

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DUCTO SUPERIOR DE INYECCIÓN DE  
AIRE CALIENTE PARA UN TUNEL DE SECADO DE LADRILLO



CRISTIAN CAMILO GUTIERREZ FERNANDEZ

Universidad  
del Cauca

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
POPAYÁN  
2014

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DUCTO SUPERIOR DE INYECCIÓN DE  
AIRE CALIENTE PARA UN TUNEL DE SECADO DE LADRILLO

CRISTIAN CAMILO GUTIERREZ FERNANDEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Físico

Director de proyecto:  
Msc. Luis Fernando Echeverri

Codirector de proyecto:  
ING. Juan Carlos Guzmán  
Ingeniero Mecánico, jefe de mantenimiento ladrillera la Sultana

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
POPAYÁN  
2014

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. FABRICACION DE LADRILLO.....	2
1.1. ADECUACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	2
1.2. ELABORACIÓN DE PIEZAS.....	3
1.2.1. Molienda .....	4
1.2.2. Mezclado .....	4
1.2.3. Moldeado.....	5
1.3. SECADO .....	5
1.4. COCCIÓN .....	6
1.5. EMPAQUETADO FINAL Y DESPACHO .....	7
2. SECADO DE LADRILLO .....	8
2.1. SECADO INDUSTRIAL .....	9
2.1.1. Tipos de secado industrial.....	10
2.1.2. Calentamiento de las piezas arcillosas.....	11
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO .....	12
2.2.1. El principio de Bernoulli .....	12
2.2.2. Cálculo del caudal .....	14
3. DISEÑO DEL DUCTO .....	15
3.1. CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURA DEL TÚNEL SECADERO .....	15
3.2. TOMA DE MEDIDAS.....	19

4.	CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO .....	23
5.	VALIDACION DEL NUEVO SISTEMA .....	28
6.	CONCLUSIONES.....	32
7.	TRABAJOS FUTUROS .....	33
8.	REFERENCIAS.....	34
9.	BIBLIOGRAFIA .....	35

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mi madre Floralba Fernández, porque ella ha sido la persona que me ha apoyado, y me brindado la oportunidad de desarrollar mis estudios profesionales, también a mis compañeros y a todos los profesores estudio de la Universidad del Cauca, al ingeniero mecánico Juan Carlos Guzmán quien compartió sus conocimientos industriales para lograr un buen trabajo de grado como Ingeniero Físico, ya que para mí es muy satisfactorio aplicar mis estudios en la industria.

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Director \_\_\_\_\_  
MSc. Luis Fernando Echeverri.

Evaluador \_\_\_\_\_  
Ing. Liseth Viviana Campo Arcos.

Evaluador \_\_\_\_\_  
Ing. Javier Oswaldo Bolaños Rivera.

Fecha de sustentación: Popayán, 21 de noviembre de 2014.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Medidas a lo largo del túnel.....	19
Tabla 2. Toma de medidas para validar el nuevo ducto.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Fabricación de ladrillo. ....	2
Figura 1.2. Proceso de adecuación de materias primas. ....	3
Figura 1.2. Adecuación de materias primas en LA SULTANA. ....	3
Figura 1.3. Proceso de elaboración de piezas. ....	3
Figura 1.4. Piezas moldeadas. ....	4
Figura 1.5. Proceso de secado. ....	6
Figura 1.6. Proceso de cocción. ....	6
Figura 1.7. Hornos industriales. ....	7
Figura 1.8. Producto finalizado, ladrillo # 12. ....	7
Figura 2.1. Secado artesanal. ....	8
Figura 2.2. Piezas apiladas antes del proceso de secado industrial. ....	9
Figura 2.3. Ducto para análisis físico de un fluido. ....	13
Figura 3.1. Túnel secadero en LA SULTANA. ....	15
Figura 3.2. Entrada y salida de piezas moldeadas. ....	16
Figura 3.3. Esquema estructural del túnel secadero, vista lateral. ....	16
Figura 3.4. Hornilla generadora de aire caliente. ....	17
Figura 3.5. Cámara de mezcla. ....	17
Figura 3.6. Ventiladores industriales. ....	18
Figura 3.7. Gráfica Distancia vs. Humedad relativa. ....	20
Figura 3.8. Esquema del ducto de inyección de aire caliente. ....	22
Figura 4.1. Láminas iniciales para la construcción. ....	23
Figura 4.2. Etapas iniciales de la construcción. ....	24
Figura 4.3. Malla estructural del revestimiento aislante de calor. ....	25
Figura 4.4. Revestimiento aislante de calor. ....	25
Figura 4.5. Conexión del ventilador al ducto. ....	26
Figura 4.6. Escotilla de inyección abierta. ....	26
Figura 4.7. Ducto finalizado. ....	27
Figura 5.1. Gráfica de validación. ....	29
Figura 5.2. Prueba de comparación, sistema de inyección anterior. ....	30
Figura 5.3. Prueba de comparación, sistema de inyección nuevo. ....	30

## RESUMEN

En este documento está consignada la información básica sobre la física e instrumentación involucrada en el diseño y construcción de un ducto de inyección de aire caliente para un túnel secadero en la empresa LA SULTANA.

Durante el desarrollo de este proyecto se obtuvieron datos y mediciones de las condiciones del proceso de secado con el sistema original y basado en tales mediciones se diseñó un nuevo sistema que demostró mejorar la eficiencia del proceso disminuyendo el gasto energético y el promedio de piezas perdidas. El diseño y construcción del sistema se basó en los principios de la física de fluidos.

Se realizaron pruebas descriptivas del proceso de secado de ladrillos que permitieron la participación de forma directa en el diseño y construcción del nuevo sistema, sus eventuales correcciones de daños, mantenimiento y operación, bajo la asesoría de expertos en aspectos relacionados con los procesos que se llevan a cabo en plantas físicas de la empresa LA SULTANA; además se consultaron manuales de producción de ladrillo, funcionamiento y mantenimiento de maquinaria para procesar arcillas.

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Un sistema de aire acondicionado es aquel que permite sustituir el aire ambiente en el interior de un recinto, aire que se considera indeseable por falta de temperatura adecuada, pureza o humedad. Es por esta razón, que este tipo de sistemas son muy utilizados en la industria, debido a que aportan una mejora en ciertos procesos.

Las técnicas de secado de ladrillos son utilizadas dependiendo del tipo de arcilla utilizada, la geometría de las piezas a fabricar y el nivel de producción. En el proceso de secado de ladrillo en la empresa LA SULTANA se basa en un túnel de secado continuo, que tenía un modelo de inyección de aire caliente de manera puntual y constante; que atacaba las piezas de arcilla en una sola dirección, lo cual impedía la variación de los parámetros del medio que influyen en el proceso de secado.

En este proyecto se desarrolló un sistema de inyección de aire caliente para un túnel de secado de ladrillo en la empresa LA SULTANA, el cual permite introducir aire caliente de una forma más homogénea en el momento de extraer la humedad de las piezas de arcilla; optimizando así el proceso de secado de ladrillo.

## JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de aire acondicionado han sido ampliamente usados en la industria de producción de ladrillo cuando se busca la tecnificación del proceso de secado de las piezas, el cual se realiza antes de su posterior cocción.

Debido a que el proceso de secado es uno de los más delicados en la producción de ladrillo, se presentó la necesidad de usar nuevas tecnologías que permitan inyectar la cantidad de calor suficiente para que el entorno que rodea las piezas durante este proceso tenga las condiciones físicas adecuadas, evitando que se presenten choques térmicos sobre estas.

De esta manera se logra una eliminación de las cantidades requeridas de agua en la mayoría de las piezas, sin que se presenten fisuras, las cuales constituyen un fenómeno destructor en la elaboración de obras civiles; y por lo tanto se representan como pérdidas económicas para las empresas que procesan la arcilla con el objetivo de producir ladrillo.

Resulta entonces de mayor conveniencia la construcción de un sistema de inyección en forma de ducto, el cual permite que el aire caliente sea suministrado en diferentes puntos del túnel secadero; debido a esto, los parámetros físicos del entorno de las piezas varían dependiendo de su ubicación en el túnel, disminuyendo el riesgo de que se presenten fisuras sobre una gran cantidad de piezas después de pasar por el proceso de secado.

Con este nuevo sistema de inyección de aire caliente, se pueden regular las variables físicas que afectan el proceso de secado de ladrillo, dependiendo de las condiciones iniciales de la materia prima y del tipo de piezas que están cruzando el túnel secadero.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un ducto de inyección de aire caliente para túnel secadero de ladrillo de LA SULTANA usando principios de la física de fluidos y termodinámica.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las características del túnel secadero por medio de la obtención de parámetros físicos como humedad y temperatura, medidos en las piezas de arcilla y en el ambiente durante el proceso de secado.
- Diseñar un sistema de inyección graduable de aire caliente a partir de los resultados obtenidos anteriormente, para mejorar la eficiencia del proceso de secado en la empresa LA SULTANA.
- Construir el sistema de inyección graduable, teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para que funcione satisfactoriamente en un túnel secadero de ladrillo de la empresa LA SULTANA.
- Evaluar el funcionamiento del sistema construido realizando una comparación cuantitativa de los parámetros medidos inicialmente y medidos luego de introducir de forma física el diseño propuesto.

## INTRODUCCIÓN

La materia prima para la fabricación de ladrillos y otros productos cerámicos útiles en obras civiles, generalmente es la arcilla. En cualquier fábrica de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso, pasando por etapas de moldeo, secado, cocción, hasta el empaquetado final.

En la actualidad se pueden encontrar pequeñas fábricas de ladrillo artesanal en las cuales los procesos necesarios para obtener el producto final se dan de forma manual y presentan bajo nivel de producción, también existen ladrilleras industriales en las que los procesos son automatizados y continuos, lo que se traduce en un alto nivel de producción.

La SULTANA es una empresa dedicada a la producción de ladrillos, bloques y tejas industriales, ubicada en la zona industrial del norte del Cauca contando con tres plantas físicas activas; cada planta produce en promedio 51000 piezas al día, convirtiéndola de esta manera en una empresa competitiva que comercializa en gran cantidad sus productos en el sur occidente colombiano.

En este documento se presenta la información relacionada con el proceso de diseño y construcción de un ducto superior de inyección de aire caliente para un túnel de secado de ladrillo; cuyo objetivo se basó en la búsqueda de la optimización de los recursos energéticos necesarios para el proceso de secado en la fabricación de ladrillo, además de disminuir la cantidad de piezas perdidas al día.

## 1. FABRICACION DE LADRILLO

La arcilla puede ser aprovechada como un material fundamental para la elaboración de piezas útiles en obras civiles, ya que puede ser convertida según ciertas formas definidas con diferentes características estructurales.

El orden de los procesos de fabricación de ladrillo partiendo desde la arcilla, es en general, el que se puede observar en la figura 1.1.

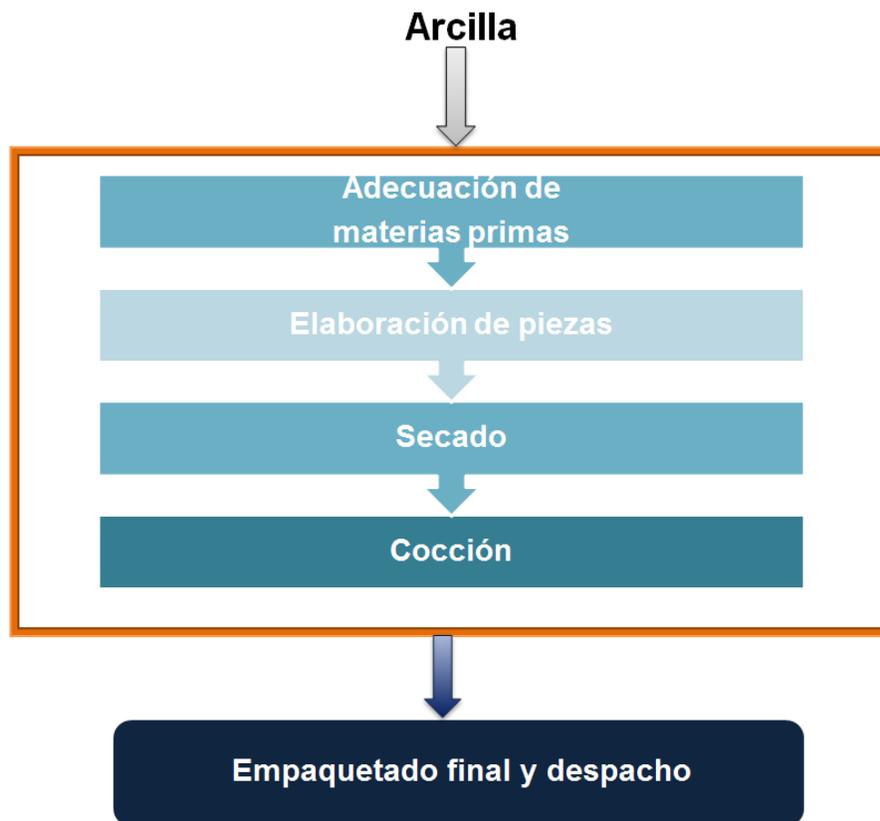


Figura 1.1. Fabricación de ladrillo.

### 1.1. ADECUACIÓN DE MATERIAS PRIMAS

La arcilla es un recurso natural, compuesto en esencia de sílice, alúmina, agua, cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como óxidos de calcio y óxidos de magnesio [1]. Los subprocesos que en conjunto forman la llamada adecuación de la materia prima, que se deben llevar a cabo para todos los diferentes tipos de arcilla antes de proceder a mezclarla según los requerimientos del producto final; se muestran en la figura 1.2.

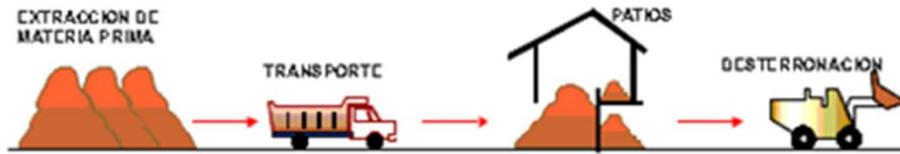


Figura 1.2. Proceso de adecuación de materias primas.[2]

Las materias primas en el estado de división y pureza en que se encuentran en la naturaleza no pueden entrar directamente al proceso de fabricación; por esta razón, las arcillas son secadas al aire sobre superficies en arenadas para producir disgregación y purificación, si el proceso de preparación es por vía seca; mientras que si la preparación es por vía húmeda, la arcilla se utiliza como sale del yacimiento para formar una pasta dúctil y homogénea.



Figura 1.2. Adecuación de materias primas en LA SULTANA.

## 1.2. ELABORACIÓN DE PIEZAS

En el momento de realizar la transformación de la arcilla para ser convertida en piezas con una forma definida, se siguen los subprocesos de la figura 1.3.

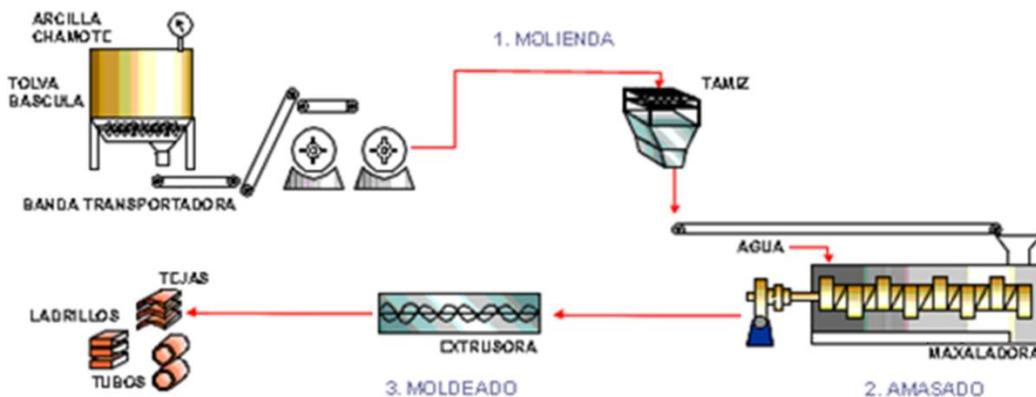


Figura 1.3. Proceso de elaboración de piezas.[2]

Al finalizar el proceso de elaboración de piezas, estas tienen la forma que se busca para el producto final, pero aún son bloques de arcilla maleable debido a las altas cantidades de agua añadida durante el amasado (ver figura 1.3). Las piezas moldeadas que arroja el proceso de elaboración son como las que se muestran en la figura 1.4.



Figura 1.4. Piezas moldeadas.

Cada uno de los subprocesos mostrados en la figura 1.3 (molienda, amasado y moldeado), son explicados brevemente a continuación.

### **1.2.1 Molienda**

La etapa de molienda se hace con el fin de obtener un tamaño de granos de arcilla adecuado, para ser utilizada en la fabricación de ladrillos y derivados de arcilla. La molienda en la fabricación de ladrillos, debe ser de forma gradual y generalmente en dos etapas: la primera una trituración preliminar, que se encarga de reducir el tamaño de la materia prima y la segunda para posteriormente conseguir mejores resultados en trituraciones que buscan una mayor homogenización en el tamaño de las partículas a mezclar.

En la trituración preliminar el material es reducido a un tamaño aproximado de 8 cm de diámetro como máximo; la segunda etapa denominada de pulverización o molienda obteniendo partículas más finas. La molienda se puede realizar en seco o en húmedo.

### **1.2.2. Mezclado**

Este proceso consiste en mezclar íntimamente la arcilla previamente adecuada con agua, logrando mejores resultados en la uniformidad de la mezcla. En el mezclado influyen muchos factores como la dosificación de arcilla a la mezcladora, ya que se necesita homogenizar la concentración de diferentes tipos de arcilla en

la mezcla. Otro factor importante es el agua contenida en la mezcla, sabiendo que esta debe ser puesta en contacto con la materia prima en el inicio del proceso.

Se debe mantener cierto grado de humedad para evitar variaciones en el moldeo de la arcilla; la repartición de agua en la mezcla debe ser uniforme, para que toda partícula de arcilla quede humedecida.

### **1.2.3. Moldeado**

En esta etapa se adecua la forma de la mezcla de arcilla siguiendo los requerimientos de tamaño de los objetos que se van a obtener para el producto final; el moldeado generalmente se realiza por extrusión.

En este proceso, para que se puedan obtener buenos productos extruidos, es imprescindible que la arcilla tenga la correspondiente plasticidad, que es la capacidad que tiene ésta de deformarse sin agrietarse ante un esfuerzo mecánico conservando la deformación al retirarse la carga [2]; por otro lado, el comportamiento de una mezcla de arcillas durante el moldeo viene determinado por su plasticidad, obteniéndose precisamente los mejores resultados con arcillas de plasticidad media.

Tanto las arcillas de plasticidad elevada, ricas en coloides, como las arcillas de baja plasticidad, suelen generar problemas en la extrusión. Con las arcillas magras o de baja plasticidad, es difícil conservar la humedad de moldeo dentro de unos límites correctos, además de causar inconvenientes para obtener o mantener una forma determinada.

### **1.3. SECADO**

El secado es uno de los procesos más delicados y trascendentales durante la fabricación de ladrillo; siendo esta una operación muy compleja en la que convergen múltiples factores que influyen en la calidad del resultado, como son la naturaleza de la arcilla, el grado de preparación y homogenización de la mezcla, tensiones que pueden haber tenido lugar durante el moldeo, diseño y formato de la pieza, entre otros. En el esquema procedimental que se ha venido siguiendo en este capítulo para dar explicación a cada uno de los procesos de fabricación de ladrillo, el secado es representado por la imagen de la figura 1.5.

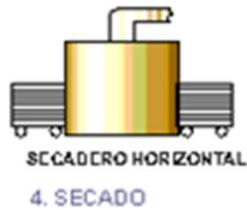


Figura 1.5. Proceso de secado.

El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada a la arcilla en el proceso de moldeo de ladrillos [3], dando como resultado piezas sólidas y con un menor peso que antes de iniciar el proceso. En esta etapa se deben eliminar las cantidades requeridas de agua en la mayoría de las piezas, por medio de un mecanismo de secado en el que no se presenten fisuras en las mismas antes de pasar a la cocción.

#### 1.4. COCCIÓN

Aquí se le confieren a la pieza las propiedades mecánicas deseadas por medio del calentamiento gradual de la mezcla arcillosa que la compone, eliminando los excedentes de agua que hayan podido superar la etapa de secado, pero esta vez aplicando temperaturas mucho mayores a las de ebullición del líquido eliminado; mientras que se pone de manifiesto si las etapas precedentes de preparación, elaboración y secado se han llevado a cabo correctamente o no. En el esquema procedimental de los procesos de fabricación de ladrillo, la cocción es representada por la imagen de la figura 1.6.



Figura 1.6. Proceso de cocción.

Los materiales que son sometidos a cocción pasan durante este proceso por diversos estados, ocurriendo transformaciones regidas por la composición mineralógica, química y granulométrica de la mezcla que conforma la pieza. El proceso de cocción se da de manera industrial en hornos como los que se observan en la figura 1.7. La diferencia de los tipos de hornos se presentará más adelante en el proceso de secado industrial.



(a)

(b)

Figura 1.7. Hornos industriales, a) horno estático, b) horno continuo.

Durante la cocción se completan ciertas reacciones químicas, haciendo que los materiales presenten una ligera contracción y adquieran una estructura característica que aumenta la dureza del producto terminado. En las fábricas de ladrillos se encuentran diversos tipos de hornos artesanales e industriales para cocer ladrillos y piezas cerámicas a temperaturas que oscilan entre 1000 y 1100°C.

### 1.5. EMPAQUETADO FINAL Y DESPACHO

Al finalizar la fabricación de ladrillo, el producto final listo para la entrega al consumidor, debe tener ciertas propiedades que le permitan soportar cargas mecánicas que se presentan en obras civiles y debe lucir como se muestra en la figura 1.8, en la cual se observa una pieza sin fracturas y completamente cocida. El promedio de vida útil de un ladrillo es de 90 años aproximadamente.



Figura 1.8. Producto finalizado, ladrillo # 12, extruido limpio para edificación a la vista.

## 2. SECADO DE LADRILLO

Existen algunos métodos con los cuales se puede llevar a cabo el proceso de secado de una pieza arcillosa y se clasifican generalmente en dos tipos: los mecanismos de transferencia de masa como la filtración, centrifugación, adsorción, absorción, entre otros medios mecánicos de separación sólido-líquido; y los mecanismos de transferencia de calor, donde el líquido en la superficie del sólido pasa a una fase de vapor que es arrastrado por el aire en el entorno de la pieza.

Para la elaboración de ladrillos, el proceso de secado se vale de mecanismos de transferencia de calor, utilizando temperaturas inferiores a la de ebullición del líquido a eliminar. De no ser así, es más probable que se presenten fisuras en una buena parte de los tabiques de las piezas salientes al finalizar el proceso de secado. Las fisuras mencionadas constituyen un fenómeno destructor en la elaboración de obras civiles, representando pérdidas económicas para las empresas que procesan la arcilla para la elaboración del ladrillo.

El proceso de secado marca la diferencia en la calidad y nivel de producción de una fábrica productora de ladrillo. Existen ladrilleras artesanales en las cuales el proceso de secado se hace sin control de temperatura en un ambiente atmosférico; teniendo en cuenta el aprovechamiento de la ventilación a temperaturas naturales, que brinda el calor necesario para la evaporación, como se observa en la figura 2.1.



Figura 2.1. Secado artesanal.

Por otra parte, es importante destacar que en ambientes cerrados, a temperatura controlada, se puede proveer la alimentación de aire precalentado desde el exterior, teniendo un calentamiento parcial en el interior de un recinto donde se ubican las piezas durante el proceso. Este es el tipo de proceso de secado que es comúnmente utilizado a escala industrial.

Básicamente, el proceso de secado industrial consiste en hacer pasar las piezas húmedas por una corriente de aire uniforme con un aumento gradual de temperatura respecto al recorrido en el secadero. Antes de iniciar el secado, las piezas son apiladas de forma ordenada, para que la evaporación se presente de forma similar en la totalidad de las mismas, situación que se puede analizar en el ejemplo de la figura 2.2.



Figura 2.2. Piezas apiladas antes del proceso de secado industrial.

## 2.1. SECADO INDUSTRIAL

En el secado industrial de piezas arcillosas, se deben controlar variables como la temperatura, la humedad, la humedad relativa y la velocidad de secado; para que las condiciones de la mayor cantidad posible de piezas sean las óptimas antes de pasar al proceso de cocción, es decir, que se presente una menor cantidad de material perdido debido a fisuras durante el secado. [3]

Al referirse a humedad en este documento se hace alusión al contenido de agua dentro de cada una de las piezas que proviene desde la etapa de moldeo, mientras que la humedad relativa describe la humedad que se presenta en el entorno, es decir, la humedad del fluido que coexiste con las piezas durante el secado en el interior del túnel de secado (aire caliente y aire húmedo).

Por otra parte, al mencionar el término temperatura se busca señalar la relacionada al entorno de las piezas, que se aprovecha para eliminar el contenido de humedad de las mismas por medio de un calentamiento gradual de la arcilla moldeada, eliminando así su contenido de agua por medio de evaporación. La velocidad de secado está relacionada con el tiempo estándar que debe tardar una pieza en promedio para disminuir sus valores de humedad.

El control de temperatura y velocidad de secado se hace para evitar choques térmicos que conllevan a contracciones y expansiones que pueden llegar a deformar aleatoriamente las piezas. Es preciso lograr una gran uniformidad de secado, lo cual se consigue manteniendo la temperatura de secado baja (menor a la de ebullición del agua), secando mediante una reducción progresiva de la humedad relativa y buena ventilación de la pieza.

### **2.1.1. Tipos de secado industrial**

Las técnicas industriales disponibles para el proceso de secado de piezas cerámicas como ladrillos, tejas, entre otros; se dividen principalmente en tres clases, secado estático, secado continuo y secado semicontinuo. Estas técnicas se utilizan dependiendo del tipo de arcilla utilizada, la geometría de las piezas a fabricar y el nivel de producción.

- **Secadero estático.** Esta técnica usa un conjunto de cámaras independientes en las que se acumulan carretillas para un secado simultáneo, es un buen secadero para fábricas con gran diversidad de productos ya que cada cámara puede presentar una regulación de temperatura de inyección diferente.
  
- **Secadero semicontinuo.** Esta técnica usa un secadero continuo que consta de una gran cámara atravesada por vías, por las cuales se

desplazan carretillas cargadas con ladrillo. En su interior se instalan agitadores (recirculadores) de aire, móviles o fijos para homogenizar el aire circundante por todo el túnel, es el secador más polivalente de todos.

- **Secadero continuo.** El tipo de secadero usado en esta técnica está formado por un túnel de ida y un túnel de retorno dispuestos uno al lado del otro y así mismo en nivel, en paralelo comunicados por un transbordador; por estos túneles se hacen circular las carretillas y pueden tener varios pisos fijos o variables, según del tipo de pieza a secar.

### 2.1.2. Calentamiento de las piezas arcillosas

Se pretende la eliminación de la humedad de las piezas salientes de la etapa de moldeado por medio del calentamiento de las mismas. Durante el proceso de calentamiento disminuye la razón de pérdida de humedad por la presión producida en el interior de un ambiente cerrado, y se termina alcanzando la temperatura de ebullición del agua al interior de cada pieza. Con el objetivo de acelerar el proceso de secado de ladrillo, en la industria se utilizan dos formas de calentamiento para las piezas, uno directo y otro indirecto. [3]

El calentamiento directo es aquel en el que se utilizan elementos que aportan la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de secado, entrando en contacto con el medio adentro del recinto donde están situadas las piezas. Entre las técnicas de secado por calentamiento directo, se destaca la utilización de ondas electromagnéticas que pueden presentarse en el rango del infrarrojo, como también las ondas de alta frecuencia (OEM).

La primera clase de calentamiento directo mencionado, aprovecha los rayos infrarrojos emitidos desde un cuerpo caliente cercano a las piezas, que se transmiten directamente hacia la superficie externa del material arcilloso en un ambiente protegido; este tipo de transferencia de calor es conocido como radiación.

Por otra parte, las ondas de alta frecuencia se utilizan para provocar el calentamiento de la pieza hasta temperaturas elevadas al interior de un recinto cerrado haciendo vibrar las moléculas de agua.

Refiriéndose a calentamiento indirecto, las piezas pueden estar en un ambiente con un fluido de aire caliente, o en un ambiente cerrado con condiciones de humedad relativa y temperatura controlada.

En el calentamiento indirecto basado en flujo de aire, este último recibe energía desde elementos generadores de calor situados al exterior del recinto, para luego ser transportado reemplazando el medio que rodea las piezas constantemente aprovechando la transmisión de calor por convección; es decir, utilizando la capacidad calorífica del aire. El aire circunda la cámara produciendo el calentamiento eventual de la pieza y eliminando gradualmente su porcentaje de humedad.

La energía térmica proporcionada al aire contiene no solamente la cantidad necesaria de energía para la transformación de líquido en vapor, sino que también la que se pierde por factores tales como las fugas de aire caliente o el calor acumulado en el aire que sale del recinto con una temperatura superior a la del ambiente; consecuentemente el secado del ladrillo con aire aprovecha fácilmente todas las posibilidades de transmisión de calor por parte del horno. [3]

En la actualidad el último método anteriormente expuesto se configura de manera eficiente en un sentido industrial para la realización de materiales cerámicos; en el caso concerniente a otros procedimientos de secado aún no se ha tomado la iniciativa para utilizar un método como el anteriormente expuesto, dejando claro que dicha metodología es útil a nivel investigativo para generar nuevas ideas adecuadas en la industria.

## **2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA EL DISEÑO**

Para lograr construir un sistema que optimice un proceso de secado por calentamiento indirecto basado en flujo de aire, es necesario realizar consideraciones físicas basadas en los conceptos estudiados a continuación.

### **2.2.1. El principio de Bernoulli**

También denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra *Hidrodinámica* (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido [4].

La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes, energía cinética debida a la velocidad que posea, energía potencial gravitacional debida a su altitud y energía de flujo que contiene gracias a la presión.

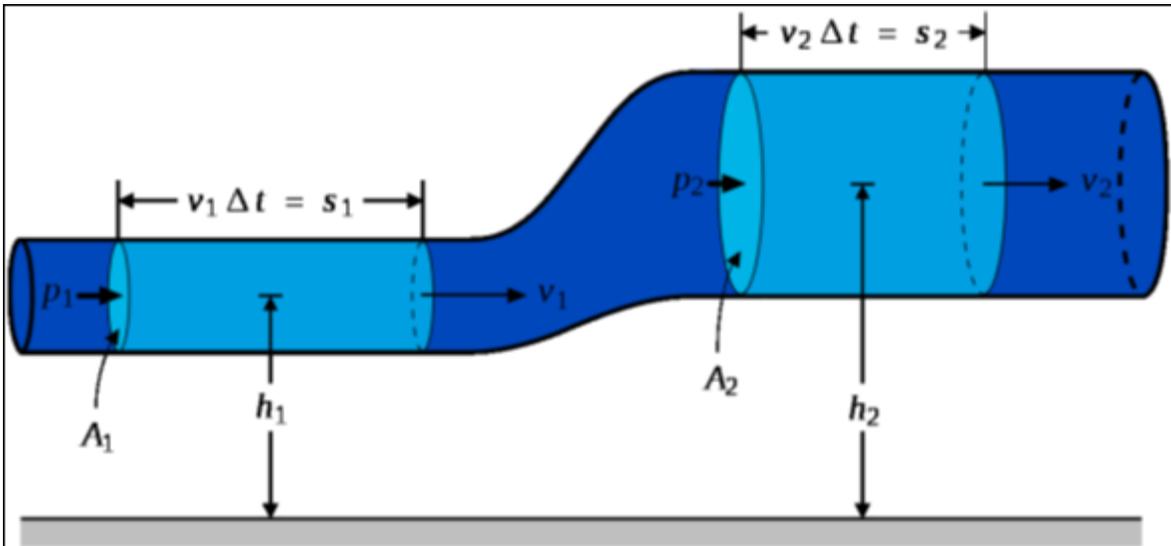


Figura 2.3. Ducto para análisis físico de un fluido.

La siguiente ecuación conocida como "Ecuación de Bernoulli" (Trinomio de Bernoulli) consta de estos mismos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

Dónde V es la velocidad del fluido en la sección considerada,  $\rho$  es la densidad del fluido, P es la presión a lo largo de la línea de corriente, g es la aceleración gravitatoria y z es la altura ( $h_1$  y  $h_2$  en la figura 2.3) en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia. Para aplicar la ecuación de Bernoulli se deben realizar las suposiciones dichas a continuación.

- Viscosidad (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona 'no viscosa' del fluido.
- Caudal constante
- Flujo incompresible, donde  $\rho$  es constante.

La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo irrotacional. Aunque el nombre de la ecuación se debe a Bernoulli, la forma arriba expuesta fue presentada en primer lugar por Leonhard Euler. Un ejemplo de aplicación del principio lo encontramos en el flujo de agua en tubería. [4]

### 2.2.2. Cálculo del caudal

El cálculo del caudal de un fluido que recorre un conjunto de tuberías, que forman una red o un circuito, es importante para determinar las necesidades de energía que harán que el fluido circule por ellas en las condiciones determinadas por los requerimientos de diseño.

$$Q = A \bar{v}$$

Donde  $Q$  es el caudal ( $[L^3T^{-1}]$ ;  $m^3/s$ ),  $A$  es el área ( $[L^2]$ ;  $m^2$ ) y  $\bar{v}$  es la velocidad promedio ( $[LT^{-1}]$ ;  $m/s$ ).

Cuando velocidad del fluido forma un ángulo  $\theta$  con la perpendicular a la sección de área  $A$  atravesada por el fluido con velocidad uniforme  $v$ , entonces el flujo se calcula siguiendo la ecuación 2.

$$Q = A v \cos \theta.$$

En el caso particular de que el flujo sea perpendicular al área  $A$  (por tanto  $\theta = 0$  y  $\cos \theta = 1$ ) entonces el flujo vale

$$Q = A v.$$

En física e ingeniería, caudal es la cantidad de fluido que circula por unidad de tiempo en determinado sistema o elemento. Se expresa en la unidad de volumen dividida por la unidad de tiempo (e.g.:  $m^3/s$ )

### 3. DISEÑO DEL DUCTO

El proceso de secado en la empresa LA SULTANA se realiza de forma continua a lo largo del túnel mostrado en la figura 3.1, que se conoce como túnel secadero; y cuyas condiciones de humedad y temperatura deben ser aptas para que no se presenten fisuras en el material.



Figura 3.1. Túnel secadero en LA SULTANA

En el túnel secadero se presenta un calentamiento indirecto, ya que se aumenta la temperatura de las piezas de forma gradual; manteniéndolas con un flujo constante de aire que les suministra calor por medio de un tipo de transferencia conocida como convección.

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS Y ESTRUCTURA DEL TÚNEL SECADERO

El túnel secadero tiene 67.2 m de largo, una altura de 2.5 m y un ancho de 3.2 m; y cuenta con dos vías paralelas transportadoras para la entrada y salida de carretillas según se muestra en la figura 3.2, cada una con pilas que suman un total de 986 piezas moldeadas.



Figura 3.2. Entrada y salida de piezas moldeadas.

El promedio de piezas secadas al día por el túnel es de 8381, con un estimado de unidades fracturadas de 237, equivalente al 2.83% de las piezas moldeadas que inician el proceso de secado. Por otro lado, se considera que el proceso de secado de una pieza cualquiera tarda 27.1 horas.

A lo largo del túnel secadero hay 10 ventanas que son útiles al momento de realizar la medición de variables físicas durante el proceso, para analizar gráficamente los cambios que se presenten. El esquema del túnel secadero motivo de estudio en esta sección se observa en la figura 3.3.

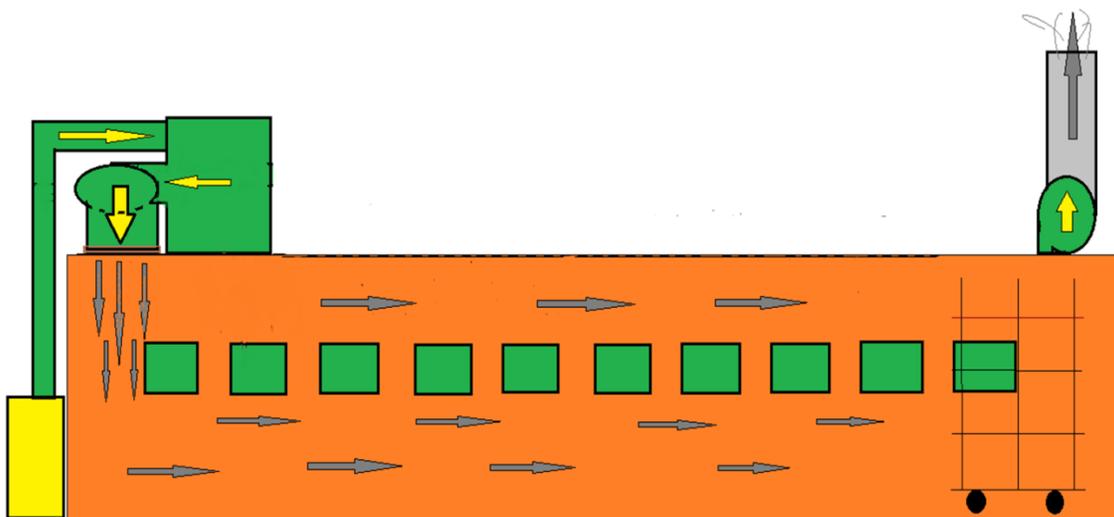


Figura 3.3. Esquema estructural del túnel secadero, vista lateral.

Una parte del aire caliente se recicla del horno en el que se realiza la cocción, mientras que la otra la aportan hornillas generadoras como la que se observa en la figura 3.4.



Figura 3.4. Hornilla generadora de aire caliente.

Todo el fluido proveniente de las dos fuentes mencionadas, se introduce en la cámara de mezcla mostrada en la figura 3.5, para posteriormente ser inyectado al túnel de secado.



Figura 3.5. Cámara de mezcla.

El volumen de aire caliente necesario para el proceso de secado dentro del túnel, se regula por medio de ventiladores industriales. Estos ventiladores son generalmente empleados para reutilizar o desechar los gases que puedan mover los sistemas de ventilación, extracción y succión; dependiendo del objetivo del proceso que se esté llevando a cabo.

Se usan tres ventiladores, uno para inyectar aire caliente y los otros dos para extraer por las chimeneas el aire húmedo resultante del secado de las piezas. Un ventilador es una turbo maquina cuya misión es asegurar la circulación de aire con presiones de hasta 30.000 Pascales. Se clasifican en dos grupos genéricos: ventiladores centrífugos y ventiladores axiales [5].

Los ventiladores centrífugos, como el que se muestra en la figura 3.6a, son aquellos en los que el flujo del aire es girado  $90^\circ$  en todas las direcciones; mientras que los ventiladores axiales, como el mostrado en la figura 3.6b, mantienen el flujo de aire a lo largo del eje de la hélice [6].



(a)



(b)

Figura 3.6. Ventiladores industriales, a) Ventilador centrífugo, b) Ventilador axial.

En el campo de la ingeniería el uso más común de los ventiladores industriales actualmente, se remite al movimiento de aire o gases, ya que muchas industrias utilizan tales procesos para reutilizar o desechar los gases que puedan mover los sistemas de ventilación, extracción y succión.

El sistema de inyección no es el adecuado, ya que ataca el túnel en un solo punto, ocasionando cambios bruscos de temperatura entre ciertas zonas a lo largo del mismo.

### 3.2. TOMA DE MEDIDAS

Para realizar los cálculos pertinentes para el diseño de un ducto de aire caliente capaz de propiciar un flujo constante a lo largo del túnel secadero, que permita disminuir las variaciones bruscas de temperatura en el entorno de las piezas que deben moverse en el mismo; es necesario la obtención de medidas de variables físicas como la temperatura, humedad relativa, presión de fluido y humedad de la piezas. Dichas medidas son de gran importancia para lograr obtener óptimos resultados a un costo razonable, al introducir un nuevo sistema de inyección de aire caliente que mejore el proceso de secado.

Se utilizó un termohigrómetro y un termómetro infrarrojo para la obtención de datos de humedad relativa y temperatura respectivamente, mediante un protocolo realizado en varios puntos longitudinales del túnel de secado de ladrillo #2 (vías 3-4) en la empresa: Bloques, ladrillos y acabados cerámicos LA SULTANA.

De esta manera se realizaron mediciones de longitud, temperatura T, humedad relativa HR%, contenido de agua C%h<sub>2</sub>O, y presión de fluido. Los datos obtenidos se presentan en la tabla [N°1].

En esta etapa se analizaron los datos recolectados durante dos semanas y se obtuvieron características específicas, además de gráficas de la humedad relativa y la temperatura que permitían obtener la distancia a la cual estaba situado el punto crítico donde se presentaban choques térmicos que perjudica al material moldeado.

Tabla 1. Medidas a lo largo del túnel

Ventana #	Posición X(m)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)
Entrada	1,5	60	31,2
V1	13,5	53	30,9
V3	23	50,8	32,2
V5	32	46,8	36
V6	36,6	35,4	43,1
V8	45	23,1	51,3
V10	53,9	17,7	82,1
Salida	65	16,2	90,1

Es importante aclarar las características específicas teniendo en cuenta las gráficas de humedad relativa y temperatura en toda la longitud del secadero,

Analizando gráficamente los cambios de las variables de temperatura y la humedad relativa en toda la longitud del secadero, es posible tener en cuenta ciertos puntos que tienen gran relevancia tales como el punto crítico o punto de

intersección, que es en donde se presentan choques térmicos, en este punto las piezas sufren fisuras en que se rompen los tabiques, además hay partículas que se expanden unas más que otras, haciendo que la tensión de las piezas no sea lo suficientemente fuerte y entonces si quiebran.

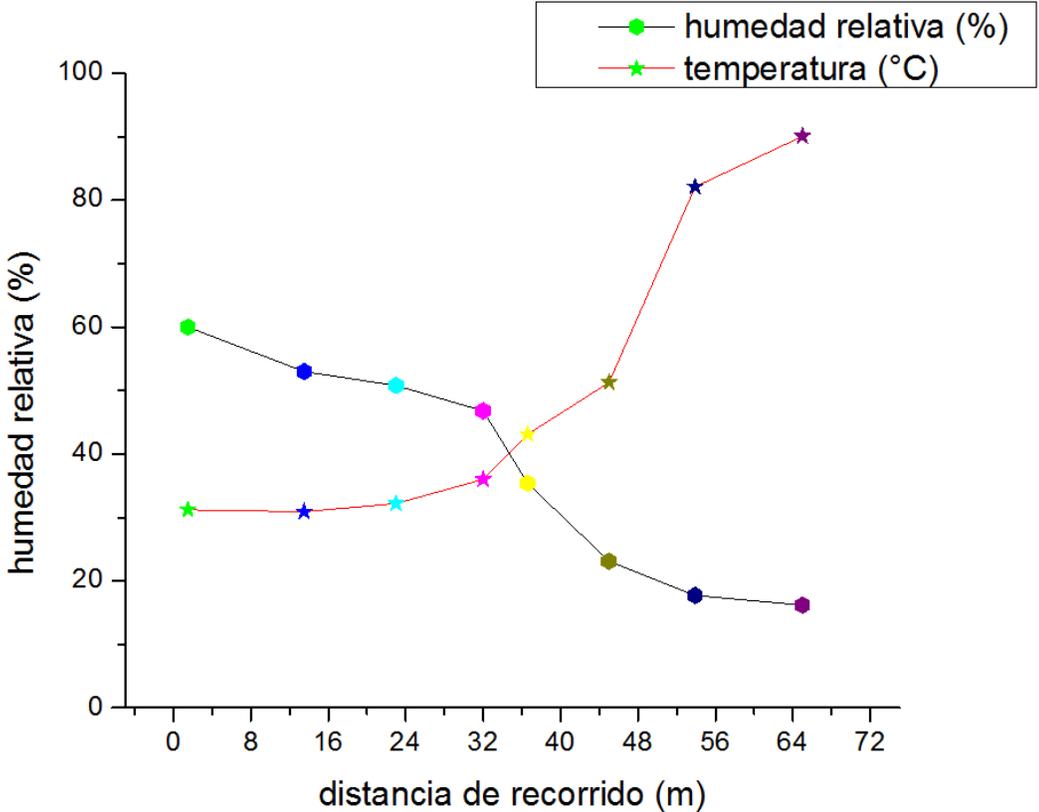


Figura 3.7. Gráfica Distancia vs. Humedad relativa.

De esta manera con el modelo de inyección de aire caliente inicial, se encuentra el punto crítico (importante aclarar a qué se refiere con el punto crítico) a 35 m del inicio del secadero en el cual se tiene una  $T = 40^{\circ}\text{C}$  y una  $\text{HR}\% = 63\%$ . Esto indica que el aire caliente estaba siendo inyectado a una corta distancia del secadero, por tanto había poca homogenización del fluido, lo que significa que el aire caliente proveniente de las hornillas y del cuarto de mezclas (a una temperatura de  $107^{\circ}\text{C}$ ) solo actuaba en una región muy pequeña, causando unos cambios bruscos en el proceso.

Otro dato importante es que, de 8381 ladrillos que pasan diariamente por el proceso de secado diariamente, el promedio de pérdidas de piezas debido a fisuras era de 237, equivalente al 2.83%, manifestando cuantitativamente una desventaja energética que generaba el modelo de inyección de aire caliente ya

que este consumía 1.7 toneladas de carbón por día, el cual era muy exagerado para calentar el fluido.

En estos gráficos también podemos identificar las regiones de agua libre y agua ligada contenidas en las piezas arcillosas en todo el recorrido del secadero, así mismo el punto la saturación entre el fluido y el agua contenida en estas. Es importante aclarar que el agua libre hace referencia a la cantidad de agua suministrada a la arcilla durante el proceso de moldeo. Por otro lado el agua ligada es aquella que está presente en la arcilla desde antes del proceso de extracción de materias primas.

Es posible decir que el proceso de secado de ladrillo tenía un modelo de inyección de aire caliente de manera puntual y constante; atacando las piezas de arcilla en una sola dirección, lo cual impedía la variación de los parámetros físicos del medio que influyen en el proceso de secado.

Con este proyecto se pudo desarrollar un sistema de inyección de aire caliente para un túnel de secado de ladrillo en la empresa LA SULTANA, el cual permite introducir aire caliente de una forma más homogénea en el momento de extraer la humedad de las piezas de arcilla; optimizando así el proceso de secado de ladrillo.

Teniendo en cuenta los instrumentos utilizados en el modelo de inyección anterior, se hizo uso de un motor eléctrico y un ventilador centrífugo industrial de caudal, necesario para un buen desempeño teniendo en cuenta la longitud del secadero y la capacidad del ventilador centrífugo.

Haciendo uso de los conceptos teóricos de la física de fluidos que fueron expuestos anteriormente, se propusieron sistemas con las medidas del proyecto en cuestión, realizando una analogía con la ecuación de caudal, la cual hace referencia a la velocidad del fluido.

Sabiendo que el objetivo es inyectar aire caliente en la mayor parte de la longitud del secadero y teniendo en cuenta que el sistema de inyección en su recorrido tiene pérdidas de presión a medida que inyecta el fluido al túnel en ciertos puntos longitudinales, se propuso entonces compensar la pérdidas de velocidad del fluido con un sistema para transportarlo, compuesto por tubos cilíndricos con medidas calculadas para controlar la velocidad del fluido y la forma en que éste se inyecta dentro del túnel.

Fue posible determinar que la solución para homogenizar la recirculación del fluido y su inyección en una gran distancia a lo largo del secadero consistía en ubicar tres secciones cuyos cortes transversales tuvieran un diámetro distinto y estuvieran conectadas continuamente sobre cierta longitud del túnel secadero, con

40 escotillas que permitían suministrar el aire caliente en dirección perpendicular a la dirección al movimiento de las carretillas. De esta manera era posible aprovechar de una mejor forma la disposición de las piezas.

Esta propuesta fue aprobada teniendo en cuenta que en este proceso se necesita una velocidad del fluido constante, lo cual mejora la homogenización de fluido en gran distancia del secadero. Puede ser observada en la figura 3.8.

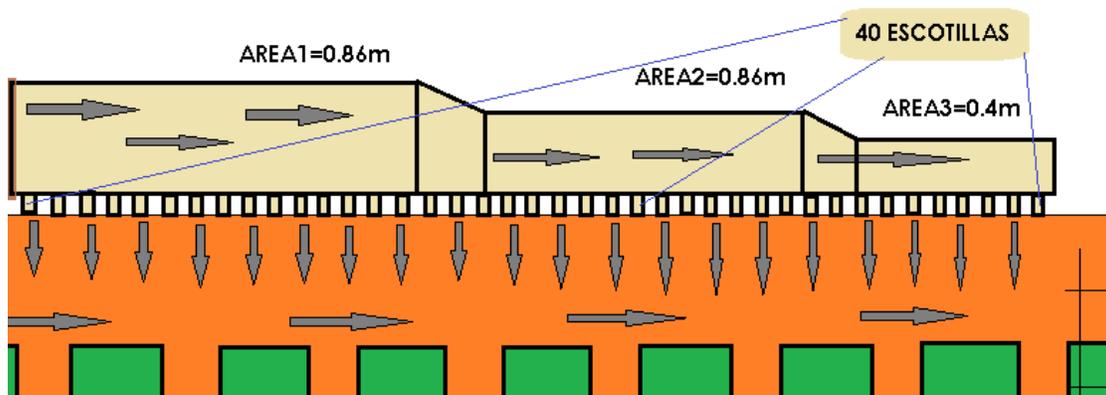


Figura 3.8. Esquema del ducto de inyección de aire caliente.

Tal sistema se complementó al introducir guillotinas para graduar la inyección del fluido y así mismo poder graduar las variables físicas que intervienen en el secadero de ladrillo.

Se realizó la construcción de la estructura teniendo en cuenta las características que deben modificarse para lograr un buen desempeño de la nueva técnica de tal proceso. También se realizaron cotizaciones de los materiales útiles para realizar la construcción del nuevo modelo estructural que inyectara aire caliente al secadero de ladrillo.

#### 4. CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO

Una vez aprobada la propuesta del nuevo sistema de inyección, se procedió a calcular la cantidad de todos los materiales y mano de obra para construir físicamente la estructura, así mismo teniendo la disponibilidad de grupo operativo de la empresa de LA SULTANA.

Se parte desde la selección de varios cilindros de lámina de hierro con distintas áreas transversales, observados en la figura 4.1.



Figura 4.1. Láminas iniciales para la construcción.

Se realizó la construcción de la estructura teniendo en cuenta las características que deben modificarse para lograr un buen desempeño de la nueva técnica de dicho proceso, para posteriormente realizar las mediciones del cambio de las variables físicas presentes en el secadero de ladrillo. La figura 4.2 muestra los primeros pasos de ensamblado y montaje.



Figura 4.2. Etapas iniciales de la construcción.

Este sistema fue diseñado de forma graduable, proporcionando así un control de las variables higrométricas en gran parte de la longitud del secadero de ladrillo, ya que cada transición del ducto tiene guillotinas para graduar la apertura de paso de fluido.

Teniendo el ducto terminado, se procede a colocar una malla que sirve como soporte para sostener una mezcla seca útil para aislar la temperatura. La mezcla tiene el fin de evitar pérdidas de calor por transmisión y debe recubrir todo el ducto. Está compuesta por una disolución de miel de purga con una cantidad de diatomita.

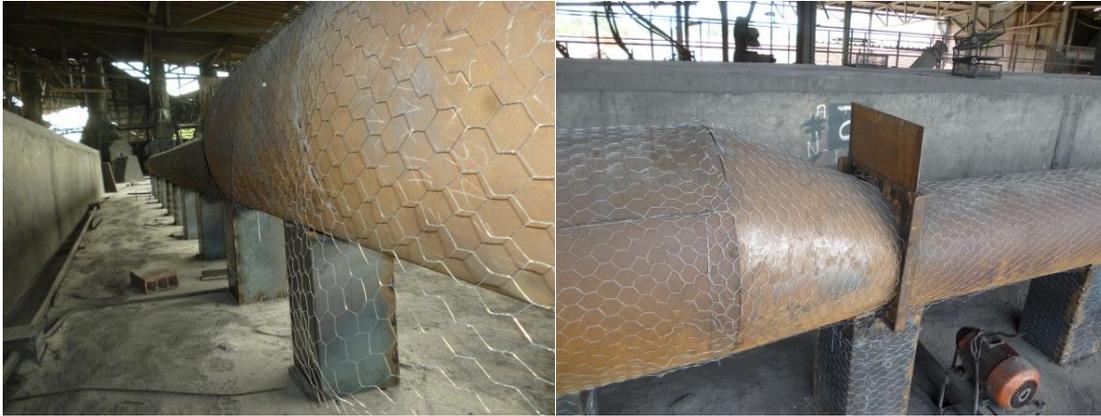


Figura 4.3. Malla estructural del revestimiento aislante de calor.

Este revestimiento es muy útil en la industria ya que es buen aislante cuando se necesita mantener maquinaria aislada de intervalos de temperatura entre los 60 y 250°C. Cuando la mezcla aplicada se seca y se compacta, se convierte en un buen aislante para las piezas de calentamiento por transmisión. En la figura 4.4 se observa el revestimiento en proceso de aplicación y terminado.



Figura 4.4. Revestimiento aislante de calor

Una vez aplicadas dos capas de la mezcla, se logró un buen revestimiento, un aislante térmico útil para evitar las pérdidas energéticas de todo el proceso por el fenómeno de transmisión. Tal revestimiento tiene un espesor de 3.8 cm.

Finalmente se conectó al ducto un ventilador industrial de caudal con una potencia de 19HP capaz de suministrar 19000 m<sup>3</sup>/s, donde la fuerza motriz es motor eléctrico de 220v AC y 22HP de potencia. Para conectar el ventilador y el nuevo ducto de inyección de aire caliente, se requiere aislar la vibración que genera el ventilador ya que este permanece encendido continuamente, entonces para esta unión se utilizó una manta cuyo componente principal es el asbesto. El proceso de instalación se puede observar en la figura 4.5.



Figura 4.5. Conexión del ventilador al ducto.

Finalmente se realizó la conexión eléctrica del motor para ser puesto en marcha, de esta manera el ducto empezó a inyectar aire en el momento en que se dió apertura a las escotillas, hasta dejar 24 de 40 escotillas abiertas en el ducto. Las escotillas se pueden observar en la figura 4.6.



Figura 4.6. Escotilla de inyección abierta.

Ya puesto en marcha el modelo estructural de la nueva técnica de inyección de aire caliente, se abrieron pocas aperturas de las escotillas. Durante dos semanas

se tomaron datos de las variables físicas. El ducto finalizado se puede observar claramente en la figura 4.7.



Figura 4.7. Ducto finalizado.

## 5. VALIDACION DEL NUEVO SISTEMA

Se procedió nuevamente a obtener datos de humedad relativa y temperatura para validar y comparar la eficiencia de las dos técnicas.

Ya puesto a punto el modelo construido, se lograron modificar las aperturas de las escotillas que permiten el flujo de aire caliente desde del ducto por la parte superior del secadero de ladrillo, tomando una dirección perpendicular al recorrido de las carretillas que transportan el ladrillo.

Los datos de humedad relativa y temperatura que arrojo el secadero con el nuevo sistema están consignados en la tabla 2.

Tabla 2. Toma de medidas para validar el nuevo ducto.

Ventana #	Posición X(m)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)
Entrada	1,5	60,9	32,3
V1	13,5	52,5	30,9
V3	23	42,8	36,9
V5	32	34,9	42,5
V6	36,6	26,5	48,5
V8	45	17,9	62,1
V10	53,9	11,7	73,5
Salida	65	11,2	65,4

También se obtuvo la nueva distancia en la cual está situado el punto crítico de las condiciones termo higrométricas del secadero, y este se encuentra a una distancia de 27.05 m respecto al inicio del secadero, en ese punto se tiene una temperatura de 39.1°C y una humedad relativa de 39.1%.

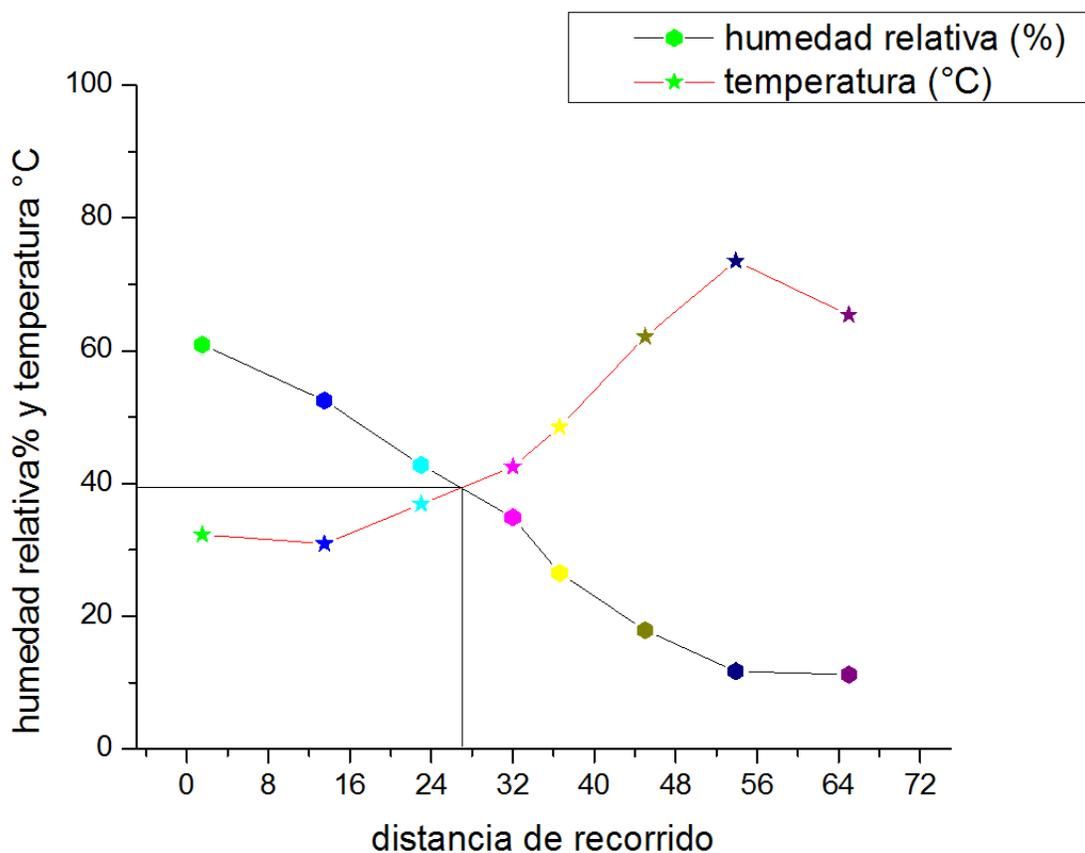


Figura 5.1. Gráfica de validación para el nuevo ducto.

Bajo el análisis del comportamiento gráfico de las variables higrométricas, es posible afirmar que el nuevo sistema de inyección ha mejorado el proceso de secado, dando como resultado el corrimiento del punto crítico, con ello se consiguió un secado más rápido y uniforme.

Tal como se mencionó anteriormente, el sistema de inyección tiene 40 escotillas conectadas al secadero, cada una con su respectiva guillotina para graduar la apertura de paso del fluido, de las cuales 23 escotillas fueron abiertas totalmente, y 11 solo se abrieron hasta la mitad. De esta manera el proceso de secado mejoró considerablemente su desempeño con respecto al proceso de secado, logrando una variación gradual de las variables higrométricas que intervienen en dicho proceso.

El revestimiento para aislar las pérdidas de calor por transmisión tuvo un buen desempeño debido a que el ducto transportó un fluido a 85°C en su interior, mientras que en el exterior del sistema mostró una temperatura de 54°C.

Otro dato importante es que, de 8381 ladrillos que pasan por el proceso de secado diariamente el promedio de pérdidas de piezas debido a fisuras o fracturas, disminuyó a 136 lo que equivale al 1.62%, obteniendo cuantitativamente mejores resultados energéticos haciendo uso del nuevo sistema de inyección de aire caliente, de esta manera el consumo de carbón se redujo a 1.5 toneladas por día, por lo tanto, el aire caliente proveniente de las hornillas y del cuarto de mezclas, ahora es inyectado a una temperatura de 85°C de manera gradual en una longitud del secadero considerable.

Para corroborar la eficiencia del proceso de secado se tuvo en cuenta el seguimiento de la fabricación de una una pieza (ladrillo #12) utilizando los dos sistemas (ducto anterior y ducto nuevo). Es importante tener en cuenta que la pieza arcillosa recién moldeada contiene un 23% de humedad agregada y se debe eliminar un 19% de ésta en el proceso de moldeo. De esta manera la pieza queda con un contenido de humedad intrínseco del 4% aproximadamente.

Se puede afirmar que una pieza (ladrillo #12) entra húmeda al secadero con un peso de 2,25 kg, y sale seca con un peso de 1,75 kg. Anteriormente con el modelo de inyección de aire caliente anterior, un ladrillo #12 se extraía de la ventana #10 del secadero, a una distancia de 53.9 m, con un contenido de humedad de moldeo del 9.44%, equivalente a 5,44 Kg más de peso del ladrillo obtenido con el nuevo ducto.

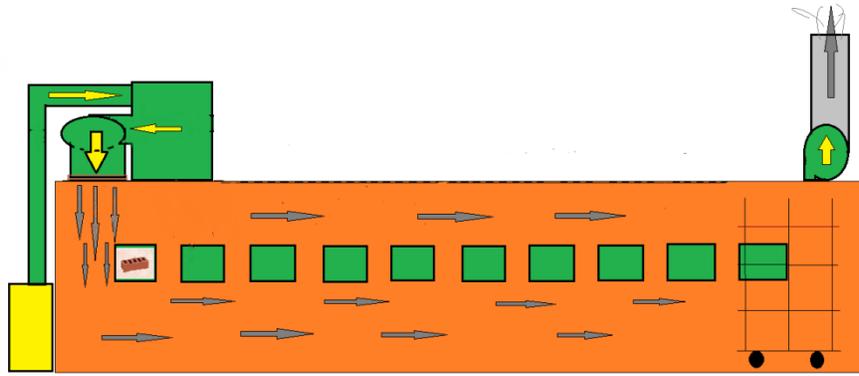


Figura 5.2. Prueba de comparación, sistema de inyección anterior.

Hoy en día, la nueva técnica muestra que un ladrillo con ese mismo contenido de humedad de molde se puede extraer de la ventana #4 y está situado a una distancia de 25.03 m.

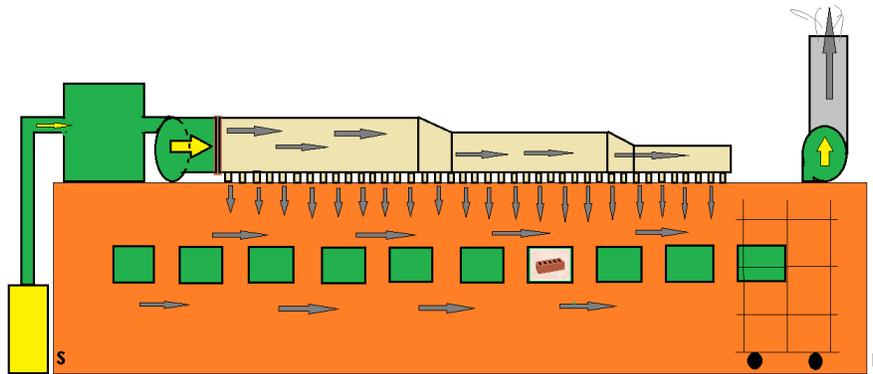


Figura 5.3. Prueba de comparación, sistema de inyección nuevo.

Estos datos muestran que este proceso fue modificado y la velocidad de secado ha aumentado debido a que la inyección de aire caliente hoy en día se da en dirección perpendicular al movimiento de las piezas, haciendo recircular el flujo por las perforaciones de estas, pero solo hasta cierto límite rendimiento permanece invariable ya que la variaciones sustanciales de los parámetros higrométricos afectan el proceso, lo que se traduce en desventajas para la fabricación de ladrillos.

Finalmente el nuevo ducto de inyección de aire caliente introduce el fluido al secadero a elevadas velocidades desde la parte superior hacia el suelo sobre gran longitud del túnel controlado durante todo el proceso.

## 6. CONCLUSIONES

Todas las técnicas de secado pueden ser tratadas mediante la toma de medición de las variables físicas de un túnel secadero. De esta manera se pueden manipular los sistemas de inyección de un fluido para secar las piezas de manera gradual y obtener un buen proceso de secado.

Al analizar los datos de las variables higrométricas que aparecen e intervienen en un túnel secadero se logra obtener información valiosa para proponer posteriormente modificaciones en los sistemas de inyección y/o extracción de fluidos que beneficien el proceso de secado.

Se propuso un sistema de inyección aire caliente de manera gradual para introducir el fluido a temperaturas aptas para optimizar el proceso secado de

ladrillos teniendo en cuenta todos los requerimientos necesarios para que un túnel secadero tenga óptimo desempeño en el proceso de secado.

Al realizar comparaciones cuantitativas y cualitativas podemos afirmar que el nuevo sistema de inyección de aire caliente construido mejoró considerablemente posteriormente la eficiencia en todo el proceso, disminuyendo de esta manera el gasto energético.

## 7. TRABAJOS FUTUROS

- Podría realizarse la toma de medidas de variables higrométricas sobre la entrada de un túnel secadero continuo para proponer un sistema de extracción de aire húmedo de manera gradual y así ajustar cada vez más las técnicas de secado.
- Un nuevo sistema de secado con fuente de calor dentro del mismo secadero que permita aportar la cantidad de calor necesaria para recalentar las piezas a temperaturas graduales que se han establecido aptas.
- Utilizando la una tabla de mediciones de variables higrométricas se podrían clasificar zonas de gran importancia en el proceso de secado para posteriormente proponer sistemas que regulen las variaciones en los cambios de zona, sabiendo que en cada cambio de zona tiene gran importancia si se quieren obtener buenos resultados en el proceso.

## 8. REFERENCIAS

[1] Nava R., Sánchez F. “Análisis teórico del secado de ladrillos en un horno continuo”. Instituto Politécnico Nacional. México, DF. 2002.

[2] LA SULTANA. Esquema de procedimientos realizados a la arcillas para la obtención de ladrillos.2013.

[3] Pavesi U. “Nueva generación de secaderos”. Técnica cerámica. Agosto 1992.

[4] Citado, marzo del 2013, disponible en:  
[<http://alexmonrzig.wordpress.com/2010/02/28/ecuaciones-de-bernoulli-2/>]

[5] Soler&PalauVentilationGroup. “Ventiladores Centrífugos Tipo Sirocco”.

[6] Chicago Blower corp. “Course 100: A Basic Course in Fan Selection (traducciónautorizada)”.

## 9. BIBLIOGRAFIA

**Tecnología cerámica: I LATERIZI editada en su 3ra edición por GRUPPO EDITORIALE FAENZA EDITRICE (ITALIA) EN 1992 Cpara la edición Italiana, Cpara la edición en castellano FAENZA IDETRICEIBERICA S.L.(1993). Obra editada por cortesía y bajo el partrociniode QUEMADORES BERALMAR, S.A. Terrassa-Barcelona, dedicada a todo el sector industrial de acilla roja.**

SEMINARIO INTERNACIONAL: FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE ARCILLA COCIDA, 1997 Medellín Colombia. VOLUMEN I editado por el Doctor Marcelino Fernandez a., Director del laboratorio Cerámico de AgemaTecnoseveco, S.A.

SEMINARIO INTERNACIONAL: FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES DE ARCILLA COCIDA, 2002 Medellín Colombia. VOLUMEN II editado por el Doctor Marcelino Fernandez a., Director del laboratorio Cerámico de AgemaTecnoseveco, S.A

REVISTAS COIN CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES, Cali Colombia coinltda@emcali.net.co, CURSO BASICO EN SELECCIÓN DE VENTILADORES, CURSO AVANZADO EN CORRECCION DE DENSIDADES, CURSO EN ARREGLOS Y CLASES DE VENTILADORES, Esta es una traducción autorizada COIN COURSE 100 – 400, serie desarrollada por CHICAGO BLOWER CORP., 1675 Glen Ellyn Road, GleadaleHeights, I11 60137, U.S.A..

Marks: Manual del Ingeniero Mecánico. VOLUMEN I Octava edición(segunda en español) Grupo de especialistas; THEODORE BAUMEISTER, EUGENE A. AVALLONE, THEODORE BAUMEISTER III. Editorial McGRAW-HILL.