

DESARROLLO, CÁLCULO Y DISEÑO DE UN SECADERO DE ADOBES DE LADRILLOS MACIZOS

Rubén Ángel Spotorno, Facultad Regional Resistencia-UTN, rubenspotorno@yahoo.com
Juan José Pochettino, Facultad Regional Resistencia-UTN, pochettinojuan@hotmail.com
Oscar Alejandro Pasero, Facultad Regional Resistencia-UTN, oscar.a.pasero@gmail.com
Julián David Ohse, Facultad Regional Resistencia-UTN, ojuliand@gmail.com
Fabián Carlos García, Facultad Regional Resistencia-UTN, fabiancarlosgarcia@yahoo.com

Resumen: Se presenta el estudio y desarrollo de un secadero de adobes de una fábrica de ladrillos macizos. El secadero utiliza como fuente de energía para calentar el aire, los gases de combustión provenientes de los hornos de cocción y/o de un hogar. Se lograron obtener curvas representativas del proceso de secado para una temperatura del aire de ingreso al secadero de 55°C, logrando extraer 7518 kg de agua de los adobes durante un período de 60 horas. Se determinaron parámetros termodinámicos como humedad del adobe en base seca, cantidad de agua a extraerse en el proceso de secado, caudal másico de aire que ingresa al secadero y potencia calorífica para calentar el aire. Además, se calcularon y seleccionaron los diferentes componentes del secadero: ventiladores, economizador y hogar.

Palabras clave: *adobe, cálculo, diseño, secadero*

1. Introducción

El ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. En los primeros tiempos se comenzó elaborándolo en su forma cruda, que es el adobe. El uso del ladrillo se popularizó en el mundo conocido por los europeos gracias a que la técnica de producción resulta muy sencilla, como también la técnica de colocación. El ladrillo macizo constituye un elemento constructivo muy empleado en el mercado local e internacional por sus características mecánicas y estéticas. La importancia que ha adquirido el ladrillo a través de su historia lo ha colocado como un material indispensable en la industria de la construcción a nivel mundial. Muchas de las construcciones de albañilería que se realizan hoy en día tienen como componente básico al ladrillo, que en nuestro medio, es elaborado mayormente de arcilla. Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil manejo [1].

La fabricación de ladrillos macizos en el nordeste argentino se ve afectada durante el periodo de abril a setiembre, debido a que se extiende demasiado el proceso de secado, llegando a deteriorarse en el caso de lluvias y tormentas. La totalidad de las ladrillerías del Chaco, ya sean las de procesos de corte manual o mecanizado, necesitan demasiados días para lograr el secado óptimo del adobe, antes de ingresar al proceso de cocción del mismo. Este inconveniente y la gran demanda de este producto de gran importancia para la construcción de viviendas y edificios conllevan a la necesidad de reducir el tiempo de secado.

Actualmente a nivel mundial existen trabajos de investigación referidos a procesos de secado de adobes, pero la gran mayoría sobre ladrillos cerámicos. En cuanto al proceso de secado de adobes para la producción de ladrillos macizos existe bibliografía referida a las curvas de secado de Bigot [2], las que muestran las etapas de eliminación del agua dependiendo del tipo de arcilla utilizada. El G.I.T.E.A (Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas) dependiente de la Facultad Regional Resistencia, presentó los resultados

experimentales obtenidos del proceso de secado de adobes de arcilla de la zona de Makalle (Chaco) [3].

Desde el punto de vista social, la mayor cantidad de personas que se desempeñan en la actividad ladrillera son de bajos recursos, por lo que, cuando existe baja radiación solar o lluvias se extiende demasiado el proceso de secado de los adobes y por consiguiente se paraliza la cocción de los mismos, lo cual conlleva a desmejorar la economía de estas personas por la disminución de la producción de ladrillos. Por lo tanto, la demanda de este importante material de construcción se ve influenciado por los motivos indicados anteriormente. La implementación del sistema de calentamiento de aire para el secado de los adobes permitiría desarrollar las actividades de las ladrillerías sin interrupciones, logrando de esta forma aumentar la productividad y como consecuencia mejorar el ingreso económico de los operarios.

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos del cálculo y diseño de un secadero de adobes, que utiliza como fuente principal de energía los gases residuales provenientes de los hornos de cocción de los adobes y una fuente de energía alternativa, mediante la utilización de los gases de combustión provenientes de un hogar, que utiliza como combustibles costaneros de aserraderos o leña.

2. Materiales y Métodos

El secado de un cuerpo arcilloso crudo es el mecanismo por el cual se elimina el agua que lo humedece, el cual es necesario para que la cocción del adobe se realice adecuadamente. El mecanismo de secado es muy similar para los distintos cuerpos arcillosos. No obstante, a una determinada velocidad de secado, los efectos que se generan sobre cada cuerpo, pueden ser muy diferentes entre cada uno de ellos, dependiendo de su naturaleza química y cristalográfica, de su granulometría y de su historia previa antes de llegar al secadero. La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa [2].

Cabe aclarar que el estudio y desarrollo del secadero se realizó para una capacidad de 6000 adobes que poseen las siguientes dimensiones: largo: 0,26 m, ancho: 0,15 m y espesor: 0,057 m, denominado comercialmente ladrillo de 20.

3. Resultados y Discusión

Para realizar el estudio energético necesario para el desarrollo del secadero, se debió calcular la cantidad de agua extraída del mismo durante el proceso de secado de los adobes, con lo cual se realizaron curvas representativas de secado que se muestran a continuación.

En la figura 1 se observa la gráfica de las curvas de humedades absolutas de entrada y salida del aire en el secadero en función del tiempo. Se puede apreciar que en las primeras horas de secado las curvas se encuentran significativamente separadas y a medida que transcurre el tiempo las mismas tienden a juntarse (finalización del proceso de secado de los adobes).

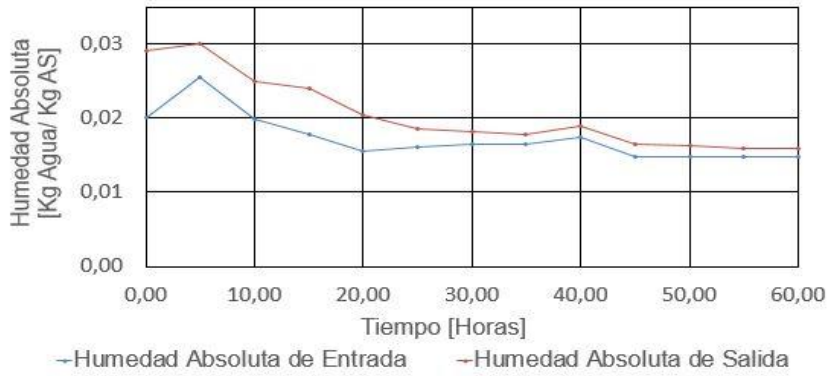


Figura 1. Humedades absolutas del aire
Fuente: elaboración propia

La gráfica de la figura 2 muestra el comportamiento de las temperaturas de entrada y salida del aire en el secadero. Se observa que para una temperatura de entrada del aire de 55°C, al cabo de 60 horas la temperatura de salida del aire se aproxima a la de entrada, indicando que el proceso de secado de adobes finaliza.

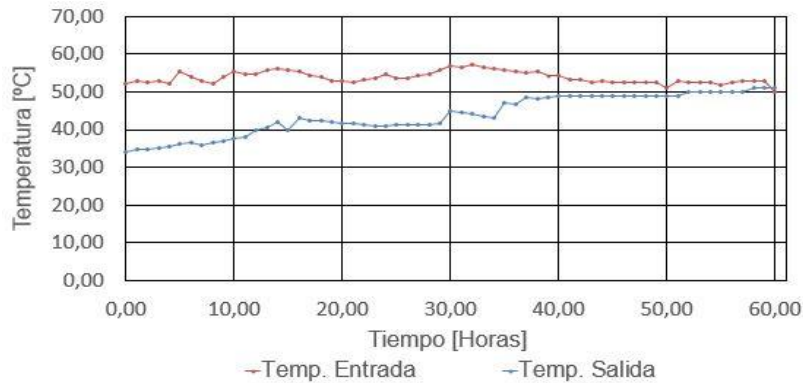


Figura 2. Temperaturas del aire
Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se observa la pérdida de peso de los 6000 adobes en función del tiempo. Se puede apreciar que, al cabo de 60 horas de secado, la pérdida de peso alcanza un valor aproximado de 7518 kg, lo que representa una pérdida de agua de 1253 gramos cada adobe.

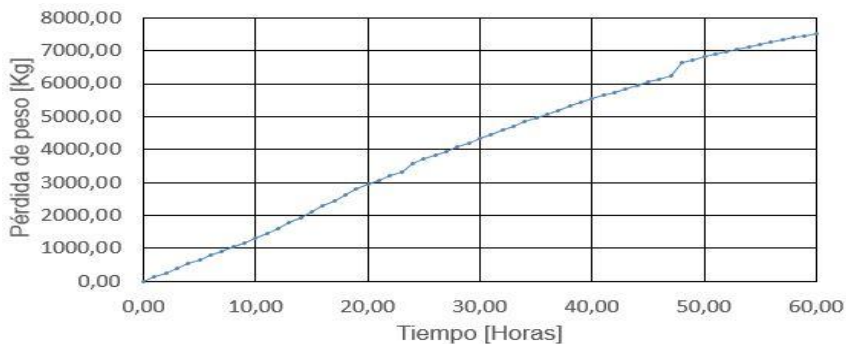


Figura 3. Pérdida de peso de los adobes
Fuente: elaboración propia

La figura 4 muestra el proceso de secado de los adobes. En el eje de ordenada se representa la humedad en base seca, logrando apreciar que, al finalizar el proceso de secado, el adobe

concluye con un 12 % de humedad al cabo de un periodo de 60 horas, condición óptima para ingresar al horno de cocción.



Figura 4. Proceso de secado de los adobes
Fuente: elaboración propia

Determinación de parámetros termodinámicos

En la figura 5 se observa un esquema del proceso de secado de los adobes. El proceso 1-2 es el calentamiento del aire realizado en el economizador, mediante la utilización de los gases residuales de combustión procedentes de los hornos de cocción o del hogar, en el caso que no se efectúe la cocción de los adobes. El proceso 2-3 es la circulación del aire caliente a través del secadero, mientras que $(m + w)$ es el adobe al inicio del proceso de secado y m_{s1} el adobe deshidratado.

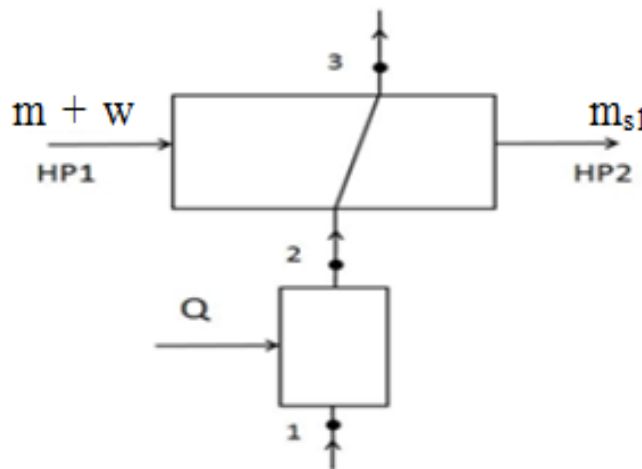


Figura 5. Esquema del proceso de secado
Fuente: elaboración propia

Se presenta el cálculo de parámetros termodinámicos, que permiten seleccionar los componentes del secadero de adobes, que se mencionan a continuación: ventilador centrífugo y axial, economizador y hogar.

Humedad del adobe en base seca

La cantidad de agua con que finaliza el adobe después del proceso de secado, en referencia con la humedad en base seca, se determina mediante la fórmula (1).

$$HP_2 = \frac{m_{s1} - m_s}{m_s} \quad (1)$$

Donde:

HP₂: Humedad del adobe al finalizar el proceso de secado

m_s: Masa del ladrillo (kg)

m_{s1}: Masa del adobe seco (kg)

Se considera masa del ladrillo, al adobe libre de humedad, que se retira del horno de cocción.

Cantidad de agua que debe extraerse

$$\Delta_x = \frac{m_{th} - m_{s1}}{t} \quad (2)$$

Donde:

Δ_x: Cantidad de agua a extraerse en el proceso de secado (kg/h)

m_{th}: Masa total húmeda (kg)

m_{s1}: Masa del adobe seco (kg)

t: Tiempo (h)

Caudal másico de aire que debe ingresar al secadero

$$\dot{m}_a = \frac{[\Delta_x]}{(x_3 - x_1)} \quad (3)$$

Donde:

m_a: Caudal másico de aire seco (kg/h)

(X₃ - X₁): Diferencia de humedad absoluta del aire entre la salida y la entrada al secadero (kg_{agua}/kg_{aire seco})

[Δ_x]: Cantidad de agua a extraer de los adobes (kg_{agua}/h)

El caudal volumétrico de aire que debe ingresar al secadero se determina mediante la fórmula (4).

$$\dot{V} = \dot{m}_a \cdot v \quad (4)$$

Donde:

Ṡ: Caudal volumétrico de aire (m³/h)

m_a: Caudal másico de aire seco (kg/h)

v: Volumen específico del aire (m³/kg)

Potencia calorífica para calentar el aire

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

Donde Q_a es la potencia calorífica en (kW), C_p es el calor específico del aire en (kJ/kg K), T₁ es la temperatura del aire exterior al ingreso del economizador en (K), y T₂ es la temperatura del aire a la salida de la cámara de mezcla en (K). Ver figura 12.

Desarrollo del secadero de adobes

Considerando la disposición de los adobes en el interior del secadero, se determinó el volumen necesario que nos permitió el diseño del mismo. A continuación se observa un croquis y un esquema de los componentes del secadero.

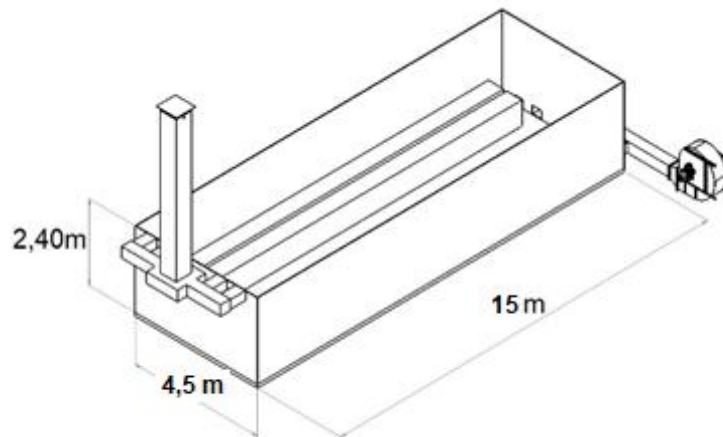


Figura 6. Dimensiones del secadero

Fuente: elaboración propia

En la figura 6 se muestra un croquis del secadero con sus respectivas dimensiones.

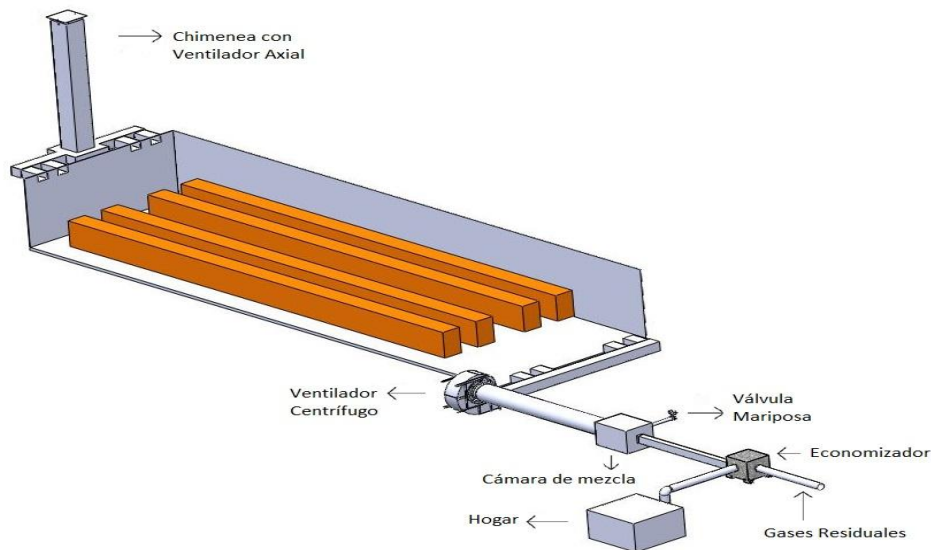


Figura 7. Componentes del secadero

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la figura 7 los diferentes componentes del secadero de adobes: economizador, ventilador centrífugo, hogar, cámara de mezcla y chimenea con ventilador axial. Con la finalidad de desarrollar un secadero con bajas pérdidas de energía al exterior, se adoptó para el diseño de la cámara de secado, materiales con las siguientes características:

Para la construcción de paredes y techo se utilizaron paneles denominados comercialmente PANELplac, que consiste en paneles termo-aislantes de 0,40 m de ancho por el largo a medida de cada faldón, conformados por cara exterior de chapa de acero (B) BWG galvanizada de Siderar primera calidad espesor 0,00041 m, un núcleo termo-aislante (A) de

poliestireno expandido EPS de 0,05 m de espesor y una cara interior (C) de MDF símil madera de 0,005 m de espesor (terminación natural) apta para pintar o barnizar. Las características particulares de esta cubierta se pueden observar en [4]. Se optó por este sistema ya que permite generar módulos (secaderos) acorde a las dimensiones que se necesitan. En la figura 8 se observa la gráfica del módulo de PANELplac utilizado para el desarrollo del secadero de adobes.

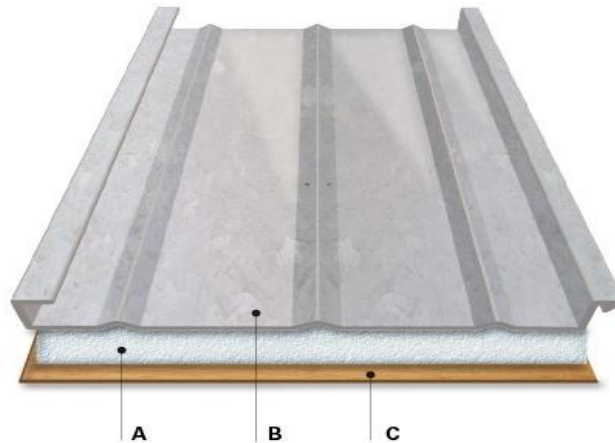


Figura 8. Módulo de PANELplac
Fuente: elaboración propia

Simulación de la circulación del aire caliente en el secadero

En el presente trabajo se realizaron simulaciones de los perfiles de velocidad y temperatura, para observar el comportamiento de la circulación del aire caliente en el secadero. Las simulaciones se realizaron mediante el complemento FlowSimulation del programa SolidWorks 2016 y se establecieron las siguientes condiciones:

Se realizó la configuración de las dimensiones del volumen de control. Como condiciones de borde se establece que las paredes, techo, piso y ductos son adiabáticos. Para subdividir el volumen de control se consideró un mallado intermedio. La figura 9 muestra la simulación del perfil de velocidad de circulación del aire caliente.

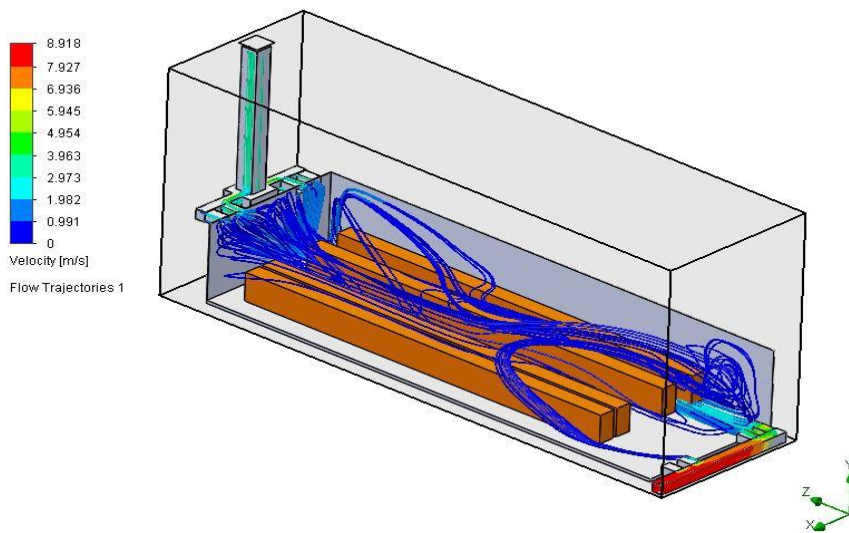


Figura 9. Simulación del perfil de velocidad
Fuente: elaboración propia

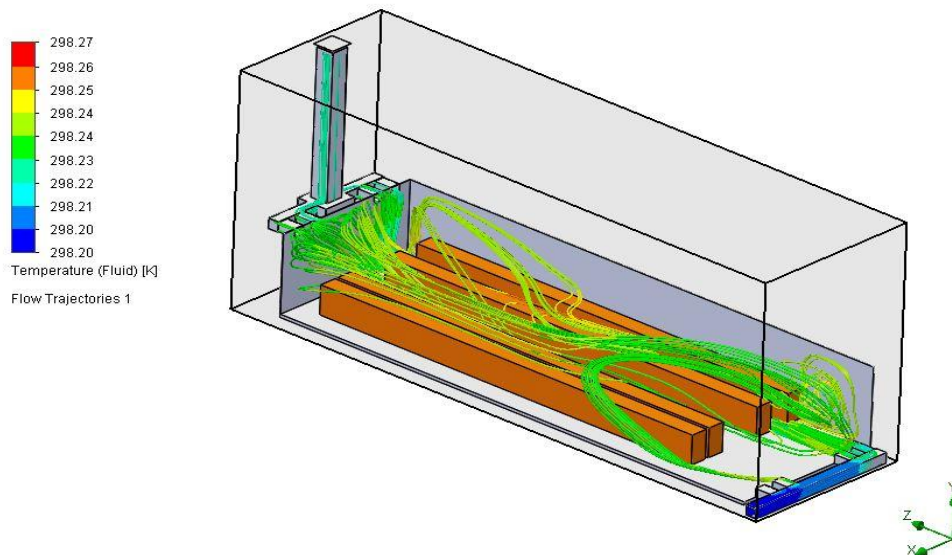


Figura 10. Simulación del perfil de temperatura
Fuente: elaboración propia

La figura 10 muestra la simulación del perfil de temperatura del aire en el interior del secadero.

Selección de los ventiladores

El aire caliente que sale del economizador necesariamente debe ser impulsado a través de los adobes para producir el secado de los mismos. Un ventilador centrífugo impulsa el aire caliente que circula a lo largo del secadero, de manera que en el otro extremo del mismo se produce la salida al exterior mediante la aspiración producida por un ventilador axial colocado en la chimenea.

Considerando el caudal volumétrico de aire (fórmula 4), que debe circular por el secadero de adobes, se seleccionó un ventilador centrífugo marca GATTI con las siguientes características: Modelo RA390 (112M, 5.5 CV) [5].

El aire caliente que pasa a través de los adobes durante el proceso de secado se extrae del secadero mediante una chimenea y un ventilador axial marca GATTI con las siguientes características: Modelo KRT450/2-25° 2 aspas 2 CV [5].

Cálculo del Hogar

Para el funcionamiento del mismo se emplea costaneros de aserraderos y/o leña. Se determinó la masa total de leña mediante la fórmula (6), para calentar el aire durante el proceso de secado que tiene una duración de 60 horas.

$$\dot{m}_l = \frac{\dot{Q}_a}{P_{cl} \cdot \eta} \quad (6)$$

Donde:

\dot{m}_l : Masa de leña (Kg/h)

\dot{Q}_a : Potencia calorífica necesaria para calentar el aire (kJ/h)

P_{cl} : Poder calorífico de la leña (kJ/kg)

η : Rendimiento del Hogar

Selección del economizador

El proceso de secado de los adobes en el interior del secadero se realiza utilizando aire caliente. Si utilizáramos los gases de combustión del horno de cocción para realizar el proceso de secado, se pondría en riesgo la salud de los operarios que trabajan en el interior del secadero. Por tal motivo el aire exterior se calienta mediante un economizador, por donde circulan los gases de combustión del horno de cocción y de esta manera el aire caliente se introduce en el secadero de adobes.

La selección del economizador se fundamenta teniendo en cuenta la potencia calorífica determinada en la fórmula (5). En la figura 11 se observa el economizador seleccionado, y a continuación las características del mismo: CRMTC/4 225/090 0,55KW LG 270 230/400V 50HZ VE [6].



Figura 11. Economizador
Fuente: elaboración propia

Esquema funcional del sistema de calentamiento del aire

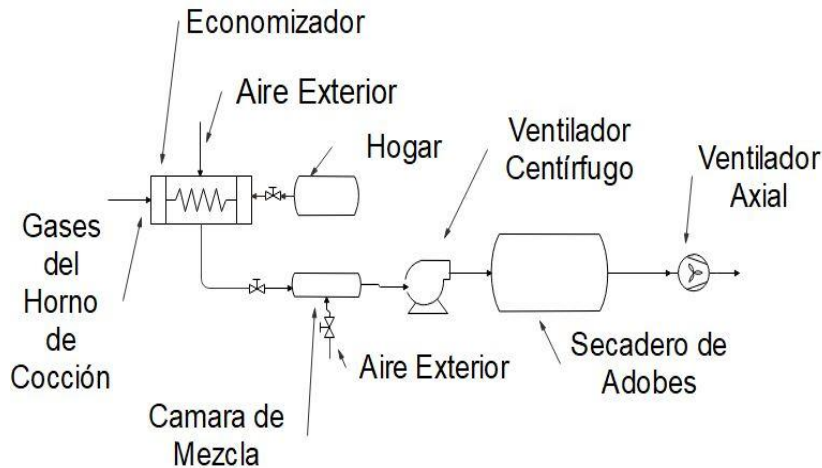


Figura 12. Esquema de calentamiento del aire
Fuente: elaboración propia

En la figura 12 se observa el esquema de calentamiento del aire que se utiliza para el proceso de secado de los adobes. Cuando se realiza el proceso de cocción de los adobes, los gases residuales procedentes de los hornos de cocción se los hace circular por el economizador, produciendo de esta manera el calentamiento del aire. Cuando el proceso de cocción de los adobes se encuentra interrumpido, el proceso de calentamiento del aire se realiza utilizando los gases de combustión provenientes de un hogar donde se quema costaneros de carpinterías o leña. De esta forma se logra realizar el proceso de secado de los adobes sin interrupciones.

Análisis energético utilizando los gases residuales de combustión y/o hogar

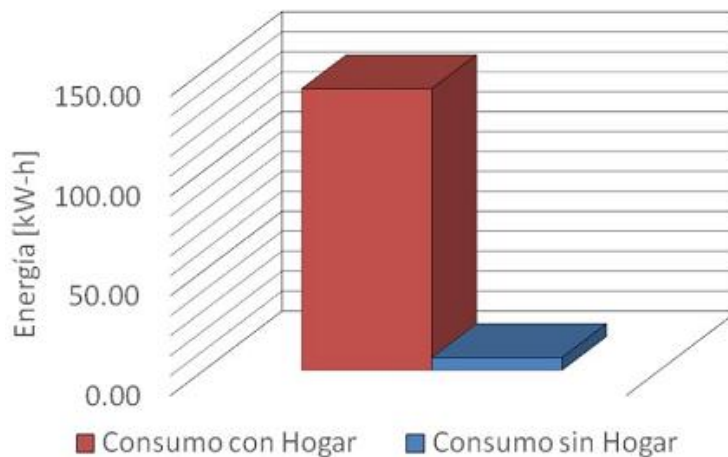


Figura 13. Análisis energético
Fuente: elaboración propia

La gráfica de la figura 13 muestra el análisis energético cuando se utiliza los gases residuales provenientes de los hornos de cocción y la utilización del hogar cuando no se realiza el proceso de cocción de los adobes. Se observa que cuando se utiliza los gases residuales la energía consumida por el sistema de secado alcanza un valor de 6,34 kW-h, mientras que cuando se emplea los gases provenientes del hogar la energía consumida es de 139 kW-h.

4. Conclusiones

Se realizó el cálculo y diseño de un secadero de adobes de ladrillos macizos, utilizando los gases residuales del horno de cocción para calentar el aire y un hogar cuando no se realiza el proceso de cocción de los adobes.

Se logró determinar que utilizando aire a una temperatura de 55°C en el secadero, el tiempo total del proceso de secado es de aproximadamente 60 horas. La cantidad de agua extraída de los 6000 adobes durante el proceso de secado es de aproximadamente 7518 kg, lo que representa una pérdida de agua de 1253 gramos cada adobe.

Mediante el cálculo de la cantidad de agua extraída de los adobes, se logró determinar la potencia calorífica necesaria para calentar el aire a utilizar en el secadero.

Cuando el proceso de secado de los adobes se realiza con aire a una temperatura de 55°C, al cabo de 60 horas, los adobes concluyen con un 12 % de humedad referida a base seca.

Se realizó el proceso de simulación utilizando el programa SolidWorks 2016, para determinar el perfil de velocidad y temperatura del aire caliente que circula por el secadero de adobes.

Cuando se utiliza los gases residuales, la energía consumida por el sistema de secado alcanza un valor de 6,34 kW-h, mientras que cuando se emplea el hogar la energía consumida es de 139 kW-h. Por lo tanto, el empleo de los gases de combustión para calentar el aire representa una reducción en el consumo del 95,4% de la energía total utilizada en el sistema de secado, en comparación cuando se utiliza los gases provenientes del hogar para realizar el mismo requerimiento. Se realizó la selección del ventilador centrífugo y axial, economizador y se calculó el hogar, componentes importantes para el funcionamiento del secadero de adobes.

Cabe aclarar que la ladrillería de corte mecanizado SICAMAR S.A, ubicada en la localidad de Makalle (Chaco), posee una gran producción de ladrillos, presentando el inconveniente en el proceso de secado de los adobes. El G.I.T.E.A y la empresa mencionada firmaron un convenio marco y específico con la finalidad de resolver el problema de secado. Actualmente el G.I.T.E.A está elaborando un PDTS (Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social), con la finalidad de implementar el sistema de secado de adobes propuesto, en la ladrillería de la empresa SICAMAR S.A.

5. Referencias

- [1] MORENO, F. (1981). El ladrillo en la construcción. España: Ediciones CEAC.
- [2] <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.SECADO.pdf>.
- [3] SPOTORNO, R; POCHETTINO, J; FIGUEREDO, G; GARCÍA F. (2016). Ensayos experimentales del proceso de secado de adobe de arcilla de la zona de Makalle (Chaco). III Congreso Argentino de Ingeniería. Resistencia. Chaco. ISBN 978-950-42-0173-1.
- [4] <http://www.panelpac.com.ar>. Visitado 20/03/18.
- [5] <http://www.gattisa.com.ar>. Visitado 11/04/18.
- [6] <http://www.solerpalau.es>. Visitado 17/04/18.