

Diseño de una cámara de secado para el aprovechamiento energético de hornos artesanales.

Hernán Morocho Campos¹, Nelson Jara Cobos², Servio Astudillo León², Daniela Albuja Arias³, Sandra Catalina Peñaherrera Palacios³, Nélide Cabrera Calderón⁴

¹Centro de Innovación Tecnológica Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Email: hmorocho88@gmail.com

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

Este proyecto presenta el diseño de una cámara para el secado de tejas o ladrillos y madera de pino, aprovechando la energía de los gases de combustión que resultan del proceso de cocción de dichos productos en hornos artesanales, los cuales generan grandes cantidades de calor y a su vez grandes cantidades de gases de efecto invernadero como producto de una combustión incompleta debido a la humedad excesiva en la biomasa utilizada para la combustión (madera de pino). La cámara diseñada cumple la función de secado de tejas y ladrillos disminuyendo el porcentaje de humedad y cumpliendo con las características requeridas para el desarrollo del proceso de cocción en el horno artesanal. Además, la cámara presenta condiciones para secar la madera de pino, requerida para contar con un proceso de combustión completa y así generar la energía suficiente para conseguir en la cámara de cocción temperaturas que oscilen entre 850 °C y 1000 °C.

Palabras clave: Horno de tiro invertido, eficiencia energética, cámara de secado, cocción de tejas y ladrillos.

Abstract

This project presents the design of a chamber for drying tiles or bricks and pine wood, taking advantage of the energy of the combustion gases that result from the cooking process of said products in artisan ovens, which generate large quantities of heat and in turn large amounts of greenhouse gases as a product of incomplete combustion due to excessive moisture in the biomass used for combustion (pine wood). The designed chamber fulfills the function of drying tiles and bricks, reducing the percentage of humidity and complying with the characteristics required for the development of the firing process in the artisan oven. In addition, the chamber has conditions to dry the pine wood, required to have a complete combustion process and thus generate enough energy to achieve temperatures in the firing chamber that range between 850 °C and 1000 °C.

Keywords: Inverted draft kiln, energy efficiency, drying chamber, tile and brick firing.

1. Introducción

En el Ecuador existe una gran cantidad de empresas familiares que se dedican a la producción de tejas y ladrillos de manera artesanal, utilizando para su cocción hornos de tipo volcán, en donde la fuente principal de energía se la obtiene de la quema de madera de pino, la cual muchas de las veces presenta un contenido de humedad elevado ocasionando una combustión inadecuada; además los productos a ser sometidos a la cocción poseen altos contenidos de

humedad que pueden superar plenamente un 10% de su masa, pese a que fueron sometidos previamente a un proceso de secado natural. En este sentido se ha evaluado la necesidad de contar con un secadero, en el que se pueda regular la temperatura a fin de precautelar sobre todo la estructura de las tejas y ladrillos que podrían ingresar a este para conseguir disminuir el porcentaje de humedad a valores por debajo del 5% en tiempos menores y sin que se presenten daños o resquebraduras.

Basados en principios de transferencia de calor, termodinámica y diseño de ingeniería, se aborda de manera eficaz el diseño de un sistema de secado de tejas o ladrillos y el material de combustión (madera de pino), considerando para ello las características de diseño requeridas para que se incorpore en una empresa artesanal aprovechando la energía emanada en los gases de combustión del horno de cocción.

En el diseño los gases de combustión son transportados mediante ductos hacia un intercambiador de calor, el cual cede la energía necesaria para mantener un ambiente a una temperatura controlada.

Con los parámetros de diseño seleccionados y el flujo de aire considerado se logra establecer las condiciones necesarias para el secado de las tejas, ladrillos y madera; obteniéndose un beneficio en el proceso de producción, además de reducir la cantidad de gases que se envían directamente al ambiente, esto debido a que se consigue una combustión completa por la reducción del contenido de humedad de la madera. La investigación total que se registra en este artículo, se desarrolla con motivo de un proyecto de titulación de Ortiz Matailo et al., denominado “Propuesta de mejora de la eficiencia energética de un horno artesanal para la quema de ladrillos y tejas – cámara de secado para leña, tejas o ladrillos [1].

1.1. Sistemas de secado

Secado Natural. – es considerado como el método más simple para secar cualquier tipo de material en este caso: teja, ladrillo y madera, ya que se exponen directamente al medio ambiente, a las condiciones de humedad relativa, la velocidad y la presión atmosférica, que son variables que no se pueden controlar en esas condiciones, (Ver figura 1).



Figura 1. Secado Natural Tejas.
Fuente: Elaboración propia.

Secado Artificial. – Este sistema controla variables de temperatura, presión, velocidad y humedad relativa del aire, con la finalidad de reducir el contenido de humedad de cualquier material, tiempos de secado, agilizando la producción.

Las cámaras de secado son generalmente construidas de materiales de alta resistencia al impacto y corrosión como el acero o aluminio, deben ser completamente herméticas, con puertas y techos compuestas de materiales aislantes como fibra de vidrio por su coeficiente de conductividad térmica relativamente bajo.

Las ventilas son las encargadas del sistema de ventilación, puede accionarse de forma manual o automática y permiten la salida del aire húmedo producto de la evaporación del agua en los materiales dentro de la cámara para remplazarlo por aire ambiente [2].

Para desarrollar el proceso de secado de manera artificial, se pueden utilizar distintos tipos de sistemas que aprovechan proceso de convección, condensación y de radiación para intercambiar calor con los productos a secar. Luego del análisis se ha establecido que la mejor opción para el secado artificial será el uso de intercambiadores de calor, ya que posibilitan trabajar a temperaturas de entre 60 y 90°C mediante el intercambio el calor desde un aire calentado a través de quemadores con el aire circundante de la cámara de secado. En algunos casos también se puede utilizar residuos de gases de combustión de otros procesos (ver Figura 2).

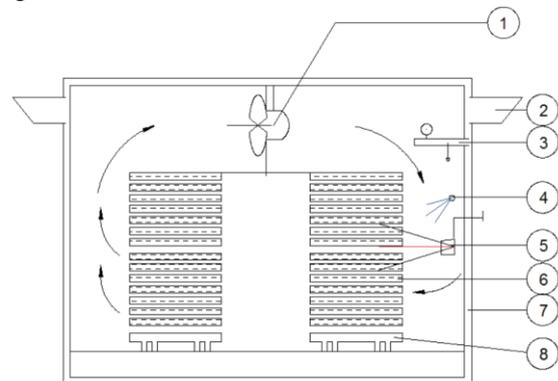


Figura 2. Ventilador (1), Ventilas regulables (2), Intercambiador de calor (3), Sistema de humectación (4), Sistema de mando y control (5), Material a secarse (6), Cámara de secado (7), Coches.

Fuente: [3]

1.2. Características del material a secar.

Teja artesanal curva. – es uno de los elementos más usados en la construcción debido a sus características de fabricación que permiten contar con una calidad adecuada sin la presencia de grietas, fisuras, descamación, laminaciones, deformaciones y roturas, manteniendo costos bajos.

Los requisitos técnicos que deben cumplir la teja común tipo A según la Norma INEN se establecen en la Tabla 1.

Tabla 1. Requisitos Teja Común Tipo A. Fuente: [4].

Teja Común Tipo A	Promedio cinco Tejas	Individual
Resistencia Flexión kg/cm ²	100	80
Absorción Agua (%)	18	20

Ladrillo Hueco. - Posee perforaciones internas en un 20% máximo de su volumen total, estos agujeros sirven para alojar aire que cumple la función de aislante térmico. Los tiempos de cocción son menores debido a que sus paredes son delgadas.

Los ladrillos cerámicos se pueden clasificar en diferentes tipos de acuerdo a su forma y uso, para el caso de ladrillero hueco le corresponde el Tipo D. Sus características técnicas se pueden ver en la Tabla 2.

Tabla 1. Características técnicas del ladrillo hueco # 4. Fuente: [4].

Ladrillo Tipo D	Promedio cinco Ladrillos	Individual
Resistencia mínima a la Compresión (MPa)	6	5
Resistencia mínima a la Flexión (MPa)	4	
Absorción Agua (%)	16	

Madera de pino. - Los hornos de cocción de ladrillos y tejas usan madera de pino como elemento principal para la combustión, este material recién aserrado es adquirido por los artesanos y almacenado en espacios específicos, por lo cual no interesa obtener una buena calidad superficial sino más bien se requiere extraer la mayor cantidad de humedad posible del material.

1.3. Contenido de Humedad de los Materiales

La humedad de los diferentes materiales que se requieren secar, se las puede determinar por el método directo o estufa, el cual expresa la relación existente entre la masa de agua que se encuentra en el material y la masa seca o anhidra (ver ecuación 1).

$$CH = (P - P_{sh} / P_{sh}) 100 \tag{1}$$

CH – contenido de humedad (%)

P – masa original de la muestra en (g)

P_{sh} – masa de la muestra anhidra (g)

Para la obtención de los datos se optó por usar el método directo (ver Figura 3), obteniendo un valor promedio de humedad tanto para las tejas como para los ladrillos de un 10%.



Figura 3. Obtención de la humedad de ladrillo hueco y teja mediante el método directo. Fuente: Elaboración propia.

1.4. Fases de la Obtención de Teja o Ladrillo

A continuación, en la Figura 4, se establecen las fases para la fabricación de tejas y ladrillos que realizan la gran mayoría de empresas de producción artesanal ubicadas en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Como se puede observar inicia con la selección de la materia prima para luego el proceso de mezclado y moldeo de acuerdo al tipo de producto que se desee fabricar, en este caso una teja o un ladrillo.

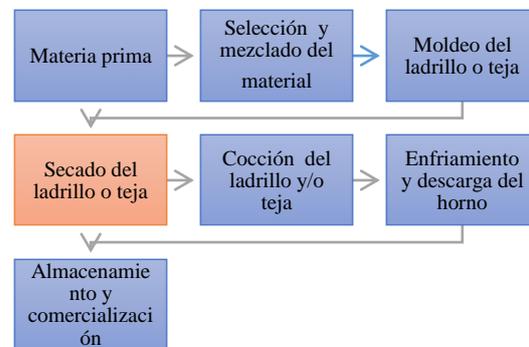


Figura 4. Fases para la producción de tejas y ladrillos. Fuente: Elaboración propia.

De todas las fases establecidas en la figura 4 el proceso de secado del ladrillo o teja es motivo de análisis presentado en este documento; para el secado de los productos previo el ingreso al horno de cocción, estos deben contar con la menor cantidad posible de humedad y para ello se aprovecha la acción natural del sol y el viento para secarlos. En la realidad de las empresas fabricantes de tejas y ladrillos en la ciudad de Cuenca – Ecuador, el secado se lo realiza de forma natural, es decir utilizando el calor del sol y la acción del viento; en este sentido, el tiempo que se requiere para el secado estará en función del clima y del

procedimiento que emplea el productor pudiendo tardar entre ocho días después de la extrusión como pre-secado y posteriormente colocarlos bajo galpones hasta cumplir un tiempo de quince días en total (ver Figura 5).



Figura 5. Secado de ladrillos y tejas en galpones.
Fuente: Elaboración propia

Luego del proceso de secado, la siguiente fase es la cocción. La cual consiste en colocar las tejas o ladrillos en la cámara de cocción a una temperatura aproximada de 800 – 1000°C durante 10 horas (datos obtenidos a través de la medición con termocuplas), para luego dejarlos enfriar en el horno por un día. Posteriormente se retiran los productos quemados y se procede a almacenarlos para su comercialización. Cabe indicar que, para el caso de las tejas, estas requieren de un paso adicional de barnizado.

En la tabla 3, se puede apreciar los productos que fabrican varios de los empresarios artesanales de la ciudad de Cuenca; la cantidad aproximada de producción es de 15000 tejas y/o 9000 ladrillos por mes, considerando que la capacidad máxima de los hornos artesanales de cocción es de 6000 tejas o 3000 ladrillos, hace necesario la planificación de 3 quemas por mes para cada producto.

Tabla 3. Productos que se fabrican.
Fuente: Elaboración propia.

Producto	Imagen
Teja Redonda	
Teja Cuadrado	
Ladrillo Hueco #4	

1.5. Material para la combustión en el horno

El material utilizado para el proceso de combustión es madera de "Pino", la cual es colocada en la cámara de combustión, (ver figura 6) y a través de métodos

empíricos (colores) se logra establecer las temperaturas en la cámara de cocción solo controlando la alimentación del material en zonas requeridas, para ello se cuenta con dos accesos.



Figura 6. Combustible utilizado para la combustión.
Fuente: Elaboración propia.

Al estar expuestos hacia el medio ambiente, la madera adquiere mucha humedad, lo que perjudica el proceso de combustión, haciendo necesario también establecer procesos de secado artificial para la leña.

En vista de que el horno artesanal utilizado para la cocción de los productos es del tipo volcán, el flujo de calor generado es desperdiciado por lo que se pretende recircularlos hacia una cámara de secado para poder aprovechar dicha energía al máximo.

Los gases producidos por el material de combustión (madera de pino) y otros elementos producen gases como el CO, CO₂, NO_x, SO₂, PM10 y PM25 principalmente, los cuales son perjudiciales para la salud de los productores y moradores del sector, además la mayoría de los hornos se encuentran expuestos directamente al ambiente lo que representa una gran pérdida de energía térmica no aprovechada. En las tablas 4 y 5 se puede observar algunos datos al respecto del combustible utilizado (madera de pino).

Tabla 42. Porcentajes totales del biocombustible. Fuente: [5].

Biocombustible	% de humedad promedio	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Procedencia
Rama, corteza y madera de pino	50	2500	Restos de podas, raleos y cosecha de plantaciones forestales
Aserrín	45	3000	Etapas de aserrado y reproceso

Tabla 5. Composición másica del biocombustible.
Fuente: [5].

Biocombustible	%C	%H	%O
Madero de pino	51	6,3	41,4
	%S	%N	%Cenizas
	0,1	0,2	1

2. Métodos y Materiales

2.1. Diseño de la cámara de secado.

Para el diseño de la cámara de secado de tejas, ladrillos o madera de pino se utiliza algunos datos de partida referentes a los gases de combustión de un horno artesanal de tipo rectangular utilizado para la cocción de tejas y ladrillos y que opera en la ciudad de Cuenca. Esta cámara aprovechará la energía térmica de dichos gases de combustión generados en la fase de cocción de los productos mencionados.

Para el aprovechamiento energético se conduce los gases de combustión hacia un intercambiador de calor, mismo que a través de un proceso de transferencia de calor calentará el aire que circula dentro de la cámara, de tal manera que permita un incremento de temperatura en el interior de la cámara a fin de cumplir con los parámetros adecuados para realizar el proceso de secado.

2.1.1. Dimensionado de la cámara

Las dimensiones externas generales de la cámara han sido obtenidas en base del espacio disponible en el sitio a implementar, siendo 4 m de frente, 3,5 m de fondo y 3,4 m de alto. Para evitar pérdidas de calor se utilizará para la construcción de las paredes dos capas de ladrillo común en un espesor total de 16 cm.

En la figura 7 se puede observar la distribución de los volúmenes en el interior de la cámara que incluye las dimensiones del deflector, el espaciamiento en cada lado para la circulación del aire y el espacio a utilizar para el ingreso del personal y material.

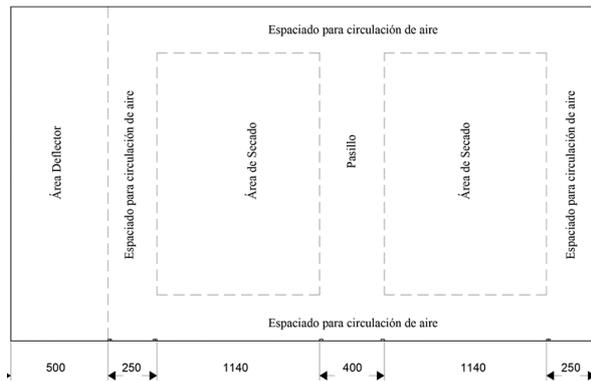


Figura 7. Dimensiones de los espacios de la cámara – vista superior. Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Cámara de secado

En la figura 8 y 9 se puede identificar algunas de las partes que componen la cámara de secado, las cuales han sido identificadas numéricamente; además, en la tabla 6 se encuentra la descripción de cada una de estas partes con el dato del material recomendado para la construcción.

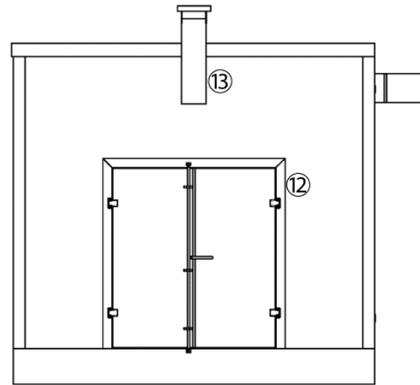


Figura 8. Vista frontal horno. Fuente: Elaboración propia.

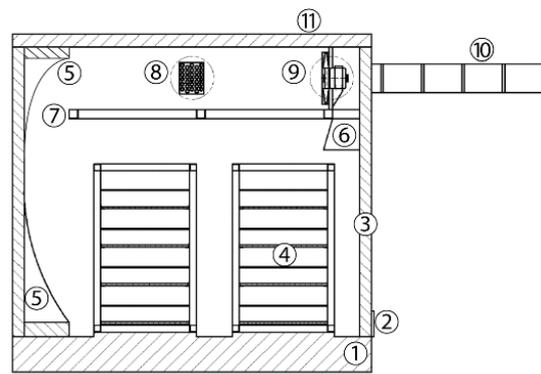


Figura 9. Corte de Cámara de secado. Fuente: Autores

Tabla 63. Componentes de la Cámara de Secado. Fuente: Elaboración propia

Numeración	Elemento	Material
1	Piso	Concreto
2	Ventila	
3	Pared	Ladrillo común
4	Estantes	Acero inoxidable
5	Deflector	Aluminio
6	Tobera de recirculación	Tol Galvanizado
7	Cielo Falso	Acero Galvanizado
8	Intercambiador de Calor	ASTM A53
9	Ventilador Axial	
10	Ductos de transporte de gases de combustión	Tol Galvanizado
11	Techo	Ladrillo común
12	Puerta	Acero Inoxidable AISI 304 con aislamiento de fibra de vidrio
13	Chimenea	Tol Galvanizado

2.1.3. Sistema de Ventilación

2.1.3.1. Ventiladores

La cámara de secado contará con ventiladores axiales colocados sobre el techo falso. Este ventilador se

utiliza en los sitios donde se requiera manejar bajas presiones y grandes caudales, tomando en cuenta que el consumo de energía siempre sea el menor posible.

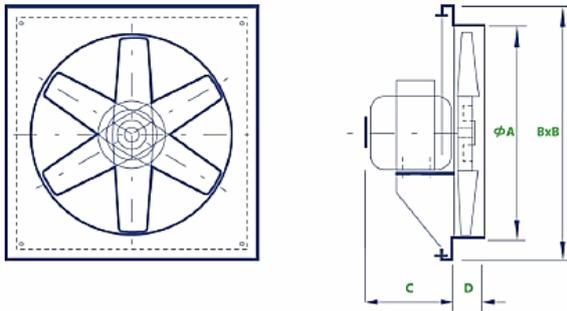


Figura 10. Ventiladores Axiales. Fuente: [6].

Para la selección de los ventiladores se deben ha considerado los siguientes datos:

Caudal = 11102 CFM

Caída de Presión = $\Delta P = 11,63 \text{ mmH}_2\text{O}$

Por lo que se escoge dos ventiladores cuyas características se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Características técnicas del ventilador.
Fuente: Elaboración propia.

Modelo	Caudal	Velocidad
Ventilador Axial DA-60010L-40	10800 m ³ /h	1075 rpm
	Potencia 3 ¾ hp	Presión 11,75 mmH ₂ O

2.1.3.2. Ventilás

La cámara de secado contará con 2 ventilas, tal y como se puede observar en la Figura 11, mismas que tendrán la finalidad de liberar el contenido excesivo de humedad que se presenta en el interior de la cámara.

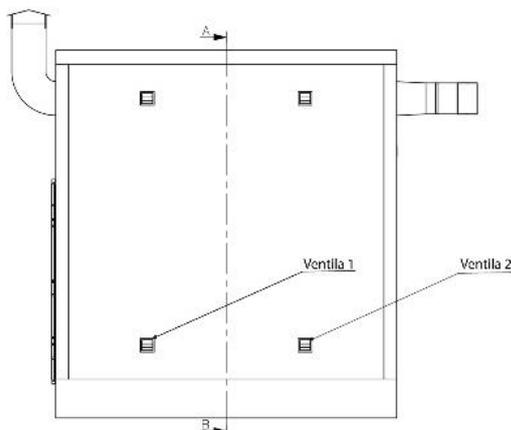


Figura 11. Ventilás. Fuente: Elaboración propia

2.1.4. Sistema de Calentamiento

Representa el sistema encargado de calentar el aire dentro de la cámara de secado, mediante la utilización

de un intercambiador de calor de flujo cruzado. El funcionamiento general se basa en la circulación de los gases de combustión que circulará por el interior de los tubos (fluido caliente), entregando su energía calórica al aire (fluido frío) que circula por la tubería y es empujado por el ventilador en forma perpendicular que. Cabe indicar que el intercambiador de calor estará colocado en línea en los ductos que se utilizan para transportar los gases de combustión (ver Figura 12).

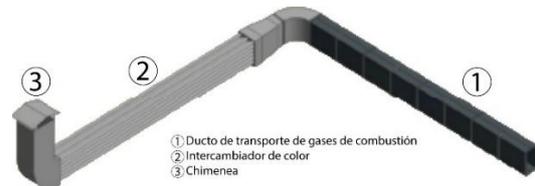


Figura 12. Ducto de gases (1), Intercambiador de calor (2), Chimenea (3). Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13 se puede observar la posición que ocupa el intercambiador de calor y su ducto de captación de los gases de combustión dentro de la cámara de secado.

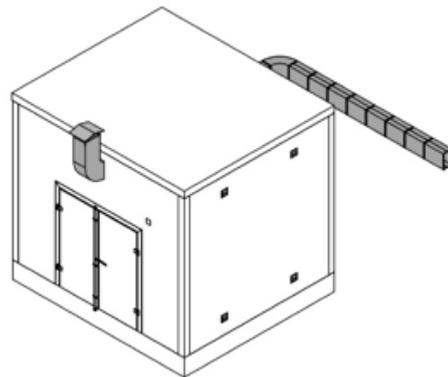


Figura 13. Ubicación del intercambiador de calor en la cámara de secado. Fuente: Elaboración propia.

2.1.4.1. Transferencia de calor en la cámara de secado

El dimensionamiento del intercambiador se lo realiza en base de las condiciones requeridas por la cámara de secado.

En la Tabla 8 se puede observar las diferentes cargas de calor requeridas por cada elemento que conforma la cámara de secado, las pérdidas de calor que se podrían tener, además del calor requerido por los materiales a secar.

Tabla 8. Resultados Obtenidos. Fuente: Elaboración propia

Carga de calor	Resultado
Calor en los materiales a secar	$Q_{m_{pino}} = 10,14 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$

	$Q_{m_{teja}} = 92,3984 \frac{kJ}{s}$ $Q_{m_{ladrillo}} = 8,08 \frac{kJ}{s}$
Calor para calentar el agua contenida en madera teja y ladrillo	$Q_{agua-pino} = 16,38 \frac{kJ}{s}$ $Q_{agua-teja} = 398,26 \frac{kJ}{s}$ $Q_{agua-ladrillo} = 93,20 \frac{kJ}{s}$
Calor para calentar el aire en la cámara	$Q_{aire-pino} = 248,57 \frac{J}{s}$ $Q_{aire-teja} = 242,27 \frac{J}{s}$ $Q_{aire-ladrillo} = 246,79 \frac{J}{s}$
Calor en los estantes	$Q_{estante} = 493,83 \frac{J}{s}$
Calor en el aire de reposición	$Q_{aire,r} = 2,66 \frac{J}{s}$
Pérdidas de calor en la cámara de secado	$Q_{p_{total}} = 6,138 \frac{kJ}{s}$
Calor para calentar el aire en la cámara	$Q_{se_{total}} = 5,779 \frac{kJ}{s}$
Calor para evaporar el agua contenida en la madera, teja y ladrillo	$Q_{e_{agua-pino}} = 131 \frac{kJ}{s}$ $Q_{e_{agua-teja}} = 171 \frac{kJ}{s}$ $Q_{e_{agua-ladrillo}} = 40,019 \frac{kJ}{s}$

Para calcular la potencia total se ha tomado en cuenta los valores Q, los cuales se calcularon en las condiciones más críticas. Además, se ha considerado un factor de seguridad (Fs) del 30% para el diseño final, es decir:

$$Q_{TOTAL} = (Q_{m_{teja}} + Q_{agua-teja} + Q_{aire-pino} + Q_{estante} + Q_{aire,r} + Q_{p_{total}} + Q_{se_{total}} + Q_{e_{agua-teja}}) \times Fs \quad (2)$$

$$Q_{TOTAL} = 202,96 \text{ kW}$$

2.1.4.2. Parámetros y diseño del intercambiador de calor

Numero de tubos N_T del intercambiador de calor

Para el cálculo del número de tubos se utiliza la ecuación 3.

$$N_T = \frac{A_s}{\pi \cdot \phi_{ext} \cdot L} \quad (3)$$

$$A_s - \text{Área de transferencia de calor} = 14,36m^2$$

$$\phi_{ext} = 42,2mm$$

$$L = 3500mm$$

$$N_T = 30 \text{ tubos}$$

Con el dato del área de transferencia de calor, el diámetro externo de tubos y la longitud se determina un banco de 30 tubos.

Distribución del banco de tubos

Por las condiciones de mejor eficiencia, la distribución de los tubos se considerara con un arreglo escalonado (ver Figura 14).

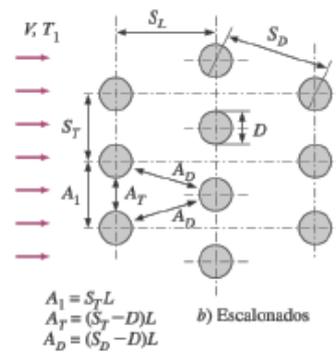


Figura 14. Configuración del banco de tubos de forma escalonada. Fuente: [7].

En la Tabla 9 podemos observar de manera resumida todas las dimensiones de la tubería a utilizar y medidas necesarias para la distribución del banco de tubos.

Tabla 9. Datos del banco de tubos para el intercambiador de calor. Fuente: Elaboración propia

Datos de la tubería	
ϕ_{ext}	42,2 mm
ϕ_{int}	31,75 mm
L	3500 mm
$S_T = S_L$	52,75 mm
S_D	58,9 mm

Coefficiente de transferencia de calor

Para este cálculo se utiliza los coeficientes de convección del aire y gases de combustión, entonces se lo calcula con la fórmula 4.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{air}} + \frac{1}{h_{gases}} \quad (4)$$

$$h_{air} - \text{Coef de convección del aire} = 215,3 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$h_{gases} - \text{Coef de convección del aire} = 12 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$U = 6,83 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

2.1.4.3. Eficiencia de la cámara de secado.

Para el cálculo de la eficiencia de la cámara de secado, se ha considerado la potencia calórica requerida para evaporar el agua contenida en los productos (ver ecuación 5).

$$\eta = \frac{Q_{cea}}{Q_s} \cdot 100 \quad (5)$$

$$Q_{cea} - \text{Potencia para evaporar el agua} = 3,69 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q_s - \text{Potencia suministrada} = 6,85 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\eta = 53\%$$

2.2. Costos para implementación de la cámara de secado

Para estimar el costo total de la cámara de secado se han considerado todos los elementos, maquinaria, mano de obra y equipos necesarios para su implementación (ver Tabla 10).

Tabla 10. Costos de implementación de Cámara de Secado.
Fuente: Elaboración propia.

Ítem	Descripción	Costo USD	
1	Cámara de Secado	Cimentación	585,01
		Paredes	1779,54
		Cavidades Ventilación	36,67
		Puerta	551,06
		Cimentación Techo	378,71
2	Elementos complementarios de la Cámara	Estantes	2081,66
		Deflector	119,42
3	Sistema de Calentamiento	Ductos	311,11
		Intercambiador	928,78
		Chimenea	134,79
4	Equipos de la Cámara de secado	Ventilador Axial DA-60010L-40	1200,00
		Ventilas	90,00

		Extractor Centrifugó ANZOLA BP-250	1185,00
TOTAL			9932,75

3. Resultados

Los gases de combustión que se emanan de los hornos artesanales de cocción de ladrillos y tejas, son altamente contaminantes y perjudiciales para el personal involucrado en la producción y la población aledaña; por lo tanto, con la finalidad de aportar con parte de la posible solución al problema, se ha diseñado una cámara de secado que cuenta con un sistema de extracción y transporte de gases de combustión a través de ductos hacia un banco de tubos, con los cuales mediante ventiladores se provoca el intercambio de calor en el interior de una cámara que cuenta con ciertas características y condiciones que posibilitan el secado de tejas, ladrillos o madera; lo que, en el caso que se llegase a implementar, representaría una buena posibilidad de aprovechar la energía emanada de los gases de combustión del horno para el secado de los productos, retener cenizas y sobre todo botar a la atmósfera gases de combustión con temperaturas más bajas que las que se están sacando por la chimenea en la actualidad.

A continuación, se presentan algunas características que fueron determinadas en el desarrollo de este proyecto y son importantes mencionar:

1. El deflector es el encargado de la circulación del flujo de aire caliente que se mueve hacia los estantes dentro de la cámara de secado.
2. Para aprovechar la mayor cantidad de calor se aplica una recirculación del aire caliente mediante toberas y para evacuar la humedad extraída de los materiales se utiliza ventilas de regulación.
3. Para evitar pérdidas de calor en el interior de la cámara, se ha diseñado paredes con ladrillo refractario y aislamientos que utilizan lana de vidrio y forros para puertas y cielo falso.
4. El cálculo de la eficiencia en la cámara de secado es relativamente alto en comparación de otros secaderos industriales. Se considera que el resultado se debe fundamentalmente a que se trata de una producción artesanal y el número de productos a secarse es reducido en comparación con un proceso industrial.
5. Para el cálculo de costos del secadero se han considerado todos los componentes

necesarios para la construcción, los cuales totalizan un valor aproximado de 10.000,00 dólares de los Estados Unidos de América

3.1. Conclusiones

El secado por convección forzada es el método más empleado en secaderos de madera ya que los elementos que intervienen en el proceso de acción son identificables y alcanzables debido a que se tienen resultados de aprovechamiento de calor y control de la velocidad del aire, temperatura de los gases, humedades de los materiales a secar, condiciones iniciales y demás parámetros seleccionados para la implementación del secadero.

Los gases de combustión que emanan las ladrilleras poseen un poder calorífico alto por lo que, si no se los aprovecha, resulta una pérdida de energía elevada. Estos gases pueden ser utilizados mediante una recirculación para el diseño de una cámara de secado.

Se utiliza dispositivos de extracción y conducción de los gases de combustión del horno artesanal hacia un intercambiador de calor, el cuál por sus características, sede la energía al aire circundante en el cuarto de secado. Se lo realiza de esta manera por cuanto los gases son altamente nocivos y sobre todo podrían traer partículas en suspensión (ceniza) que podrían contaminar en el caso que se esté secando tejas o ladrillos.

El diseño de la cámara de secado depende de las condiciones iniciales de temperatura ambiente, humedad relativa y de los materiales a secar, por lo tanto, el objetivo central será eliminar la humedad de los materiales teniendo en cuenta que se debe mantener la calidad superficial de las tejas y ladrillos.

3.2. 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.

4. Referencias

- [1] Á. M. Ortiz Matailo, A. S. Aucapiña Guamán, 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 secado para leña, tejas o ladrillos», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2021.
- [2] T. Mendoza Narváez, «Diseño de un sistema de secado artificial para la producción de la ladrillera La Victoria», B.S. thesis, Corporación Universitaria

Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia, 2000.

[3] R. D. Coyago Toapanta y D. J. Criollo Cajamarca, «Diseño térmico de un horno para secado de madera con una capacidad de 23 metros cúbicos al mes», B.S. thesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador, 2013.

[4] 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.

[5] X. E. Castells, *Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales: Reciclaje de residuos industriales*, Primera Edición. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, 2012.

[6] Airprotek, «Productos de ventilación», 2020. <http://airprotek.com.ec/> (accedido oct. 31, 2021).

[7] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa, Fundamentos y aplicaciones*, 4ta Edición. México DF.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2011. Accedido: jun. 15, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.passeidireto.com/arquivo/69295766/transferencia-de-calor-y-masa-4-ta-edicion-yunus-a-cengel-afshin-j-ghajar/2>