

**ANALYSIS OF THE CURRENT SYSTEM OF A CLAY BLOCK DRYER AND AN  
IMPROVEMENT PROPOSAL****ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE UN SECADERO DE BLOQUES DE  
ARCILLA Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO**

**Ing. Daniel Alonso Carrillo Carvajalino , MSc. María Angélica Acosta Pérez  
MSc. Eder Flórez Solano**

**Universidad Francisco de Paula Santander - Sede Ocaña.**

Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Ingap.  
Vía Acolsure, Sede el Algodonal - Ocaña, Norte de Santander, Colombia.  
Tel.: +57 5690088 Ext. 212.  
E-mail: {dacarrilloc, maacostap, enflorez}@ufpso.edu.co

**Abstract:** In small and medium companies in the region of the province of Ocaña, processing of ceramic materials in the region, production processes are handmade and middle modernization respectively, as they have been maintained over time without applying mechanisms to develop processes technological. Therefore optimizing processes that make product development more efficient, reducing manufacturing losses is necessary. For this specific case, each of the processes used in the analysis and study in a brick's factory from the region, at the stage of improving the system of extraction of moisture within the chambers of artificial drying, and in which the largest output losses are presented. According to the analyzes performed both theoretical and simulation in this research, was presented an economic proposal to implement a mechanical or axial extractor, without altering the behavior of the variables that govern the system according to the drying curves or Bigot (temperature, relative humidity and contraction of the material).

**Keywords:** Clay, plasticity, shrinkage, annealing, relative humidity, Bigot curves.

**Resumen:** En las pequeñas y medias empresas de la región de la provincia de Ocaña, procesadoras de materiales cerámicos de la región, los procesos productivos son artesanales y de mediana tecnificación respectivamente, ya que se han mantenido en el tiempo sin aplicar mecanismos que desarrollen procesos tecnológicos. Por tal motivo se hace necesaria la optimización de procesos que hagan más eficiente el desarrollo de productos, disminuyendo pérdidas de fabricación. Para este caso en específico, se describe cada uno de los procesos utilizados en el análisis y el estudio realizado en una ladrillera de las empresas de la región, en la etapa de mejoramiento del sistema de extracción de humedad dentro de las cámaras de secado artificial, y en la cual se presentan las mayores pérdidas del producto. De acuerdo a los análisis realizados tanto teóricos como por simulación en esta investigación se presentó una propuesta económica de implementar un sistema mecánico o extractor axial, sin alterar el comportamiento de las variables que rigen el sistema según las curvas de secado o de Bigot, (temperatura, humedad relativa y contracción del material).

**Palabras clave:** Arcilla, plasticidad, contracción, revenido, humedad relativa, curvas de Bigot.

## 1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Ocaña es muy rica en materias primas en especial en material arcilloso, es por este motivo que se han creado empresas productoras de ladrillos rústicos, bloques, filtros para la potabilizar el agua y pegantes para baldosas, pero los procesamientos son, con baja aplicación de tecnología. Para la fábrica de ladrillos específicamente de bloques, en donde existen varias etapas desde la extracción de la materia hasta el producto terminado que es el bloque, se presenta, un problema en la fase de secado. El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de dar solución a una problemática que es de carácter importante en el proceso productivo como lo es el proceso de secado artificial de bloques, en donde se presentan muchas pérdidas del producto, porque no se extrae correctamente la humedad y al producto se le produce un revenido el cual hace que cuando se realice la fase final que es la quema del bloque, éste, se deteriore por la alta humedad con la que entra a cocción. En este proyecto se considera, el estudio previo de las propiedades de los materiales sobre los que se trabajó, también se realizaron ensayos para determinar la curva óptima de secado bloques.

Los parámetros medidos permitieron entender los factores que hacen de esta etapa un proceso delicado y trascendente en el transcurso de fabricación debido a las temperaturas y humedad a extraer dentro del secadero artificial. La identificación de los factores se logró con pruebas realizadas dentro de la planta física de la empresa y los laboratorios de la UFPSO.

Como la aplicación de nuevas tecnologías fue una de las principales necesidades que se identificó en su momento; La *Ladrillera Sigma Ltda.* hizo parte de esta estrategia presentando una propuesta para la realización de un sistema de monitoreo de las etapas de secado y cocción, además de la automatización de los hornos tipo Stocker, dicha propuesta fue seleccionada para su financiación mediante la modalidad de cofinanciación. (Hernández, E.; Díaz, J. L., y Pinzón, O., 2011).

Se realizaron visitas a planta para evaluar el control inicial ejercido en cada uno de los procesos de secado y cocción, esto con el fin de generar posibles mejoras al sistema. Se realizaron actividades como: identificación y cuantificación de las condiciones iniciales de operación en cada una de las etapas de los procesos de secado y cocción, y elaboración de un plano digitalizado de

la distribución de hornos y secaderos para la adecuación del sistema a implementar. (Sánchez, J.; Gelves, J., y Ramírez, R. P., 2012).

Al final se presenta una propuesta para mejorar esta fase del proceso de fabricación del ladrillo manteniendo la estructura del secadero pero si, anexando elementos que mejoren la extracción de la humedad, con muy bajo costo, para obtener productos de buena calidad pero que reduzca el tiempo de quema.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó un reconocimiento al proceso de fabricación de la empresa, además, se escucharon las debilidades presentes y las fallas en cada fase del proceso e cabo diversos ensayos los cuales nos ayudaron a entender la situación actual de la empresa, para lograr las situaciones deseadas y satisfacer las necesidades de producción de la empresa. Estos ensayos se realizaron en los laboratorios de la empresa con los equipos existentes para determinar el comportamiento ideal del proceso contra el real y establecer parámetros que conlleven al mejoramiento de esta línea.

Mediante los estudios a realizar se trató de plasmar de forma clara y concisa la humedad, consistencia, contracción y tiempo ideal de secado del bloque de arcilla.

El proceso de secado de elaboración de bloques de arcilla de la empresa Ladrillera Ocaña, se lleva a cabo en tres etapas.

La primera etapa es la explotación, extracción y transporte de la materia prima hacia la planta física. También en esta etapa se sacan todos aquellos cuerpos extraños (trozos de madera, piedras de tamaño considerable) que perjudiquen el proceso de molienda de la arcilla.

En la segunda etapa recibe el nombre de producción donde primero se realiza la molienda para obtener una arcilla de granos pequeños que favorezca el proceso de amasado. Luego de realizado el amasado se transporta la pasta por medio de bandas transportadoras hacia la extrusora donde dicha pasta por una matriz de bloque número cinco y se obtiene el bloque terminado en esta etapa.

La tercera etapa abarca el secado y quema de bloques. Después del proceso de extrusión el

bloque es llevado a los patios de secado natural donde reposan 48 horas. Luego son transportados a la cámara de secado artificial donde permanecen 12 horas.

Después de las etapas de secado los bloques son llevados al horno de cocción que es la última etapa del proceso de fabricación del bloque con una duración de tres días para salir al mercado. Después de conocer el proceso de elaboración de bloques, la investigación se enfocó en el secado artificial del producto, y los parámetros que rigen este proceso son: temperatura y humedad relativa en el interior de la cámara y la velocidad del aire que suministran los ventiladores axiales a los estantes que contienen los bloques.

Para la determinación de cada uno de los factores que se presentan en este proceso se divide el cuarto de secado en tres zonas como es muestra en la figura 1, para realizar las respectivas comparaciones de dichas zonas, debido a que es complejo determinar los puntos críticos del secado de bloques porque las condiciones que se presentan son drásticas y perjudiciales para la salud, también porque los defectos que se presentan no son en un lugar específico.

Las tres zonas son: zona de entrada (zona 1), zona de la mitad (zona 2), zona de la salida (zona 3).

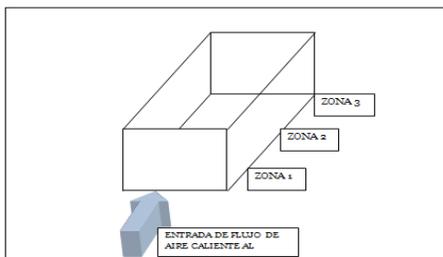


Fig. 1: Diagrama del secadero artificial

### 3. DISEÑO Y CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

La realización de pruebas y ensayos con bloques de arcilla permitió conocer el proceso y el comportamiento de cada una de las variables que intervienen en el proceso de secado como es la velocidad del aire, temperatura del cuarto de secado, tiempo y humedad relativa presente en esta etapa, como se puede observar en la figura 2, donde la humedad relativa que se retira del material es alta durante gran parte del proceso la cual afecta en el último proceso al que es sometido le bloque, en la figura 3, muestra una variable muy

importante ya que las temperaturas en la zona 1, y en la zona 2 el incremento en determinadas horas es muy elevada comparada con la zona 3, y en la figura 4, muestra que la humedad del material baja de una forma uniforme hasta llegar a la humedad ideal con que puede pasar a la etapa de cocción.

Estas actividades se realizaron para poder controlar cada uno de estos factores y hacer que este proceso sea eficiente en la empresa.

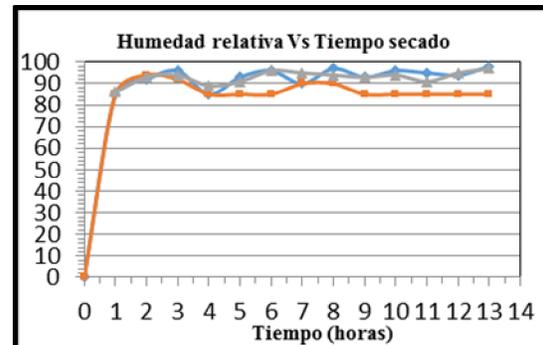


Fig. 2: Humedad relativa en función del tiempo de secado

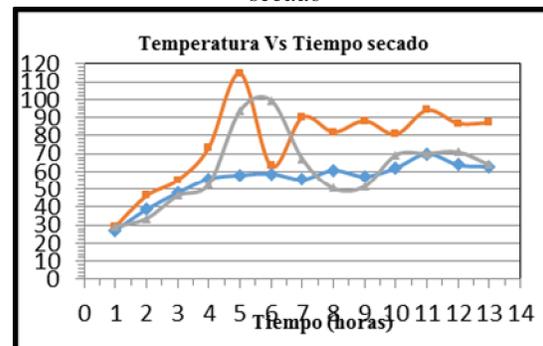


Fig. 3: Temperatura en función del tiempo de secado

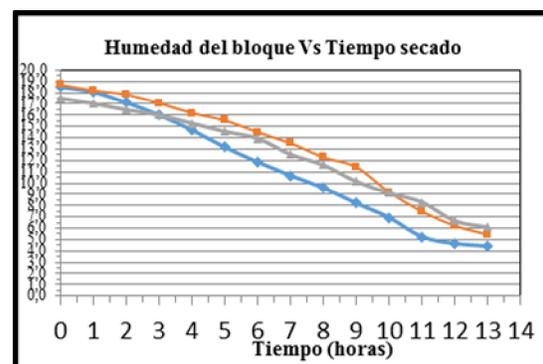


Fig. 4: Porcentaje de humedad en función del tiempo de secado.

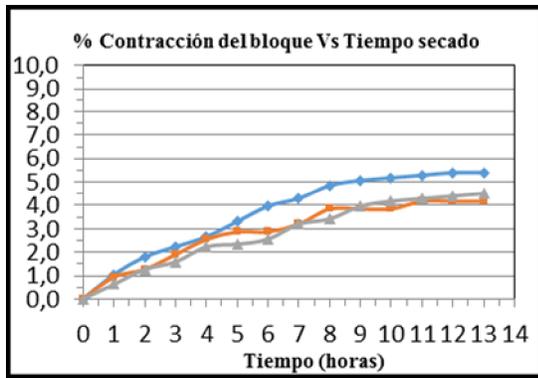


Fig. 5: Porcentaje de contracción en función del tiempo de secado.

### 3.1 Condiciones de producción de bloques por secadero

- Secadero para 8400 bloques/día.
- Bloque en formato 20X9.5X30 cm.
- El bloque se embarca en estantes.
- Número de bloques por estante = 140
- Número total de estantes por secadero = 60
- Longitud total del secadero 38.8m

### 3.2 Cálculo térmico

Balace de materia:

$$m_i(u_2 - u_1) = m_{aire}(h_2 - h_1) + m_{H_2O}(h_2 - u_1) \quad (1)$$

Dónde:

$$m_{estantes} = 60kg * 60 \text{ estantes}$$

$$m_{estantes} = 3600kg$$

$$m_{cuartosecado} = 8400bloques \cdot 5737.65gramos / bloque$$

$$m_{cuartosecado} = 48196.3kg$$

$$m_i = (m_{estantes} + m_{cuartosecado}) \quad (2)$$

$$m_i = 3600kg + 48196.3kg$$

$$m_i = 51796.3kg$$

$$m_{H_2O} = (m_{bloqueentrada} - m_{bloquesalida}) N^{\circ}bloques$$

$$m_{H_2O} = (5737.65gr - 5096.39gr) 8400bloques$$

$$m_{H_2O} = 5386.58kg$$

$$m_i C_{p_{arcilla}} (T_2 - T_1) = m_{aire} C_{p_{aire}} (T_2 - T_1) + m_{H_2O} (h_2 - u_1) \quad (3)$$

$$m_{aire} = \frac{(6861973.824 - 11907950.81) kJ}{-138.69 kJ/kg}$$

$$m_{aire} = \frac{-5045977.81kJ}{-138.69 kJ/kg}$$

Entonces:

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{36385.75848kg}{1.0223 kg/m^3} = 35592.055m^3$$

### 3.3 Cálculo del calor sensible

Se calculó el calor sensible del bloque debido a que se le suministra calor por lo cual este aumenta su temperatura.

$$Q_s = m_{bloque} C_p \Delta T \quad (kJ) \quad (4)$$

$$Q_s = 1995326.80 kJ$$

### 3.4 Cálculo del calor latente.

Se determinó el calor latente de la masa de arcilla.

$$Q_{latente} = m_{H_2O} h_{fg} \quad (5)$$

$$Q_{latente} = 12540173.7 kJ$$

### 3.5 Calor útil en la cámara de secado.

El calor útil es aprovechado por el material, y es la suma del calor sensible y el calor latente.

$$Q_{util} = Q_s + Q_{latente} \quad (6)$$

$$Q_{util} = 1995326.80 kJ + 12540173.7 kJ$$

$$Q_{util} = 14535500.5 kJ$$

### 3.6 Parámetros para el acondicionamiento para simulación

Las simulaciones se realizaron teniendo en cuenta el efecto térmico y el eólico en la herramienta SOLIDWORKS que la UFPSO con licencia dispone, incluyendo las algunas variables analizadas y otras que no eran posible analizar con los instrumentos de medición, como se refleja en las figuras 6, 7, 8 y 9.

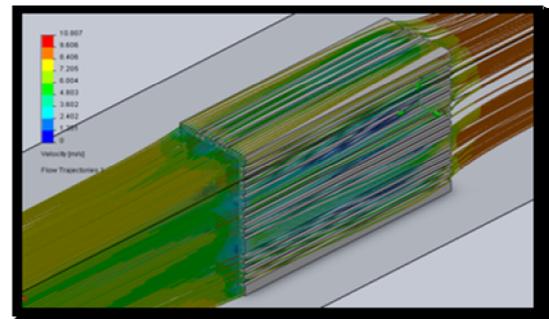


Fig. 6: Velocidad del fluido en la trayectoria del flujo

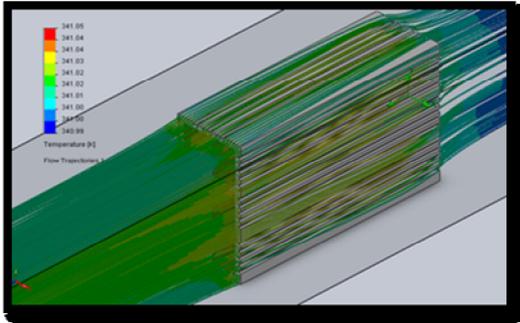


Fig. 7: Temperatura del flujo en la trayectoria

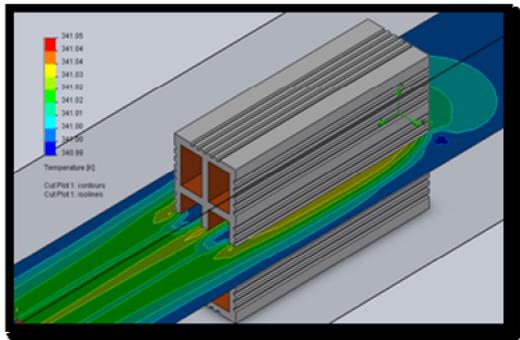


Fig. 8: Temperatura en el plano medio del bloque

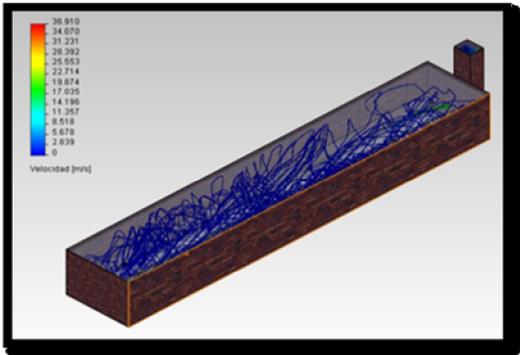


Fig. 9: Comportamiento del aire en el cuarto de secado

### 3.7 Realizar una propuesta de mejoramiento en el proceso de secado de bloques

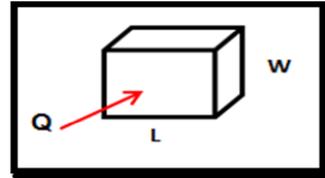
Debido a que el sistema de extracción de humedad actual de los secaderos de la empresa Ladrillera Ocaña no cumple su función, y alterar la estructura actual de los secaderos para realizar un rediseño, tiene un elevado costo se optó por la idea de realizar un estudio que permitiera la selección de un sistema mecánico de extracción de humedad para mejorar las condiciones actuales del secado.

### 3.8 Sistema de extracción

Para la selección del sistema de extracción se tiene en cuenta en donde se presenta la mayor cantidad

de humedad posible, la cual se determinó a la tercera hora del proceso de secado artificial.

En la figura 10, muestra el sistema de extracción seleccionada conocido como tipo de campana o cabina, teniendo en cuenta la comodidad de la instalación y una fácil construcción, teniendo en cuenta recomendaciones de Sodeca (SODECA, 2010).

Fig. 10: Sistema de extracción tipo cabina  
Fuente: Catálogo SODECA

$$Q = (2.5 \text{ m/s})(0.35 \text{ m})(0.31 \text{ m})$$

$$Q = 0.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal es mayor que el generado por el secado de los productos, luego se garantiza que se extraerá la mayor cantidad de aire húmedo posible.

### 3.9 Pérdidas en el ducto de humedad

La ruta crítica es la sección más larga, que es la que presenta mayores pérdidas de presión. Estos tramos tienen las mismas secciones transversales y por ende las mismas velocidades de flujo.

$$h_L = f \cdot \frac{l}{D_h} \left( \frac{v}{1.289} \right)^2 \quad (7)$$

### 3.10 Pérdidas por accesorios

$$P = K \cdot \left( \frac{v}{1.289} \right)^2 \quad (8)$$

$$P_{total} = 15.88 \text{ Pa} + 14.7 \text{ Pa} + 1.3 \text{ Pa} + 2.92 \text{ Pa} + 0.39 \text{ Pa}$$

$$P_{total} = 39.02 \text{ Pa}$$

### 3.11 Parámetros de selección del ventilador de extracción

$$Q = 0.27 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P_e = 39.02 \text{ Pa}$$

El tornillo sin fin es diseñado como un tornillo de potencia.

Comentarios finales donde se resumen y se puntualiza sobre los aportes más significativos del trabajo.

#### 4. CONCLUSIONES

De los ensayos realizados a los materiales provistos por la empresa, se obtuvo la curva de secado característica para el producto, donde se puede definir el tiempo de secado, entre 10 y 12 horas, con el fin de manejar un porcentaje de humedad mínimo del 5%, permitiéndonos así fijar los valores de referencia de humedad de material que entran al horno.

Según los cálculos realizados se pudo concluir que para la extracción de humedad dentro del túnel de secado se pueden utilizar varios métodos, pero los que más se adaptan a las necesidades de diseño, construcción y mantenimiento; son sistemas de extracción y deshumidificadores que van a cumplir con la misma función.

Según el estudio realizado al sistema de secado actual de la empresa Ladrillera Ocaña se encontró fallas como alto porcentaje de humedad relativa dentro del cuarto de secado debido a que estos no cuentan con un sistema de extracción de humedad y las altas temperaturas que intervienen en el proceso forzando el secado del material.

El sistema de extracción mecánico se seleccionó teniendo en cuenta los cálculos realizados con base a las recomendaciones dadas sobre estos sistemas. Se toma un equipo con una capacidad mayor para garantizar que se realice la extracción sin ningún inconveniente por cual situación.

#### REFERENCIAS

- Fernández A, Marcelino. *Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos*. Ed. Laboratorio técnico colombiano.
- Olivares R, John, Leonardo. *Diseño, cálculo y aplicación de un secadero para baldosas cerámicas*. Trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. Ingeniería mecánica, San José de Cúcuta, 2006, pág. 81
- Sotelo A, Gilberto. *Hidraulica General*. 2 ed. Mexico: Limusa S.A, 1997. pág. 561. Vol. 1.
- Mott, Robert L. *Mecanica de Fluidos*. 4 ed. Mexico DF: Pearson Educacion, 2006. pág. 644.
- Cengel, Yunes A. *Termodinámica*, 5 Ed., México, Mc Graw Hill, p885.
- Cengel, Yunes A. *Transferencia de calor y masa*, 3 Ed, ;México, Mc Graw Hill, pág. 890.
- Sánchez, J.; Gelves, J., y Ramírez, R. P. (2012). *Implementación de un sistema tipo scada para mejorar los procesos de secado y cocción de la ladrillera sigma Ltda*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, pp. 80-84.
- Hernández, E.; Díaz, J. L., y Pinzón, O. (2011). *Comparación de diferentes técnicas de control aplicadas al control de temperatura en tiempo real*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, Vol. 2, pp. 94-97.
- Tipos de Campanas de extracción. Disponible en internet en:  
[http://www.sodeca.com/amplia\\_img/sv6.html](http://www.sodeca.com/amplia_img/sv6.html)