

Disminución del gradiente de temperaturas en la cámara de cocción de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas.

Servio Astudillo León¹, Nelson Jara Cobos², Daniela Albuja Arias³, Sandra Catalina Peñaherrera Palacios³,
Nélida Cabrera Calderón⁴, Hernán Morocho Campos¹

¹Centro de Innovación Tecnológica Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Email: citups@ups.edu.ec

²Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Email: njara@ups.edu.ec

³Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Email: daniela.albuja@ucuenca.edu.ec

⁴Comisión de Gestión Ambiental Municipio de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Email: nelidacab22@hotmail.com

Resumen

La presente investigación establece una alternativa para mejorar la eficiencia energética de hornos artesanales utilizados para la cocción de tejas y ladrillos, los cuales presentan una eficiencia de un 9.6% aproximadamente y su consecuente elevada contaminación ambiental; además que provocan pérdidas de producción entre el 15 y el 20 %.

Se consideró las condiciones actuales del horno artesanal y el proceso de producción para desarrollar un modelo de simulación mediante software especializado en el que se determinó la eficiencia, así como las zonas más críticas con gradientes de temperatura elevados, con este modelo se pudo verificar que la cámara de cocción alcanza una temperatura de 800 °C, manteniendo una variación de ± 5 °C en las distintas zonas críticas al utilizar una tapa semiesférica con sistema de extracción de gases de combustión.

Palabras Clave: Horno de tiro invertido, cocción de ladrillos, eficiencia energética, gradiente de temperatura

Abstract

The present investigation establishes an alternative to improve the energy efficiency of artisanal kilns used for the firing of tiles and bricks, which present an efficiency of approximately 9.6% and its consequent high environmental pollution; in addition, they cause production losses between 15 and 20%.

The current conditions of the artisanal kiln and the production process were considered to develop a simulation model using specialized software in which the efficiency was determined, as well as the most critical areas with high temperature gradients, with this model it was possible to verify that the cooking chamber reaches a temperature of 800 °C, maintaining a variation of ± 5 °C in the different critical areas when using a hemispherical lid with a combustion gas extraction system.

Keywords: Reverse draft kiln, brick firing, energy efficiency, temperature gradient.

1. Introducción

La Muy Ilustre Municipalidad de Cuenca – Ecuador, a través de un proyecto relacionado con la gestión ambiental y de acuerdo con los registros de la CGA (Comisión de Gestión Ambiental) y la EELA (Eficiencia Energética en ladrilleras) han identificado que en la ciudad existen 499 ladrilleras artesanales que se dedican a la cocción de ladrillos y tejas, mismas que por su baja eficiencia energética de alrededor del 9,6% [1], ocasionada principalmente por el alto gradiente de temperatura dentro de la cámara de cocción, generan varios problemas, entre ellos está la presencia de un gran número de ladrillos y tejas en mal estado por la inadecuada cocción de los mismos, además de generar la emanación de gases de efecto invernadero al

ambiente debido a que el material combustible (madera de pino) no se combustiona completamente, ocasionando la generación principalmente de CO, afectando directamente a la salud de los habitantes, trabajadores, animales y plantas de la zona [2].

La investigación realizada por la auditoria ADVANCE señala que el 93% de ladrilleras son artesanales y apenas el 7% son semi-mecanizadas. El 100% de las ladrilleras artesanales utilizan hornos tradicionales y troncos de madera como combustible para la quema artesanal [3].

En la actualidad distintas empresas a nivel nacional e internacional están gestionando procesos para la implementación y adquisición de nuevas tecnologías

en sus líneas de producción, con la finalidad de optimizar sus sistemas que lleven a mejorar la calidad de los productos, reducir costos de fabricación y tiempos de producción, además de considerar una reducción de los índices de contaminación medio ambiental.

En la ciudad de Cuenca – Ecuador se ha gestionado la aplicación de esta investigación en el horno artesanal del señor Ángel Sinchi, quien se dedica a la fabricación de ladrillo macizo y teja, las cuales son principalmente utilizados en la construcción de edificios y viviendas en general, siendo así un producto altamente demandado en el mercado.

Los productos anteriormente mencionados se desarrollan mediante un proceso de producción que va desde la obtención de la materia prima, mezclado, moldeado, secado y finalmente quemado. Al respecto del subproceso de quemado, este se lo realiza en un horno artesanal de tipo volcán, el cual presenta una pérdida energética muy grande debido a su baja eficiencia, pérdida en los productos terminados por el alto gradiente de temperaturas que se presentan en la cámara de cocción del horno y un alto porcentaje de contaminación ambiental por la emisión de gases de combustión y cenizas. La investigación total que se registra en este artículo, se desarrolla con motivo de un proyecto de titulación de Arévalo Arévalo et al., denominado “Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas – cámara de cocción y de combustión [4].

1.1 Proceso de fabricación de ladrillos previo a la cocción en hornos artesanales

La explotación de la materia prima se realiza de forma manual, empleando herramientas como picos, palas y carretillas convencionales [5]. La extracción de la materia prima para la fabricación de ladrillos (Arcilla y tierras arenosas) se realizan en lugares cercanos o lejanos a la fábrica (ver figura 1).



Figura 1 - Proceso de extracción manual de arcilla. Fuente: [5].

Las arcillas deben ser reducidas a pequeñas partículas por lo que son disgregadas mediante herramientas manuales (picos, palas) y simultáneamente son mezcladas con cantidades suficientes de agua y colocadas en noques para el batido. Normalmente el procesamiento de un lote de arcilla requiere una jornada de 6 a 8 horas de trabajo con pisoteo de animales [5]. (ver figura 2).



Figura 2. Proceso de batido. Fuente: [5].

Una vez que la arcilla ha sido batida en el noque con la humedad correcta, es trasladada en al secadero. Se coloca los moldes de madera sobre el piso y por llenado se van conformando los ladrillos. En forma inmediata se procede a retirar el molde y repetir el proceso (ver figura 3) [6], [7].



Figura 3. Moldeo de ladrillos. Fuente: [6]

Transcurrido unos 15 días aproximadamente o cuando la arcilla moldeada ha perdido la cantidad suficiente de humedad se realiza el raspado de los filos y caras del ladrillo, eliminando cualquier irregularidad presentada en el proceso, raspando entre 500 y 600 ladrillos en una jornada de trabajo de 8 horas [5]. (ver figura 4).



Figura 4. Raspado de ladrillo. Fuente: [5]

La etapa del secado en ladrilleras artesanales se realiza por medios naturales. Los ladrillos crudos recién moldeados se depositan en canchas de secado o tendales que son espacios de terreno habilitado para este fin. Es recordable construir cobertizos techados para el secado. El tiempo que se requerirá para el secado de los ladrillos estará en función del clima y del tipo de ladrillo a secarse pudiendo variar entre cinco y siete días promedio en los ladrillos industriales con huecos y entre quince y treinta días para los ladrillos macizos. Esta etapa es de vital importancia en la industria ladrillera debido a que en esta etapa del proceso es donde se produce el mayor porcentaje de pérdidas de producción debido a fisuras, contracciones, demoras de producción, deformaciones (ver figura 5) [5], [7].



Figura 5. Secado del ladrillo. Fuente: [5]

1.2 Proceso de cocción

Para la cocción el material utilizado generalmente suele ser la leña en forma de tucos o troncos, por lo que es importante verificar la humedad que contienen, ya que si tienen un bajo porcentaje se posibilita un mayor poder calorífico y su consecuente mejora en el aprovechamiento energético.

Durante el proceso de cocción, se pueden observar cuatro etapas [4]:

- I. Pre calentamiento
- II. Calentamiento

- III. Maduración
- IV. Enfriamiento

Cada etapa se caracteriza por los rangos de temperatura, de acuerdo con lo que se establece en la tabla 1.

Tabla 1. Etapas para la cocción de ladrillos. Fuente: [4], [8]

Etapa	Rango de Temperatura
Pre calentamiento	Temperatura ambiente hasta 150°C
Calentamiento	Desde 150°C hasta los 650°C
Cocción	Entre los 650°C y 1000°C

En la etapa de cocción tiene lugar la unión de los óxidos de hierro con la alúmina y con la sílice, lo que da lugar a la formación de una especie de vitrificación que culmina cuando la alúmina se ha transformado en silicato.

La vitrificación es el proceso en el cual la materia sufre un reblandecimiento de algunos componentes de la arcilla y depende de la cantidad de fundentes que se encuentran en la arcilla, los cuales al llegar a la temperatura ideal en la cocción se compenentran y mezclan químicamente brindando al ladrillo la consistencia y dureza necesaria para resistir las condiciones a las que está sometido.

Las características fundamentales que se toman en cuenta para obtener una cocción que minimice al máximo el producto dañado son: la velocidad máxima en el calentamiento de la pieza, la temperatura mínima de cocción en la fase de vitrificación y la temperatura máxima para evitar deformaciones.

De las características anteriormente mencionadas se puede determinar las curvas del perfil de temperaturas en función del tiempo que se suscitan en el horno.

Cabe indicar que el tiempo que lleva quemar ladrillos en un horno artesanal está en el orden de 15 a 20 horas de quema continua.

1.3 Enfriamiento y descarga del horno

En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de 500°C a 600°C), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de las piezas vitrificadas [9].

Por el contrario, un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto de que si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente, sin la intervención de agentes mecánicos exteriores.

El enfriamiento del material puede durar hasta 10 días [5], luego de los cuales se procede a descargar el horno directamente al medio de transporte para evitar que se duplique los esfuerzos de carga y descarga, o puede permanecer cargado hasta la venta final (ver figura 6).



Figura 6. Descarga del producto. Fuente: [5]

1.4 Normativa

Las normas que se han revisado al respecto de las características de los ladrillos cerámicos que se fabrican de manera artesanal en el Ecuador son las siguientes:

INEN 297. - establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos empleados en la construcción y el alcance de la misma, es importante puntualizar que solo comprende los ladrillos cerámicos fabricados de arcilla moldeada y cocida y no contempla los ladrillos refractarios o fabricados con materiales sílico-calcáreos.

INEN 294-295.- presenta la determinación de la resistencia a la compresión y a la flexión de ladrillos cerámicos. En la tabla 2 se puede observar los requerimientos establecidos por la normativa.

Tabla 2. Características técnicas del ladrillo. Fuente: [8]

Ladrillo	Norma	Rango
Capacidad Absorción de Humedad	NTE INEN 297	Máximo de 25%
Flexión	NTE INEN 295, 1978	Mínimo 2 MPa./20 kg/cm ²
Compresión	INEN 294	Mínimo 6 MPa./61 kg/cm ²
Conductividad Térmica	ISO 8302	0,002 a 2,5 W/m ² K

2. Métodos y materiales

2.1 Situación actual del horno artesanal.

La forma de este horno es rectangular, cuenta con una cámara de combustión en la parte inferior para el acceso de la madera a quemar, tiene además un cenicero que retiene el material combustionado; la parte superior de este horno está abierta, lo que genera mucha pérdida de calor y alto gradiente de temperatura (ver figura 7).

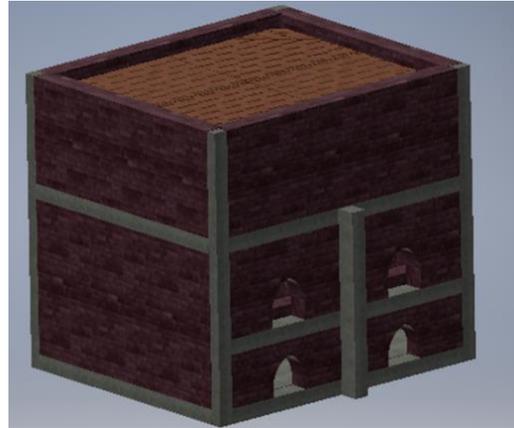


Figura 7. Esquema del horno actual. Fuente: [4]

La fuente de energía se consigue quemando leña de pino en su cámara de combustión, para que el calor emitido suba a través de los ladrillos y los cocine al llegar a la temperatura adecuada. El ciclo completo de producción en el horno artesanal incluye 8 horas para cargar los ladrillos, 15 – 20 horas para el proceso de cocción y hasta 3 días para el proceso de enfriamiento, la temperatura de operación va desde 400°C a 550°C.

2.2 Perfil de temperaturas del horno artesanal.

Para obtener los datos de partida de la cámara y realizar el balance energético del horno artesanal se utilizó un sistema de adquisición de datos de temperatura y termocuplas, registrando los valores en intervalos de tiempo de 20 minutos para cada uno de los puntos establecidos en la figura 8.

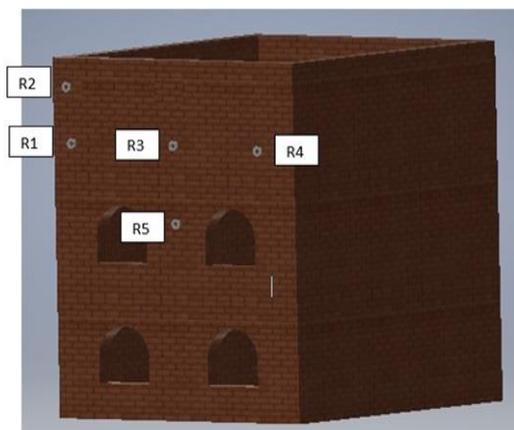


Figura 8. Esquema de la ubicación de las termocuplas. Fuente: [4]

A través de un software de adquisición de datos se registró las temperaturas, monitoreando en primera instancia en varios puntos del frente, posterior e inferior del horno; el período total establecido consideró el inicio del proceso de combustión de la leña hasta el final del proceso de cocción. Se contabilizó un total de 17 horas de monitoreo con termocuplas tipo K instaladas en el frente del horno, obteniéndose un perfil de temperaturas (ver figura 9). De igual manera se realizó el monitoreo en la parte posterior e inferior.

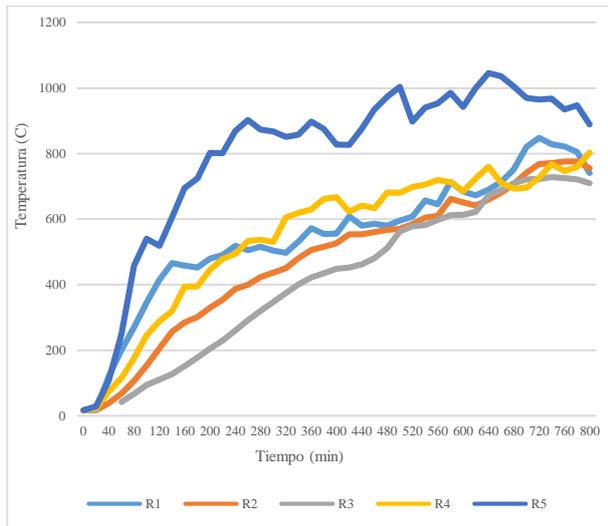


Figura 9. Perfil de temperaturas de calentamiento del horno tradicional. Fuente:[4].

Utilizando el mismo sistema instrumentado se procedió también a monitorear las temperaturas en la cámara de cocción durante el proceso de enfriamiento (ver figura 10).

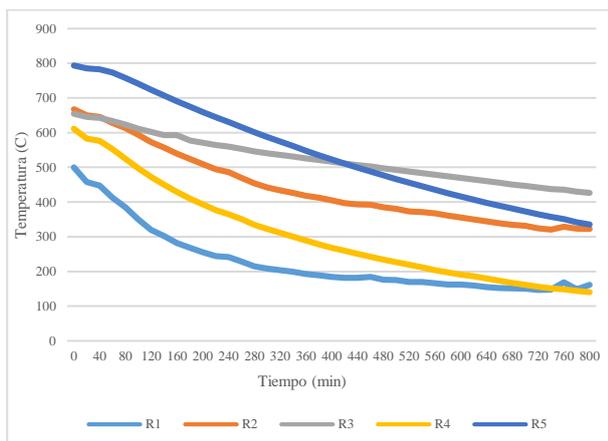


Figura 10. Perfil de temperaturas de enfriamiento del horno tradicional. Fuente:[4].

2.3 Balance energético del horno actual.

Se estableció un balance energético con la finalidad de calcular la eficiencia del horno y estimar el intercambio de calor que se suscita, lo anterior para plantear

propuestas de mejora de los procesos térmicos a tener en cuenta; el análisis se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q_o + Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dp} + Q_{wc} + Q_{ac} + Q_{wa} + Q_i + Q_{pa} + Q_h \quad (1)$$

Donde:

- Qt=Calor total suministrado
- Qo=Calor acumulado en la mampostería
- Qcm=Calor por carga del material a cocer
- Qwm=Calor para sacar la humedad del material
- Qdp=Calor necesario para la descomposición química de la arcilla
- Qwc=Calor por humedad de la leña
- Qac=Calor por agua formada en la combustión
- Qwa=Calor por humedad de aire
- Qi=Calor por inquemados
- Qpa=Pérdida de calor por las paredes del horno
- Qh=Calor por humos

Y se obtienen los siguientes resultados (ver tabla 3)

Tabla 3. Resultados del balance energético. Fuente: [8]

Descripción	Valor	Unidad
Qt	58,4x10 ⁶	kJ
Qo	14x10 ⁶	kJ
Qcm	8,2x10 ⁶	kJ
Qwm	4,4 x10 ⁶	kJ
Qdp	4 x10 ⁶	kJ
Qwc	83 x10 ³	kJ
Qac	11,2 x10 ³	kJ
Qwa	90,7x10 ³	kJ
Qi	3,3x10 ⁶	kJ
Qpa	7,015 x10 ⁶	kJ
Qh	13,14 x10 ⁶	kJ

La sumatoria de flujos de energía establece un valor de 58,4x10⁶ kJ como calor total suministrado durante el proceso de cocción y una eficiencia energética del 14 %.

2.4 Propuesta de mejoras

Mediante la implementación de una tapa semiesférica en la parte superior del horno (ver figura 11), se plantea reducir las pérdidas energéticas, incrementar la eficiencia y reducir los tiempos de cocción. Además de obtener una cocción más homogénea en toda la cámara de cocción.

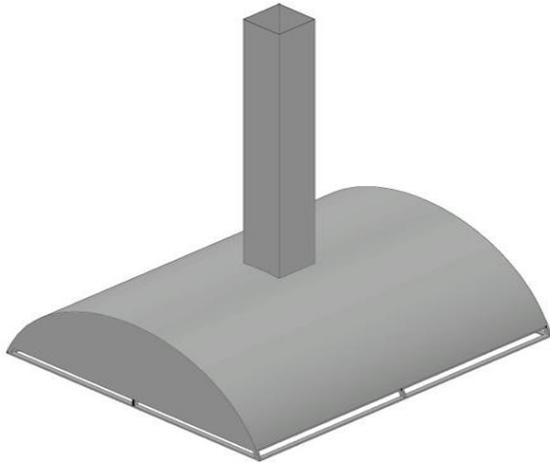


Figura 11. Tapa semiesférica. Fuente:[4]

Como se observó en la figura 7, la colocación del material a cocer se realiza por la parte superior del horno, razón por la que se establece la necesidad de implementar un sistema de desplazamiento longitudinal de la tapa para realizar la colocación de ladrillos o tejas y luego desplazar la tapa para cerrar el horno y proceder con la cocción. Ver figura 12

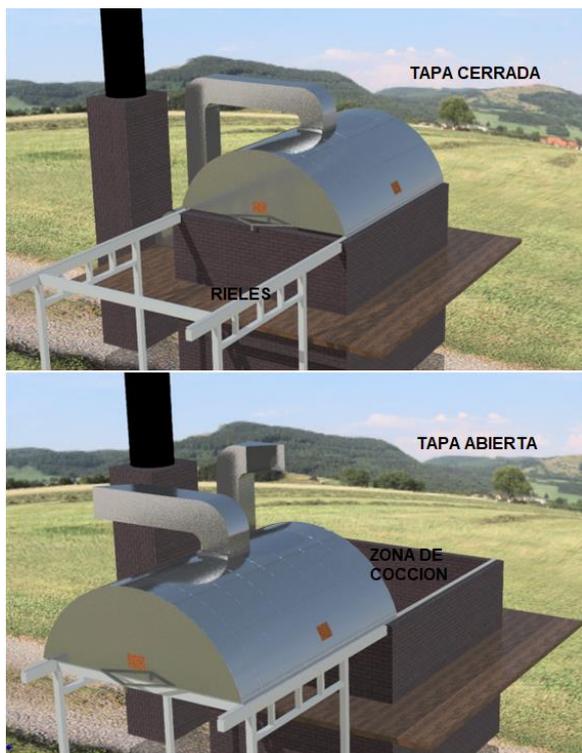


Figura 12. Desplazamiento de la tapa. Fuente:[8]

Con la geometría de la tapa semiesférica definida con medidas de 3,5 metros de ancho, 4,1 metros de largo y 1,35 metros de alto. Y su sistema de desplazamiento manual definido, se plantea la implementación de la tapa semiesférica con materiales resistentes a la corrosión y capaces de soportar las cargas térmicas aplicadas. (ver figura 13)



Figura 13. Características de la tapa. Fuente: Autores

Como aislante térmico en la tapa se utiliza manto cerámico, capaz de resistir temperaturas de 1260 °C con un espesor de aislante de 4 pulgadas, valor obtenido mediante cálculo de resistividad térmica. además de la obtención el coeficiente global de transferencia de calor, valor que nos permiten calcular la razón de transferencia estacionaria y la eficiencia energética de la implementación de este sistema.

Los valores determinados se pueden observar en la tabla 4

Tabla 4. Resultados de la propuesta de mejora. Fuente: [8]

Nomenclatura	Descripción	Valor	Unidad
Re	Resistencia total	0,032	°K / W
U	Coefficiente global de transferencia de calor	1.4435	W/ 2°k
Qt2	Perdida de energía en la tapa	24,0681	kW
Qte	Razón de transferencia de calor estacionaria	22,5128	kW
Te	Temperatura externa de la tapa	50,55	°C
N	Eficiencia energética	21,26	%

Para la simulación numérica del gradiente de temperatura que ocasiona la implementación de la tapa semiesférica y que cuenta con ductos de extracción en la parte superior, se considera los siguientes parámetros:

- Velocidad del viento en la zona
- Dirección del viento
- Humedad relativa
- Ubicación geográfica del horno
- Porcentajes de humedad del material de combustión.
- Porcentajes de humedad y humedad liberada durante la cocción de las tejas

- Capacidad calorífica del material de combustión.

Como las condiciones ambientales varían dependiendo de la época del año y al ser un horno artesanal, se utiliza al método k-Epsilon de simulación numérica para la dinámica de fluidos por la condición de fluido turbulento que se presenta por lo impredecible que resulta la velocidad del viento y dirección de esta.

Las condiciones iniciales y de frontera para la simulación son las siguientes:

- Temperatura interior = 800°C
- Temperatura exterior = 15 °C
- Capacidad calorífica del material de combustión = 2300 J / g K
- Velocidad de extracción de gases = 3 m/s
- Aislante térmico = manto cerámico 0,15 W/m K
- Tiempo de cocción = 12 horas
- Velocidad del viento = 14 km/hr

2.5 Costos para implementación de la tapa semiesférica

Para estimar el costo total de la tapa semiesférica se han considerado todos los elementos, maquinaria, mano de obra y equipos necesarios para su implementación (ver Tabla 5).

Tabla 5. Costos de implementación de tapa semiesférica. Fuente: Autores.

Ítem	Descripción		Costo USD
1	Tapa semiesférica	rieles	170,00
		columnas de soporte	270,00
		estructura de tapa	520,00
		planchas galvanizado	400,00
		manto cerámico	2.175,00
2	Elementos complementarios de la Cámara	aperturas de sensores	80,00
		manijas	45,00
3	Ducto de extracción	accesorio de ductos	170,00
		ductos	350,00
		acoples	120,00
TOTAL			4.300,00

3. Resultados y discusión.

La simulación numérica nos presenta resultados de la distribución de calor dentro de la tapa semiesférica y la cámara de cocción, misma que se puede observar de manera gráfica en la figura 14, que presenta una

distribución homogénea del calor con un gradiente de temperatura de $\pm 5^\circ\text{C}$.

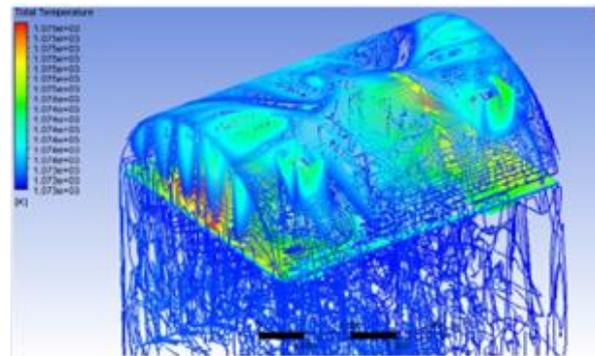


Figura 14 Distribución de calor dentro de la tapa semiesférica. Fuente: Autores

Al disminuir el gradiente de temperatura de manera considerable se garantiza que los productos se queman de forma homogénea, tanto en la parte inferior de la cámara de cocción como en la parte superior de la misma; es decir, que independientemente de la ubicación del ladrillo o teja dentro del horno, estos se cocerán de manera uniforme evitando productos de mala calidad por cocción incompleta. [8]

Por otro lado, la simulación numérica del comportamiento de los gases de combustión en la tapa y ducto de extracción, presenta los siguientes resultados expuestos en la figura 15, en los que se puede observar una velocidad de succión de 3 m/s.

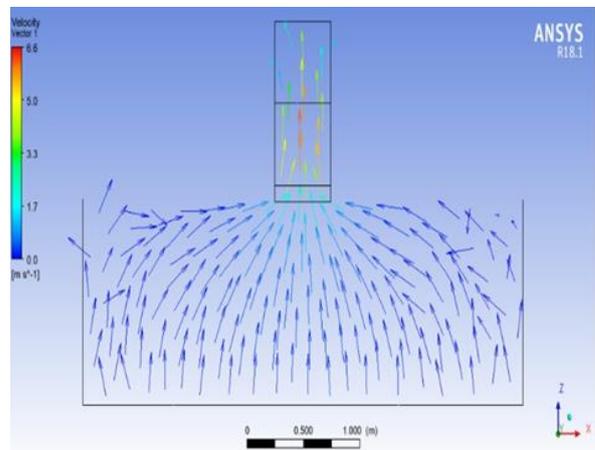


Figura 15. Velocidades de extracción de gases. Fuente: Autores

La eficiencia energética del horno obtenida, considerando la implementación de la tapa semiesférica llega a un valor de 21.62%, valor que se encuentra en 7.62% por arriba de la situación actual del horno artesanal.

Cabe resaltar que el valor de eficiencia conseguido es comparable con la eficiencia que presenta los hornos de tiro invertido.

Para reforzar el resultado del gradiente de temperatura en los distintos puntos de la cámara de cocción, se

procedió a simular dicho gradiente (ver figura 16) y se vuelve a verificar una variación de $\pm 5^\circ\text{C}$.

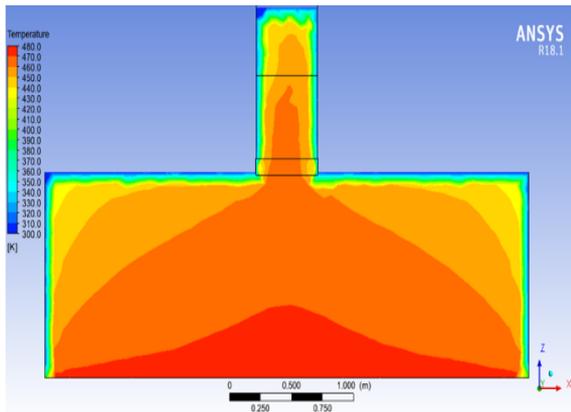


Figura 16. Homogenización de temperaturas. Fuente: [4]

4. Conclusiones

Tanto los ladrillos como las tejas son altamente utilizados en la construcción de edificios, casas etc., por lo que se debe garantizar que la calidad y las características de los productos sean semejantes, para esto es necesario mejorar aspectos como homogenizar la temperatura de quemado y evitar la pérdida de calor dentro del horno; en este sentido se optó por implementar una cúpula, además del incremento del espesor en las paredes de la cámara de combustión y de cocción y la adaptación de un ventilador, todo esto posibilitará la homogenización de la temperatura en el horno y su consecuente disminución en las pérdidas de energía, mejorando la eficiencia del Horno.

Mediante la adquisición de los datos de temperatura obtenidos durante las pruebas en el horno artesanal tipo volcán, se logró determinar la eficiencia energética cuyo valor es del 14%, además de analizar el estado de la técnica y poder determinar los puntos críticos por donde pierde el calor generado, como son las esquinas que alcanzan temperaturas máximas de 183°C , y por la parte superior por donde se evacuan los gases con temperaturas máximas de 325°C .

Mediante el diseño y la simulación de una cúpula instalada en el horno tipo volcán, los resultados indican que se logró aumentar la eficiencia energética hasta un 21.62%, además de disminuir el alto gradiente de temperatura, garantizando una temperatura homogénea de 800°C al interior de la cámara de cocción, lo que permitiría que los productos se quemen de manera homogénea independientemente de la posición que tengan en el horno.

En la cámara de cocción se optó por aumentar el espesor de la pared a 250 mm con lo cual se obtiene una pérdida de calor por las paredes de 47,765 kW durante todo el proceso de cocción, lo cual garantiza una temperatura externa en el horno de 37°C con respecto a la temperatura ambiente, siendo un valor

idóneo que no genera problemas al momento de manipular el horno.

En la cámara de combustión se optó por aumentar el espesor de la pared a 250 mm, al igual que en la cámara de cocción, además de implementar una entrada de aire con una velocidad de 3 m/s mediante la utilización de un ventilador, el cual genera un flujo de aire que provoca una convección forzada al interior de la cámara, lo que conlleva a contar con una homogenización de la temperatura dentro del horno; los resultados numéricos fueron validados mediante el software ANSYS FLUET.

Las mejoras en el horno artesanal tienen un costo total de 4.300,00; estas mejoras cumplen con todos los requerimientos operacionales para realizar el quemado apropiado de ladrillos y tejas. Se concluye que con certeza su construcción será viable técnica y económica ya que hornos con esas características como son los hornos de tiro invertido tiene un precio de venta en el mercado que oscila entre los 20.000,00 y 25.000,00 USD.

5. Agradecimientos

Se deja constancia un agradecimiento al GAD Municipal de la Ciudad de Cuenca por el apoyo económico recibido para la implementación del sistema que llevó a la mejora del horno artesanal tipo volcán para la quema de tejas y ladrillos.

REFERENCIAS

- [1] R. M. Angel Alejandro y C. O. Morelia Elizabeth, «Determinación de niveles de co de ladrilleras y su posible afectación a la formación de carboxihemoglobina en el cantón Chambo.», B.S. thesis, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2018.
- [2] J. L. Jaya Sucozhañay y J. L. Gomezcoello Vásquez, «Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2012.
- [3] A. F. C. Cabrera Zuñiga y R. A. Faicán Zari, «Análisis de las emisiones ambientales y de la eficiencia energética de los hornos de las ladrilleras de Cuenca. Propuesta de límites referenciales de emisiones ambientales», PhD Thesis, Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador, 2019.
- [4] M. R. Arévalo Arévalo, J. C. Cumbe Novillo, y N. G. Jara Cobos, «Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas-cámara de cocción y de combustión», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021. [En línea].

Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21414>

[5] S. F. Álvarez Guerrero y S. C. Peñaherrera Palacios, «Optimización del proceso de mezcla de arcilla para la producción de ladrillos, en el sector artesanal», B.S. thesis, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5529>

[6] J. Sánchez-Molin, J. A. Orozco-Cacique, y L. Peñaloza-Isidro, «Evaluación de mezclas de arcillas para la fabricación de ladrillos refractarios que sirvan para la reconversión tecnológica de los hornos utilizados en Norte de Santander», Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, vol. 26, n.o 1, pp. 59-66, 2014.

[7] J. del Real-Olvera, «Análisis comparativo de la contaminación atmosférica generada en dos tipos de hornos ladrilleros tradicionales.», COLECCIÓN MEMORIAS DE LOS CONGRESOS DE LA SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO 54° Congreso Mexicano de Química y 38° Congreso Nacional de Educación Química, vol. 1, n.o 1, pp. 63-67, sep. 2019.

[8] R. N. Salinas Ojeda, «Caracterización térmica y mecánica de materiales de construcción más usados en Ecuador. Materiales para pared y techo», Thesis, Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador, 2018.

[9] G. E. García Pacheco y L. X. Pañi Riera, «Optimización de la eficiencia energética de la leña (Eucalyptus Globulus) como combustible en un modelo de horno de ladrillo artesanal, a través del análisis y modificación de las características del combustible», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2013. [En línea]. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5226>