

Diseño de un horno-túnel para planta procesadora de arcilla “Bella Azhuquita”

Ronald Vladimir Angüisaca Sarmiento*
Fran Reinoso Avecillas**

Resumen

La cocción es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación de cerámicas, ya que de ella depende gran parte de las características tecnológicas del producto. En este sentido, la presente investigación se enfoca en proponer alternativas de diseño para la cocción de arcilla. La investigación inicia con el diagnóstico de la situación actual de la planta, determinándose que el proceso de cocción que se utiliza ahora para la quema de elementos cerámicos no es adecuado.

Luego de analizar las tecnologías existentes para hornos, se ha optado por la implementación de un horno-túnel de vagone-
tas. En el diseño del horno se toma en cuenta las características físicas de la planta, empezando con el análisis térmico y continuando con el diseño mecánico de todos los elementos necesarios para las

* Ingeniero mecánico graduado en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) – Cuenca.
** Máster en Docencia Universitaria, ingeniero mecánico y profesor de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UPS – Cuenca.

vagonetas de cocción. Para la validación de resultados se ha modelado el sistema por medio de un código CFD.

Abstract

The cooking is one of the most important steps of the manufacturing process of ceramic, because it depends much of the technological characteristics of the product. In this sense, this research focuses on proposing design alternatives for firing clay. The investigation begins with the diagnosis of the current situation of the plant, and it is determined that the cooking process used at this time for the burning of ceramic elements is inadequate.

After analyzing existing technologies for furnaces; you opt for the implementation of a car tunnel kiln. In the furnace design taking into account the physical characteristics of the plant, starting with thermal analysis which will be subjected subsequently performs the mechanical design of all the elements necessary for cooking the wagons, for validation of results is modeled system by means of a CFD code.

Palabras clave: horno-túnel, procesadora de arcilla, sistema de cocción.

Keywords: tunnel-oven, clay processing system, cooking.

Introducción

El proyecto inicia con una revisión bibliográfica de las características generales del proceso de elaboración de la cerámica. Luego, se resume un estudio de la situación actual de funcionamiento de la planta, determinando sus fortalezas y debilidades, las cuales servirán como referente al momento de tomar decisiones. El diagnóstico revela, entre otras situaciones, la necesidad de implementar el sistema de horno-túnel con el fin de mejorar la produc-

ción y bajar los costos de fabricación. En los siguientes apartados se analizan diferentes tecnologías de horno-túnel y se realiza el diseño térmico y mecánico del sistema propuesto, además, se valida los resultados mediante un proceso de modelado. Finalmente, se presenta un estudio técnico-financiero del diseño realizado.

Materiales y métodos

El desarrollo de la investigación considera los tipos de tecnologías que se utilizan actualmente para la cocción y secado de arcillas. Considerando las diferentes tecnologías y los factores de selección para hornos-túnel como: espacio físico, temperaturas y tiempos de cocción, secado, tipo de combustible, etc., se estableció que la alternativa más viable es el horno-túnel de vagonetas.

Los procesos establecidos en la empresa para la fabricación de ladrillos y tejas son:

1. Recolección de materia prima. Se dispone de tres tipos diferentes de materiales (feldespato, caolín y sílice libre).
2. Laminado y separación de elementos no deseados. En esta etapa se ablanda la arcilla y también se separan los elementos más grandes e inservibles.
3. Mezclado y humectación de materiales. Se combinan y se transportan la materia prima, y se añade agua para obtener una pasta homogénea.
4. Laminado de grano fino. La pasta es sometida a un proceso de laminación y aplastamiento que genera una lámina muy delgada; el diseño inicia con la determinación de parámetros de secado para la arcilla y posteriormente el ladrillo.
5. Transporte de material e ingreso mecánico. Se transporta el material hacia la zona de extrusión para su posterior moldeo.

6. Extrusión, corte y carga. Se procede a extruir la mezcla con los dados adecuados, a cortarla y a cargarla en el horno para su cocción.

Proceso de cocción y secado

El método más común usado para secar la cerámica es por convección, en el cual el aire caliente se hace circular alrededor de la cerámica. El secado es un fenómeno de superficie, la humedad del agua debe migrar desde la parte interior del elemento cerámico hasta a la superficie, para su evaporación.

En la figura 1 se observa la curva característica de eliminación de agua en productos cerámicos.

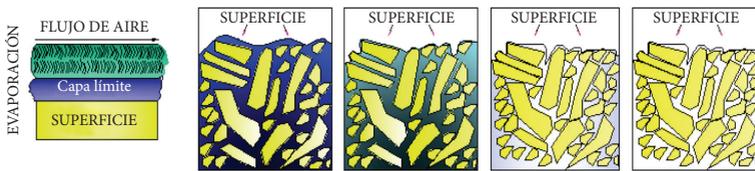


Figura 1. Evaporación del agua

La curva de Bigot (figura 2) representa la evolución de la contracción de secado en función de la pérdida de humedad, por ende, al presentarse este fenómeno, el peso del elemento cerámico disminuye.

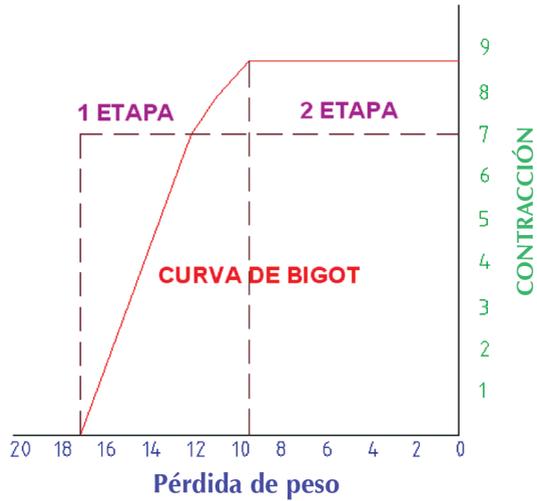


Figura 2. Etapas de eliminación del agua

El secado producirá la evaporación (figura 3) de agua para obtener una arcilla de interés cerámico en condiciones normales de secado. La velocidad de secado se expresa como la masa de agua evaporada por unidad de superficie en la unidad de tiempo.

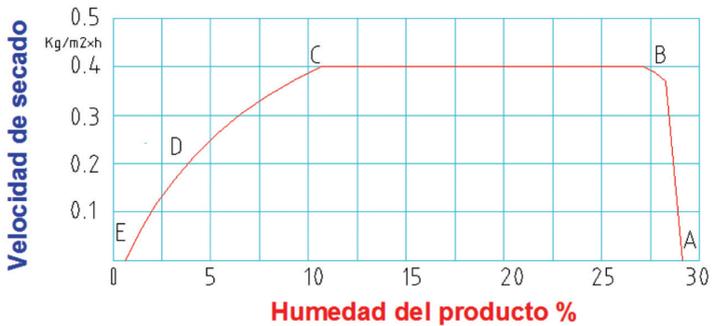


Figura 3. Velocidad de secado

Muchos defectos que se ponen de manifiesto a la salida del secadero tienen su origen en anteriores etapas del proceso productivo, que no tienen nada que ver con el secado. Así, una homogeneización¹ incorrecta de la pasta origina contracciones locales diferentes (más contracción donde había más humedad), que se traducen en fisuras.

Al iniciarse la quema, el elemento cerámico comienza a desprender el agua que no se ha evaporado en el proceso de secado, para conseguir un secado uniforme de toda la pieza se controla cuidadosamente la temperatura y la humedad, minimizando así tensiones, distorsión y agrietamiento.

Aproximadamente a partir de los 100° C el agua que se encuentra entre las plaquetas de arcilla (o agua intermolecular) se evapora y es la causa de la mayor parte de la contracción. Al ir aumentando la temperatura del horno, el crudo se encoge ligeramente y las partículas de arcilla comienzan a unirse entre sí, actuando como si fuera un pegamento. Para llegar a tener las características de rigidez y resistencia de una pieza cerámica, se la somete al proceso de cocción. Durante el calentamiento la arcilla se deshidrata, eliminando el agua que forma parte de la estructura cristalina de la caolinita y empieza la vitrificación o fusión.

Curva de cocción en un horno-túnel

Los puntos A, B, C y D (figura 4) corresponden a la dilatación que experimenta el material con el incremento de la temperatura. A esto se le llama curva dilatométrica². Una vez establecida la curva dilatométrica se traza un eje de simetría por el punto de máxima dilatación y se abate la primera parte de la curva; entonces

1 Es la cantidad –en porcentajes– de los distintos tipos de materiales utilizados en la mezcla y el estado correcto de mezclado entre ellas.

2 Procedimiento en el cambio dimensional de un cuerpo, al ser sometido a una variación de temperatura en un transcurso de tiempo.

se obtiene (en posición horizontal) la curva A'BCD: curva teórica de cocción, que permite saber en cuánto tiempo se puede incrementar la temperatura.

La conclusión es inmediata: durante las zonas de mayor dilatación (o contracción) la velocidad de calentamiento (o enfriamiento) debe ser menor. De hecho, la curva teórica de cocción obtenida A'BCD (que tiene las temperaturas en el eje de ordenadas) y la función tiempo (o longitud, en el eje de las abscisas), son en realidad pautas para ser introducidas en el horno real.

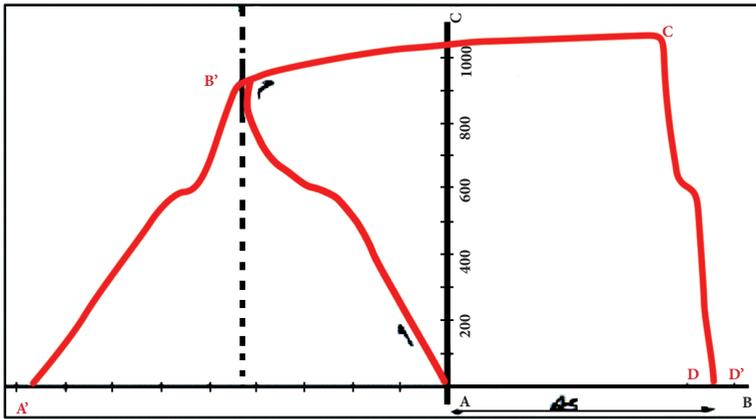


Figura 4. Curva de cocción

Resultados y discusión

Las formas, las características, las medidas y los posibles materiales del horno diseñado resultan claves para dimensionar correctamente el elemento. Las cámaras que conforman el horno se las ha diseñado tomando en cuenta las necesidades actuales y las características de la planta procesadora, analizando factores como la eficiencia, resistencia de los materiales, seguridad industrial, posibles riesgos y peligros que pudieran ocasionarse.

Longitud de horno-túnel

Para la determinación de las longitudes se aplicó la relación:

$$L = \left[\frac{M}{(300 \times 24)} \right] \left[1 + \left(\frac{a}{100} \right) \right] \left[\frac{z}{(F \times k)} \right]$$

Clave:

- (M) producción anual de piezas
- (a) porcentaje de desechos por cocción
- (z) periodo de cocción y enfriamiento en horas
- (F) área transversal de la sección de servicio
- (k) densidad de carga (piezas/m²)

Entonces, aplicando la relación, llegamos a determinar las longitudes adecuadas, donde:

$$L_{\text{Calentamiento}} = 23 \text{ m}$$

$$L_{\text{Cocción}} = 14 \text{ m}$$

$$L_{\text{Enfriamiento}} = 22 \text{ m}$$

Cámara de calentamiento

La temperatura en la cámara es de 100° C y la temperatura del calor al final del proceso está alrededor de los 750° C.

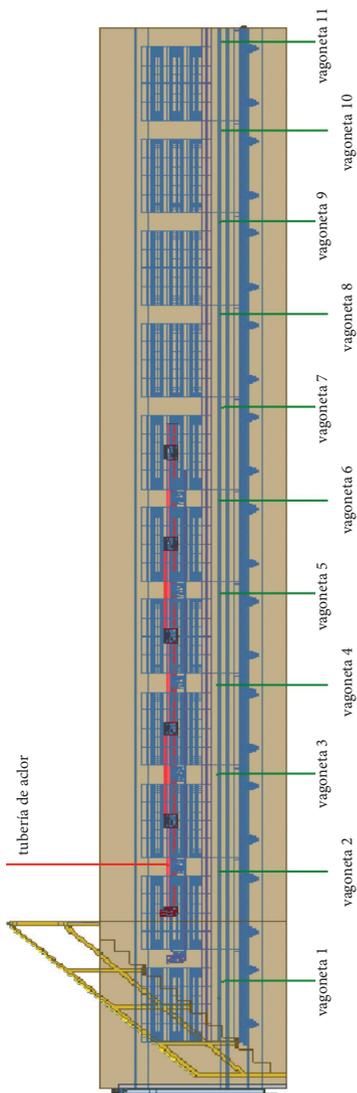


Figura 5. Vagonetas dentro de la zona de calentamiento

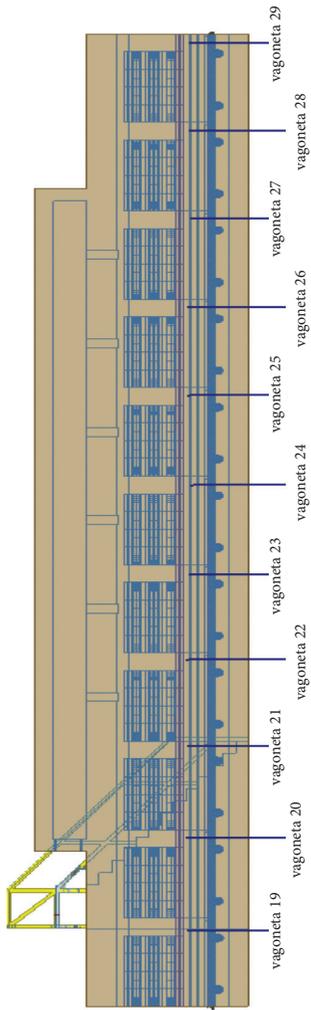


Figura 6. Zona de enfriamiento

Cámara de cocción

Después de realizar los cálculos en la zona de cocción, obtenemos que la temperatura al interior es de 950°C y en la parte exterior es de 35°C .

Cúpula de cocción

En la cúpula de cocción, las temperaturas son de 950°C al interior y 30°C en la parte exterior.

Zona de enfriamiento

Como ya se dijo, los problemas más frecuentes se dan a la salida del producto, específicamente en la zona de enfriamiento, por ello se deben analizar todas las variables inmersas en el diseño de esta zona. Así, los resultados obtenidos son: la temperatura de ingreso en la zona de enfriamiento es de 950°C , la temperatura de extracción del calor aproximada es de 400°C y la temperatura de salida de vagonetas es de 70°C .

Motor aspirador de calor

La potencia del motor aspirador de calor es de 7,36 Hp (5489,87 W).

Vagoneta

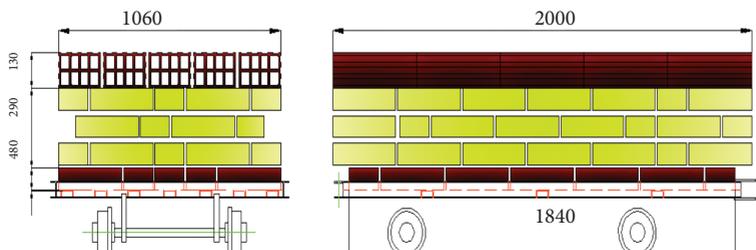


Figura 7. Vagoneta

La vagoneta diseñada tendrá las siguientes características:

Longitud vagoneta: 2 m

Ancho vagoneta: 1,6 m

Altura vagoneta libre: 0,504 m

Superficie de solera: 2,12 m²

Capacidad de carga vagoneta: 112 ladrillos

Análisis financiero

Después de realizar un análisis financiero se observa claramente que el proyecto es factible para su construcción y su periodo de recuperación es de 6 años y 5 meses.

PERIODO DE RECUPERACIÓN PR	
Inversión total	287.552,86
Número de años antes de la recuperación total de inversión	6
Costo no recuperado al inicio de recuperación total del año	55.188,75
Flujos total de efectivo durante la recuperación total año	112.540,87
PR	6,49
Años	6
Meses	5

Tabla 1. Estudio de periodo de recuperación

Conclusiones

- La forma y geometría de la cúpula y bóveda son vitales para la correcta distribución de calor.
- El proceso seguido por cualquier material cerámico de predominante contenido arcilloso, al ser sometido a un proceso de cocción, puede recoger las siguientes fases: hasta los 200° C tiene lugar la evacuación del agua residual no eliminada en el secado, entre 200° C y 400° C se descompone y oxida el

material orgánico que acompaña la arcilla, entre 450° y 650° C se produce una contracción y endurecimiento, a 573° C tiene lugar una transformación alotrópica reversible al cuarzo, y entre 680° C y 800° C tiene lugar la descarbonización de las arcillas calcáreas.

- Las pérdidas de calor son mínimas, logrando una reducción del consumo de combustible.
- El diseño que garantiza un buen proceso de cocción en un horno cerámico depende también del movimiento adecuado de los gases existentes en su interior. En primer lugar, para la combustión correcta del combustible se requiere una aportación adecuada de aire, sin pulsos ni interrupciones. En segundo lugar, la distribución del calor de combustión corre a cargo de la circulación de los gases calientes entre las vagonetas. En tercer lugar, los gases agotados deben eliminarse por agujeros o por el conducto de tiro forzado.
- Es importante que la velocidad de avance de la vagoneta sea igual a la diseñada, para lograr un adecuado proceso.
- La vagoneta está diseñada para lograr transportar la mayor cantidad de ladrillos, maximizando así el uso del espacio, de acuerdo a las condiciones físicas antes expresadas.

Bibliografía

ASKELAND, Donald

2001 *Ciencia e ingeniería de los materiales*. España: Thomson Editores.

AVGUSTINIK, A. I.

1983 *Cerámica*. Barcelona: Reverté.

BEER, Johston

2004 *Mecánica de materiales*. Bogotá: McGraw-Hill.

BROWN, Theodore *et al.*

2004 *Química: la ciencia central*. México: Pearson Educación.

CENGEL, Yunus y Michael Boles

2000 *Termodinámica*. Tomo II. México: McGraw-Hill.

HOLMAN, J. P.

1998 *Transferencia de calor*. Madrid: McGraw-Hill.

NORTON, Fih

1972 *Refractarios*. Barcelona: Blume.

