

Caracterización del perfil de temperaturas al interior de un horno artesanal para ladrillos, en vista de la optimización del proceso

Obed Cortés, Rafael Rojas, Rita Aceves, Javier Caldera y Carlos García

O. Cortés, R. Rojas, R. Aceves, J. Caldera y C. García
Universidad Politécnica de Puebla, San Pedro Cholula, Puebla
obed.cortes@uppuebla.edu.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

In present work, it is shown the results of characterization of temperature profile inside of various brick kilns in Cholula region in the state of Puebla. A control panel was instrumented for taking more accurate temperature measurements and enhances security in data acquisition hardware. Some representative results are shown. Main objective of this work is to acquire data from start, during cooking and until cooling of bricks.

10 Introducción

En la región de Cholula, Puebla se encuentra una de las más grandes concentraciones de hornos ladrilleros del país, con un número aproximado de 4,000 hornos que representan el *modus vivendi* de 8,000 familias de la zona.

El proceso actual de fabricación de ladrillos no ha tenido variaciones sustanciales en los últimos 2,200 años y continúa siendo un proceso artesanal. En la etapa de cocción se presenta una baja eficiencia térmica, asimismo, la distribución de temperaturas, al interior del horno no es uniforme y no existe control de calidad en el mismo.

Los materiales que se utilizan para llevar a cabo la combustión son de muy baja calidad, primordialmente combustóleo, al cual se le agregan llantas y basura en general, lo que provoca que, anualmente, se arrojen 10,000 toneladas de contaminantes a la atmósfera. La necesidad que se pretende resolver es distribuir lo más uniformemente posible la temperatura al interior del horno. Esta acción impactará directamente en el tiempo de cocción de los ladrillos, en donde se espera una disminución, y por consecuencia, su impacto se extenderá a la emisión de contaminantes a la atmósfera (si los ladrillos están listos en menos tiempo, se emitirán contaminantes durante menos tiempo) y en los costos de producción (si los ladrillos están listos en menos tiempo, se consumirá menos combustible).

10.1 Antecedentes

El proceso de fabricación de ladrillo en la región de Cholula ha sido estudiado por algunas universidades y centros de investigación. Sin embargo, estos estudios no han tenido un impacto satisfactorio debido a que las recomendaciones no han sido asequibles en costos para los fabricantes. También, en la Universidad Politécnica de Puebla y en especial los integrantes del cuerpo académico de Mecatrónica han analizado desde hace algún tiempo algunos nichos de oportunidad en todo el proceso de fabricación de ladrillos (Rojas et al., 2009; Marín et al., 2009). Una de las áreas de oportunidad es precisamente en la etapa de cocción de los ladrillos.

Tabla 10. Tiempo de quemado de los ladrillos.

| Cantidad de ladrillos | Horas de cocimiento |
|-----------------------|---------------------|
| 20,000 | 24 |
| 30,000 | 34 |
| 56,000 | 48 |



De hecho, recientemente se publicó en un diario local que no hay regulación de dichos hornos y se mencionó de “los altos perjuicios que generan a la salud” y que “cada día es más difícil costear la quema del ladrillo por el consumo energético, de agua y las emisiones contaminantes”.

Asimismo se mostró que se “invierte 20 mil pesos en la compra de petróleo y otros insumos para realizar la quema que tarda alrededor de 15 horas en dejar el tabique en su punto” (Llaven, 2011).

En otros países se han hecho modificaciones en los hornos para cocer ladrillos las cuales han tenido a costos elevados por adquisición y transferencia de tecnología (Gomes y Hossain, 2003).

Con el presente proyecto, se busca impactar a las fábricas de ladrillos ubicadas dentro de la zona y uno de los principales objetivos es que las modificaciones propuestas no sean costosas y que la transferencia de tecnología sea sencilla.

10.2 Método

En los últimos años, la industria ladrillera en la región de Cholula ha decaído considerablemente, por el alza en los precios tanto de la materia prima como del combustible para la quema de los ladrillos. Por tal motivo, la primera actividad que se realizó fue un estudio económico de gastos por millar de ladrillo para su quema en la región de Cholula, este análisis muestra que esta etapa eleva los costos en el proceso y reduce las utilidades para los productores.

10.3 Costos Asociados

Los resultados obtenidos de este estudio muestran que actualmente el millar de ladrillo al mercado está en un costo neto de \$1000, si se consideran los gastos de la compra de ladrillo crudo que tiene un precio de \$ 300, el costo de meter el ladrillo al horno que es de \$ 100, el combustible que se usa para quemar un millar de ladrillo que tiene un costo de \$ 418, el pago del fogonero y la renta de la caldera es de \$ 47 por millar, sumando los gastos resulta que los gastos totales para quemar cada millar genera un costo de \$865. La utilidad es de \$135. Por tal razón, la tarea de esta investigación recae en tener un análisis completo del comportamiento térmico durante la quema del ladrillo. El horno es una estructura construida a base de los mismos ladrillos que se fabrican, con forma prismática rectangular y rematada en forma piramidal truncada, con un espacio que queda por debajo del nivel de piso, en el cual se colocan los quemadores y se lleva a cabo la combustión. En la Tabla 10 se muestra el tiempo que tarda el proceso del quemado de ladrillos en proporción a la capacidad del horno y en la Figura 1 se muestra un horno de quemado.

10.4 Tablero Eléctrico

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico.

La fabricación de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados. Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos. En la Figura 10 se muestra el tablero terminado y en la Figura 10.1 se muestra el diseño del diagrama eléctrico para poder conectar las tarjetas de adquisición de datos y la fuente de alimentación. En la Tabla 10.1 se da la descripción detallada de los componentes utilizados en la adquisición de temperaturas de los hornos.

10.5 Instrumentación del Horno

Después de realizar las pruebas apropiadas en el funcionamiento del tablero se procede a instrumentar el horno de ladrillos.

Como parte de la instrumentación es necesario administrar las actividades, a fin de reducir tiempos muertos en el proyecto y facilitar la participación de los integrantes en este trabajo.

Figura 10 Tablero terminado**Tabla 10.1** Componentes utilizados en el tablero de control

| Cantidad | Descripción |
|----------|--|
| 2 | Tarjetas ADAM-4019+ |
| 1 | Tarjeta ADAM 4561 |
| 1 | Netbook Lenovo |
| 1 | Fuente de alimentación de 12 V |
| 1 | Gabinete de 100 cm × 60 cm × 30 cm |
| 40 | metros de cable |
| 100 | Casquillos o espadas |
| 6 | metros de riel de 35 mm |
| 6 | metros de canaleta de 4 × 4 pulgadas |
| 3 | Grupos de clemas |
| 10 | Termopares tipo K con recubrimiento especial |
| 1 | Termopar tipo J |

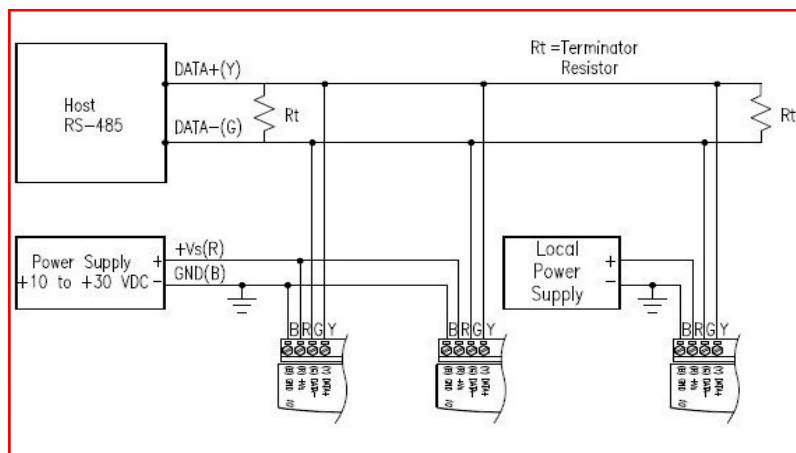
Figura 10.1 Diagrama eléctrico

Tabla 10.2

La primera actividad realizada para la instrumentación fue platicar con el dueño del horno, preguntar la capacidad del horno; el consumo de combustible y el tiempo que tarda el proceso.

1. Después se tienden los cables de los termopares y se colocan en el horno de abajo hacia arriba, asegurando que tocan los ladrillos para no tener lecturas erróneas.
2. Calibración de tarjetas y verificación de recepción.

10.5 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante tres mediciones representativas realizadas en los hornos de la región.

Horno 1

En la Tabla 10.2 se muestra el horno donde se realizaron mediciones el cual tiene una capacidad de 56,000 ladrillos y está ubicado en la comunidad de Santa María Coronango.

En este horno los productores le ponían capas de aserrín en el tramado con el propósito de obtener un ladrillo más rojo en la parte superior del horno. En la Tabla 3 se dan algunos detalles respecto a este horno. En la Tabla 10.2 se muestra el comportamiento térmico de este horno, el proceso inició a las 11:00 p.m. el día viernes 11 de mayo y terminó el día 13 de mayo a las 11:00 p.m. por lo que tuvo una duración de 48 horas en el proceso de quemado, y de 42 horas el proceso de enfriado.

Tabla 10.3

Durante esta medición se presentó un problema, se perdieron algunos datos debido a



Horno 2.

Detalles del Horno 2.

| Concepto | Descripción |
|-------------------------------|--|
| Lugar: | San Diego Cuachayotla |
| Dueño del horno: | Sr. Odiló Almonte |
| Capacidad del horno: | 32,000 ladrillos |
| Litros de combustible: | 2,700 |
| Dirección: | Reforma 15 |
| Tiempo del proceso: | 30 horas |
| Enfriamiento: | 24 horas |
| Calidad del ladrillo: | 5,000 ladrillos amarillos y 27,000 rojos. |
| Defectos: | 120 ladrillos rotos. |
| Tiempo de llenado del horno: | 3 días. |
| Dimensiones de los ladrillos: | 24 cm × 12 cm × 5 cm |
| Ubicación : | Latitud 19° 5'17.76"N Longitud 98° 19'29.90"O |

que todavía no contábamos con el tablero de control, este incidente se repitió constantemente porque las mascotas de la casa pasaban y jalaban los cables.

La simbología que se usa en la Figura 5 es la siguiente:

La línea azul corresponde a los termopares Tipo K que se colocaron en la caldera y en las puertas en la parte baja. Aquí se fundieron 3 termopares porque se colocaron muy cerca de la flama.

La línea roja corresponde a los termopares tipo K colocados en las esquinas en la parte superior y en el centro de la cúpula o tapa del horno.

La línea verde solo es un termopar tipo J que se usa para medir la temperatura ambiente.

Grafico 10 Comportamiento térmico del horno 2

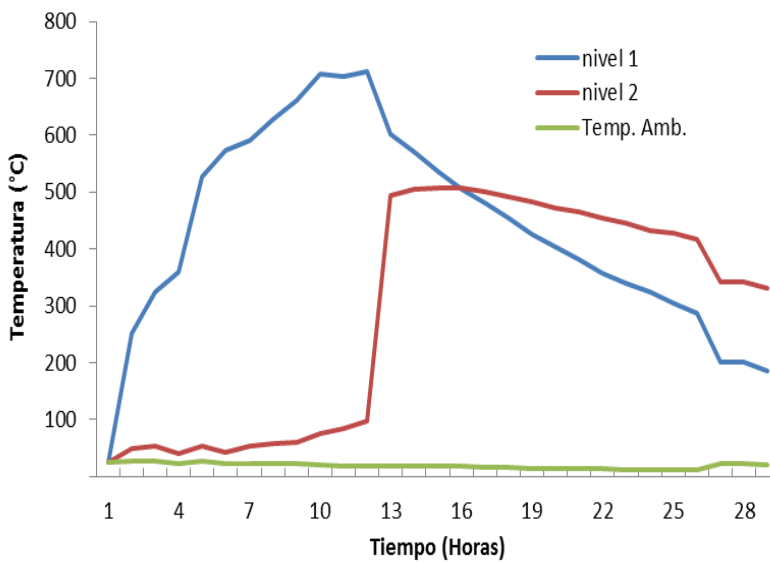
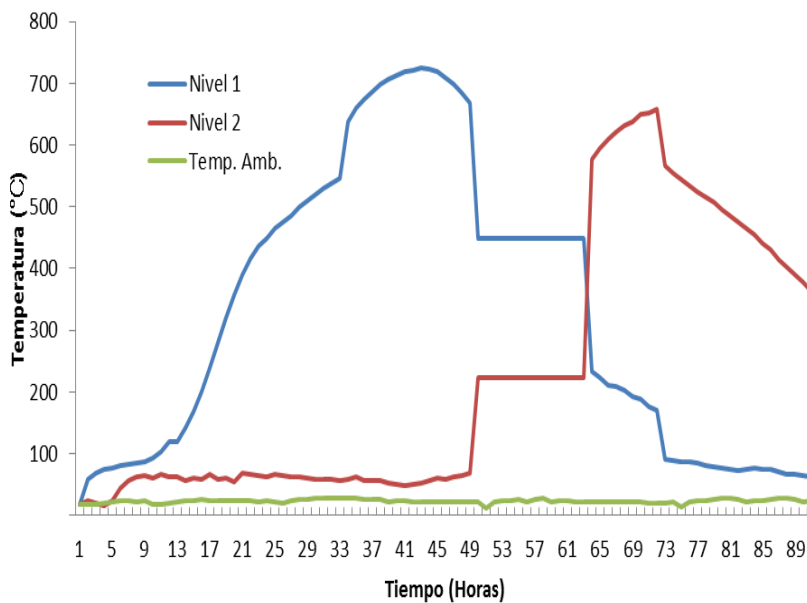


Grafico 10.1 Comportamiento térmico del horno 1



Horno 2: En la tabla 10.3 se muestra el horno 2 ubicado en la comunidad de San Diego Cuachayotla. En comparación con el horno 1, este horno reduce en un 49% su capacidad. En la tabla 5 se muestran los datos del horno en San Diego Cuachayotla. En este horno como el anterior se presentaron problemas constantemente con la pérdida de datos porque no se tenía aún el tablero de control. En la grafica 10 se muestra su comportamiento térmico, el proceso se inició a las 9:00 a.m. el día miércoles 6 de junio y terminó el día 7 junio a las 3:00 p.m. El proceso de quemado tuvo una duración de 30 en tanto que para el proceso de enfriado fue de 24 horas. En comparación con el horno 1, el tiempo del proceso se reduce porque la capacidad es menor. En este horno los problemas aumentaron por las lluvias que se presentaron durante la mayor parte del proceso. La nomenclatura que se usa en la grafica 10 es la siguiente:

La línea azul corresponde a los termopares Tipo K que se colocaron en la caldera y en las puertas en la parte baja. Aquí se dañaron 2 termopares porque las personas pasaban y jalaban constantemente los cables.

La línea roja corresponde a los termopares tipo K colocados en las esquinas en la parte superior y en el centro del la cúpula o tapa del horno.

Horno 3: En la tabla 10.4 se muestra el horno que se utilizó para este tercer caso en la comunidad de San Matías Cocoyotla. El comportamiento térmico de este horno se muestra en la Grafico 10.3. Se puede apreciar que fue más estable debido a que ya se tenía el tablero de control y los problemas antes mencionados se redujeron considerablemente. Los datos del horno se muestran en la Tabla 10.4.

Tabla 10.4

| Detalles del Horno 3. | |
|-------------------------------|--|
| Concepto | Descripción |
| Lugar: | San Matías Cocoyotla |
| Dueño del horno: | Sr. Gregorio Daniel |
| Capacidad del horno: | 20,000 ladrillos |
| Litros de combustible: | 1,900 |
| Dirección: | 5 Norte 1005 |
| Tiempo del proceso: | 20 horas |
| Enfriamiento: | 60 horas |
| Calidad del ladrillo: | 3,000 ladrillos amarillos y 17,000 rojos. |
| Defectos: | 80 ladrillos rotos. |
| Tiempo de llenado del horno: | 2 días. |
| Dimensiones de los ladrillos: | 24 cm × 12 cm × 5 cm |
| Ubicación : | Latitud 19° 4'34.13"N Longitud 98° 18'12.61"O |



Horno 3.

El proceso inició a las 8:00 a.m. el día viernes 17 de julio y terminó el día 18 a las 4:00 a.m. durando 20 horas el proceso de quemado y el de enfriado, 60 horas.

El tiempo del proceso se reduce porque la capacidad es menor, pero el tiempo del enfriado se siguió midiendo para obtener más datos. En esta medición la pérdida de datos fue nula, porque ya se tenía el tablero de control y el horno estaba techado.

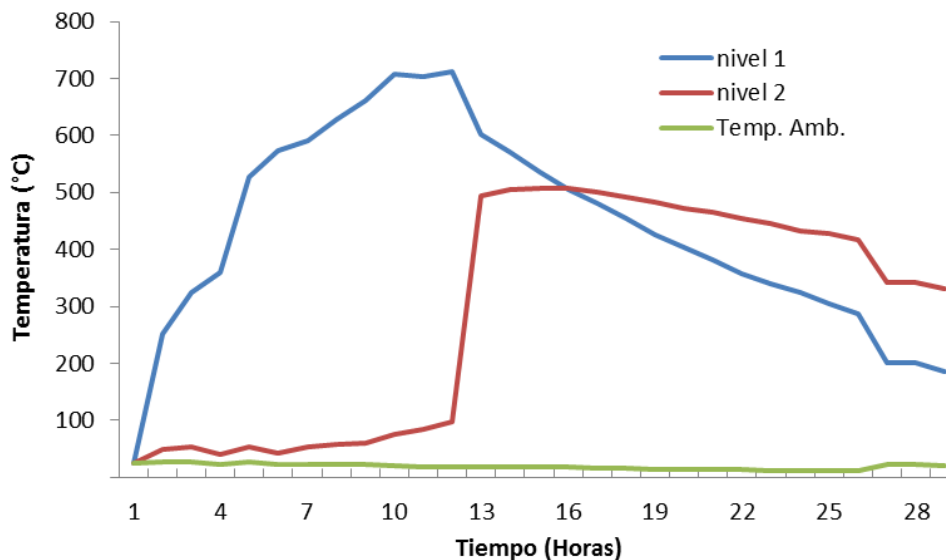
La nomenclatura que se usa en la Figura 9. es la siguiente:

La línea azul corresponde a los termopares Tipo K que se colocaron en la caldera y en las puertas en la parte baja. Aquí se dañaron 2 termopares porque las mascotas de la casa jalaban los cables.

La línea roja corresponde a los termopares tipo K colocados en las esquinas en la parte superior y en el centro de la cúpula o tapa del horno.

La línea verde solo es un termopar tipo J que se usa para medir la temperatura ambiente.

Grafico 10.3 Comportamiento térmico del horno 3.



10.6 Conclusiones

Como conclusión del presente trabajo de investigación sobre la caracterización del temperaturas dentro de un horno de ladrillos se puede mencionar que al empezar el proceso de cocción y durante el proceso la temperatura se concentra en la parte baja del horno alcanzando una temperatura máxima de 850°C, mientras que la temperatura de la parte superior del horno no alcanza los 100°C.

Cuando la caldera se apaga y empieza el enfriado del horno se invierten las temperaturas, es decir, la máxima temperatura ahora se localiza en la parte superior del horno llegando a los 850°C y en la parte inferior del horno empieza el descenso de temperatura.

Se espera que las muestras de temperatura que se obtuvieron se utilicen posteriormente para simular el flujo de calor en hornos de diferente geometría. Con el propósito de reducir el consumo de combustible y el tiempo de cocción para traer consigo beneficios a las comunidades aledañas a la región de Cholula.

10.7 Referencias

Gomes, E., I. Hossain. “Transition from traditional brick manufacturing to more sustainable practices”. *Energy for Sustainable Development*, **77**(2):66-76, 2003.

La Nación. “Crean primer horno ecológico para elaborar ladrillos en México”, Santiago, Chile, 24 de Marzo de 2007.

Llaven, Y. “Sin regulación de las autoridades operan ladrilleras del corredor Cholula-Huejotzingo”, en La Jornada de Oriente, Puebla, 20 de Junio de 2011.

Marín-Dávila, C. R., O. Cortés-Aburto, R. Rojas-Rodríguez. “Ladrillo rojo: Propuesta para la automatización para un proceso milenario”. Memorias del 7° Congreso Internacional de Cómputo en Optimización y Software, UAEM, 17-20 Noviembre, ISBN 978-607-00-1970-8, Cuernavaca, Morelos, 2009.

Rojas-Rodríguez, R., O. Cortés-Aburto, C. R. Marín Dávila. “Perspectivas de automatización del proceso de fabricación de ladrillo rojo en la región de Cholula, Puebla”. Memorias del 7° Congreso Internacional de Cómputo en Optimización y Software, UAEM, 17-20 Noviembre, ISBN 978-607-00-1970-8, Cuernavaca, Morelos, 2009.