado, durante el calentamiento, los gases fluyen cercanos a la superficie de cada ladrillo, por lo que las temperaturas son mayores en las inmediaciones de la superficie del ladrillo que en los huecos dejados por el acomodo de los ladrillos. Una vez que los ladrillos se calentaron por conducción y que se deja de alimentar aserrín al hogar, la transferencia de calor se invierte siendo del centro de la carga y del interior de los ladrillos hacia el exterior de ladrillos y los lados del horno. Debido a las altas temperaturas y a que se cubre el horno, la transferencia de calor predominante es por radiación. La temperatura se transfiere

del centro del ladrillo a su superficie y de esta al espacio vacío entre los ladrillos.

Conclusiones

El estudio del comportamiento térmico del proceso de cocción de ladrillo presenta complicaciones debido a que durante el calentamiento de la carga del horno, la alimentación de aserrín al hogar es irregular, además, de que el operario realiza maniobras que hay que considerar en el análisis de fenómeno, sin embargo, la medición de la temperatura arriba de la boca del hogar indicó cuando se dejaba de alimentar el aserrín al horno y la medición de la temperatura en la esquina, a media altura del horno, registró cada operación que se realizó durante la cocción de ladrillo. La medición de temperatura sobre el hogar, permite relacionar el calentamiento del horno y las condiciones más apropiadas para la cocción de ladrillo. Un calentamiento suave alarga la duración del proceso, mientras que un calentamiento intenso puede provocar problemas de operación, calidad y uniformidad del producto. Para una operación adecuada, la capacidad de los dosificadores y la duración de alimentación se deben elegir considerando la composición de la arcilla de los ladrillos y la capacidad del horno. El empleo del dosificador mecánico oscilatorio permitió reducir el tiempo de cocción, disminuir la emisión de contaminantes y mejorar la distribución de temperaturas, sin embargo, el operario debe tomar en consideración la velocidad de calentamiento proporcionado por el dosificador con relación al efecto que provoca en el proceso de cocción.

La medición de la temperatura en el centro (T5) y en la parte media alta (T8) del horno, son dos indicadores que se pueden considerar como referencia para dar por terminado el calentamiento y dejar de alimentar aserrín al hogar del horno. Si se alcanza 1000°C en el centro del horno,

significa que se ha generado suficiente calor para lograr la cocción de ladrillo. Si los ladrillos del centro de la antepenúltima capa del horno alcanzan 800°C, es un indicio que se logrará la temperatura suficiente para la cocción de los ladrillos de toda la carga.

La calidad del ladrillo y el consumo de energía, dependen fundamentalmente, de una buena uniformidad de temperatura en la carga del horno. Cada ladrillo debiera tener historial térmico similar. La calidad del ladrillo cocido esta relacionada con las temperaturas alcanzadas en cada zona del horno. Las modificaciones del horno estudiado y la cuidadosa conducción del proceso de cocción incrementaron la proporción de ladrillos de primera calidad comparados con los hornos tradicionales. Mediante el monitoreo de temperatura es posible modificar el proceso para obtener un mayor número de piezas de primera calidad y evitar el sobre-cocido de ladrillos.

El registro de temperatura en las inmediaciones y dentro de un ladrillo colocado en el centro del horno (T5, T6 y T7), muestra que el acomodo de los ladrillos causa que el flujo de gases sea perpendicular a una parte del canto de los ladrillos, lo que produce una capa limite en el fluido que fluye sobre la superficie que está corriente arriba y provoca la formación de estelas en los huecos de la carga.

Los posibles mecanismos de transporte que participan en el proceso completo de cocción de ladrillos pueden ser identificados mediante el análisis de los perfiles de temperatura dentro del horno. La cocción de ladrillos involucra fenómenos complejos de transferencia de calor. Durante el secado de ladrillos y el calentamiento del horno, la transferencia convectiva de calor entre los gases de combustión y la carga de ladrillos es el fenómeno dominante. Debido al espesor de los ladrillos, la transferencia de calor por conducción limita la penetración de calor dentro del material. En la etapa de cocción, la transferencia de calor radiante es el

mecanismo más importante y se lleva a cabo en la fase gaseosa entre el gas y la carga así como entre los ladrillos adyacentes de la carga.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Instituto Politécnico Nacional (Proyecto CGPI 990393) y por el Instituto de Ecología del Estado de Oaxaca. Se agradece al Sr. Timoteo Luis Martínez por todo el apoyo y las facilidades otorgadas durante las pruebas de cocción de ladrillo en el horno de su propiedad.

Referencias

- Aréchiga, V. J. U. (1999). Caracterización de hornos de alfarería, *Memorias XX AMIDIQ*. 447-448.
- Diego, N. F., Martínez A. C. y Rodríguez R. J. (1999). Informe técnico final del proyecto "Desarrollo de un Prototipo de Horno para la Cocción de Ladrillos con Tecnología Limpia". Instituto Estatal de Ecología del Estado de Oaxaca.
- Flores-Pimentel, J.C., Martínez-González, G. M. y Jiménez-Islas, H. (1999). Modelo matemático de un horno cilíndrico para la cocción de ladrillo rojo tradicional. *Memorias XX AMIDIQ*. 241-242.
- Hernández, Z.A. (1996). Caracterización de Arcillas en la Producción del Ladrillo Rojo del Municipio de San Agustín Yatareni. *Tesis de Ingeniero Industrial*, Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Hoopmans, A. y Joseph, S. (1993). Status and development issues of brick industry in Asia, *RWEDP, FAO*, Bangkok, Tailandia.
- Jones, T. (1996). *The Basic of Brick kiln Technology*. (Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft GmbH Braunschweig). Alemania.
- Lybaert, P., Hayek, M.E. y Meunier, H. (1993). Modeling of convective and

radiant heat transfer in ceramics firing kilns En: *Numerical Methods in Thermal Problems*. Vol. VIII parte 2. (R.W.Lewis ed.), 1417-1428.

Richard, W.R. (1990). Brick manufacturing: from past to present. *Ceramic Bulletin* 569, 807-813.

Traore, K. (1972). Analyse thermique différentielle et cinétique de réaction, *Journal of Thermal Analysis* 4, 19-30.