

**ESTUDIO PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA  
LA DISMINUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ROTURA EN EL PRODUCTO FINAL  
DEL TEJAR ARCILLAS ZULIGRES S.A.S.**

**Autor**

**JHONATAN MOGOLLON MENDOZA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, INGENIERÍA AMBIENTAL E  
INGENIERÍA QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA 2019**

**ESTUDIO PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE MEJORAMIENTO PARA  
LA DISMINUCIÓN DEL PORCENTAJE DE ROTURA EN EL PRODUCTO FINAL  
DEL TEJAR ARCILLAS ZULIGRES S.A.S.**

**Autor**

**JHONATAN MOGOLLON MENDOZA**

**INFORME DE PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA OPTAR POR EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO**

**Director**

**JACQUELINE CORREDOR ACUÑA**

**Dra.Msc.Ing.**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL, INGENIERÍA AMBIENTAL E  
INGENIERÍA QUÍMICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA 2019**

**Nota de aceptación:**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Pamplona, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019**

## DEDICATORIA

*A mi madre Sonia, a mis hermanos Paula y Richard, y mis seres queridos por la paciencia y el apoyo incondicional en tan arduo proceso de formación.*

*“La disciplina es ese factor que permite lograr el éxito”*

*-Anónimo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi directora de tesis, Dra. Jacqueline Corredor, por su guía y apoyo en el desarrollo de este estudio.*

*A mis docentes que con su formación y consejos me ayudaron y guiaron durante todo mi proceso de formación como Ingeniero Químico.*

*A los laboratoristas que con su ardua labor me acompañaron y guiaron para el buen desarrollo de las diferentes pruebas que tuve realizar.*

*A la industria Tejar Arcillas Zuligres S.A.S. por abrirme sus puertas y depositar su confianza en mí para el desarrollo de este estudio final.*

## RESUMEN

Durante el estudio para el desarrollo de un plan de mejoramiento se encontró que la industria Tejar Arcillas Zuligres S.A.S. cuenta con gran variedad de materia prima (arcilla) permitiendo la manufacturación de diferentes tipos de ladrillos y tejas, variando la composición de la mezcla final. En el estudio de la evaluación del proceso se encontraron falencias que pueden ser remediadas aplicando conceptos de aprovechamiento energético y control de condiciones de proceso.

Con respecto al aprovechamiento energético, la caracterización básica de los tipos de combustible (carbón) dio como resultado pautas para la selección y compra en los requerimientos (menor cantidad de cenizas y humedad) de la planta, algunas de las afectaciones observadas durante el análisis de proceso, como requeme o tizne del producto, están directamente relacionadas con la calidad de este combustible.

Con respecto control de condiciones de proceso se determinó que la humedad relativa y la exposición al sol durante la etapa de secado a la intemperie (pudrición) junto con la regulación de la humedad relativa en los secaderos artificiales son factores clave para lograr la disminución del porcentaje de rotura que afecta a las industrias ladrilleras en general.

Las arcillas extraídas de la cantera cuentan con los porcentajes de alúmina (>20%) y silicatos (>50%) necesarios para presentar características refractarias en los productos finales, estas características se presentaron en porcentajes similares en arenas extraídas de la cantera que a simple vista denotan características arcillosas ahora contarán con una posible aplicación en material refractario.

Los mecanismos de caracterización pueden llegar a ser implementados en el laboratorio de control de calidad después de ser realizada una adecuación en la sala de control de calidad comenzando con la compra de reactivos, material de vidrio y la adquisición de balanzas mucho más precisas que permitan obtener mejores resultados de pruebas de gravimetría, calcinado y secado.

Estas variaciones, junto con la redistribución del aire caliente extraído del horno y la eliminación de la hornilla deben ser discutidas en el comité directivo de la industria, con el fin de mitigar el porcentaje de rotura de productos finales y aumentar la oferta de productos especiales en el mercado regional.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de la arcilla como materia prima en muchos procesos se ha visto demarcado por las propiedades que la componen, surgiendo discusiones en torno a la temperatura que puede llegar a soportar. La composición consiste de aluminatos y silicatos en mayores proporciones, así como diferentes óxidos en proporciones variantes (hierro, calcio, magnesio, etc).

Los procesos industrializados han tenido un gran auge en el departamento de Norte de Santander (Colombia), debido a la elevada presencia de canteras de arcilla de las que se obtiene en gran medida la materia prima para la producción de ladrillos, tejas y baldosines.

Aunque dichas industrias han tenido un crecimiento favorable y hoy en día se cuenta con variedad de tejares y ladrilleras, no todas cuentan con un nivel tecnológico que permita el adecuado control durante las horas de producción que se necesitan para suplir la demanda requerida a la empresa.

“En particular el sector cerámico del área metropolitana de San José de Cúcuta está constituido por 157 empresas, el 78% de ellas son pequeñas, 21% son medianas y el porcentaje restante está conformado por grandes compañías”. (Sánchez Molina & Ramírez Delgado, 2013).

En este estudio se analizaron los diferentes factores que afectan la producción industrial de ladrillos y tejas; tanto factores ambientales como de operación fueron observados dando como resultado la posible implementación de rutas de mejoramiento para dicho proceso ya estandarizado y que cuenta con la norma ISO 9001:2015.

Se estudió el problema más común en las ladrilleras industrializadas como lo es la rotura del producto tanto en la fase de preparación (extrusión y secado), como en el producto final (post-cocción). En la parte de secado de producto sin cocción se tuvo en cuenta el secado a la intemperie, que es afectado por las condiciones climáticas, y el secado artificial realizado en cámaras alimentadas por una hornilla que usa como materia prima carbón mineral, se ve afectado por la calidad del carbón.

En el proceso de cocción se puede observar otro porcentaje de rotura, debido a posibles fallas en el secado, condiciones de los carros de transporte, el material de los pasajuegos y los tablonés, el requeme del aire debido a los taponamientos presentes en la parte inferior del carro. Este material roto se cuenta aparte del que se observa con fisuras en el enfriamiento post-cocción.

Aunque los porcentajes de rotura han mantenido un promedio regular, fue necesario centrar la atención en este proceso, ya que muchas veces la retención de calor en diferentes secciones del carro de transporte fue identificada como punto de partida para lograr una disminución del porcentaje de rotura en el producto final.

Se buscaron soluciones en diferentes puntos de proceso que permitieron una aproximación aceptable en cuanto al requerimiento realizado por la industria ladrillera Tejar Arcillas Zuligres S.A.S. Se espera aceptación por parte del comité directivo para la implementación de soluciones que no requieran una gran variación económica en el presupuesto de la empresa.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1. ARCILLAS

La arcilla se define como material formado naturalmente por minerales de grano, de carácter plástico con ciertas cantidades de agua y que se endurece con secado o cocción (Bergaya & Lagaly, 2006). Dicho material puede ser analizado rápidamente aplicando los conceptos de granulometría y colorimetría, permitiendo identificar presencia de diferentes compuestos como lo son el óxido de hierro y el óxido de aluminio.

La definición de arcilla va entrelazada al enfoque que se use para definirla, es decir, el tamaño de partícula, la mineralogía, petrografía, propiedades físicas y químicas (Mora Basto, 2015). Se sabe que esta materia prima puede ser reducida casi en su totalidad a una medida que ronda los  $4\mu\text{m}$  (malla 200), o es posible obtenerla de menor tamaño (pasa malla 200) para resultados de humedecido precisos o tener una mejor distribución de tamaño para análisis químicos.

La caracterización de la arcilla ha permitido encontrar que es una aglomeración de diferentes compuestos como los aluminosilicatos, los óxidos, geles y otros (Besoain, 1985). Gracias al descubrimiento de dichas composiciones, y sus variaciones según el tipo de arcilla, se han podido dar diferentes usos estéticos a los productos obtenidos en base al tratamiento mediante cocción. Aunque la plasticidad es un parámetro que trae consigo la arcilla y es debida a los elementos finos presentes en suelo de la cantera de donde se extrae dicha materia prima (Florez 2016), (Díaz Rodríguez & Torrecillas, 2002).

De manera más precisa, la mayor parte de las arcillas están constituida por varios tipos de minerales, principalmente silicatos de aluminio hidratado (caolinita) y cuarzo (Ramirez et. al, 2002) (Mora 2015) y se destinan a las industrias cerámicas de construcción, en donde se centran en la adaptación de la materia prima a una mejor plasticidad para lograr una pasta homogénea que permita su moldeo (Weaver, 1997) (Galán & Aparicio, 2006).

La gran disponibilidad de materias primas en la zona de influencia (arcillas, calizas y feldespatos) ha sido la responsable de la existencia de este conglomerado empresarial. La formación geológica León y el grupo Guayabo son los principales referentes de tipo geológico donde están ubicados los yacimientos de explotación (Gelves et. Al., 2013).

La plasticidad es la propiedad principal de las arcillas que la hacen adecuada para la fabricación de ladrillo y que hace referencia a la habilidad que tiene la arcilla, en combinación de cierta cantidad de agua, de mantener casi cualquier forma que se le dé (Barranzuela, 2014).

## 1.2 CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

La clasificación de la arcilla se deriva de su aplicación industrial y su origen geológico, basándonos en la clasificación industrial podemos encontrar tres grupos: comunes, especiales y caolines. El primero de estos grupos se utiliza en productos cerámicos para construcción y alfarería; estas son normalmente de color rojo, debido a su alto contenido de óxido de hierro (5% ~7 %)(Mora Basto, 2015).

Las arcillas se presentan con variados colores, siendo blancas las arcillas más puras, pero, en general, son más o menos grises, a veces azules o negras, y frecuentemente, amarillas, rojas o pardas (Del Río, 1975).

Desde el punto de vista estructural los minerales de arcilla se clasifican en bilaminares, trilaminares y de cadena (**Tabla 1**).

Aunque no se realizó un estudio por estructura para las arcillas, cabe la posibilidad de ser realizado más adelante, con el fin de recopilar más información sobre las arcillas que se encuentran en la cantera de la ladrillera tejar Zuligres S.A.S. Esta clasificación estructural permite prever posibles aplicaciones a la arcilla que se recolecta en las temporadas de menor humedad en la zona de El Zulia, Norte de Santander. Esta recolección se lleva a cabo bajo esos criterios con el fin de mitigar la humedad contenida en la arcilla por la exposición a las condiciones climáticas. Normalmente se realiza en la temporada de principios de Junio.}

Tabla 1. Clasificación de la Arcilla según su estructura

Fuente (Murray, 2006).

---

<b>I. Amorfos</b>	
	Grupo del alofano
<b>I. Cristalinos</b>	
<b>A.</b>	<b>Bilaminares</b>
1.	Equidimensional
	Grupo de la caolinita
	Caolinita, dickita y nacrita
2.	Elongado
	Halloysita
<b>B.</b>	<b>Trilaminares</b>
1.	Celda expandible
a.	Equidimensional
	Grupo de la esmectita
	Montmorillonita sódica, calcilca y beidelita
	Vermiculita
b.	Elongada
	Esmectita
	Nontronita, saponita, hectorita
2.	Celda no expandible
	Grupo de la illita
<b>C.</b>	Tipos regulares de capa mixta
	Grupo de la clorita
<b>D.</b>	<b>Estructura de tipo cadena</b>
	Sepiolita
	Palygorskita

---

### 1.3 APLICACIONES

Aprovechando la maleabilidad de la arcilla al mezclarse con agua y su endurecimiento al exponerse a procesos de secado o cocción, se han explorado diferentes campos de acción para la misma, se tienen en cuenta también propiedades mencionadas anteriormente como contenido de humedad, contenido de silicatos, aluminatos y óxido ferroso.

La aplicación con mayor recorrido es la producción de ladrillos de manera artesanal o de manera industrializada; en ambos campos de acción se realiza una mezcla de la arcilla con un porcentaje de arena, agua y otros aditivos con el fin de dar propiedades “específicas” a los ladrillos terminados.

Otra de las aplicaciones, aunque no tan alejada del proceso de producción de ladrillo, es la producción de tejas que posee su diferenciación en la parte de molde por extrusión.

Así como la arcilla se clasifica según su composición o según su estructura interna, los ladrillos y tejas tienen su clasificación por su forma o su capacidad térmica (Ramos et Al., 2002).

La división más común es en refractarios o comunes, el carácter refractario se otorga a ladrillos que tienen elevadas concentraciones de óxido de aluminio y aún más elevadas concentraciones de óxido de silicio. Los ladrillos comunes son los usados en la construcción o decoración, debido a que cuentan con cierta resistencia y puede variar su color según la presencia de óxido de hierro u otros óxidos.

## 1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso de producción de materiales cerámicos suele componerse de nueve fases, dentro de las cuales se toman cinco como constantes. Dichas fases pueden observarse en la siguiente figura (Figura 1).

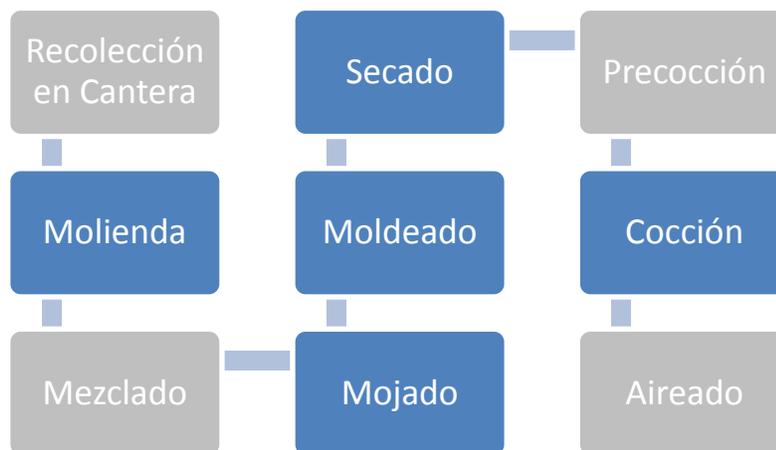


Figura 1. Proceso de Producción de Productos Cerámicos

Fuente: Autor

### 1.4.1 MOLIENDA

El proceso de reducción de tamaño de la arcilla es parte fundamental del proceso para obtención de productos cerámicos, ya que ésta materia prima puede ser mejor tratada en el tamaño de  $4\mu\text{m}$ . Esto, con el fin de lograr una mejor aglomeración de partículas, además de facilitar su paso por las cintas transportadoras hasta la sección de mojado.

Esta fase suele ser llevada a cabo en molinos de bolas con orientación horizontal, de alrededor de 4 metros de largo, adicionalmente se puede hacer el paso de la arcilla por un molino de martillos, con el fin de evitar la aglomeración de la arcilla en las paredes. Este es un factor que se ve reflejado en los niveles de humedad de dicha materia prima.

Otra técnica es aplicar el proceso de molienda en húmedo, que puede generar costos muy elevados por la transformación del proceso, aunque incrementaría el valor comercial de sus productos (Moreno et. Al. 2018).

#### **1.4.2 MOJADO**

Para lograr moldear la arcilla es necesaria la adición de agua en porcentajes variados; esto, según la relación que se tenga de arcilla-arena, permitiendo su paso por la extrusora o su aglomeración en un molde artesanal.

El mojado tiene una relevancia más allá del moldeado, la cantidad de humedad ganada puede tener una influencia significativa en el secado, ya que éste se realiza a la intemperie y en secaderos artificiales.

Al intentar lograr una plasticidad adecuada, se tiende a adicionar un exceso de agua lo que provoca que durante las fases de secado no se logre eliminar por completo la humedad residual en la pasta moldeada por extrusión; este factor trae consecuencias graves si al momento del secado artificial se presentan saltos de temperatura que provoquen la evaporación de manera abrupta generando agrietamientos o debilidad en los productos antes de su cocción.

#### **1.4.3 MOLDEADO**

El moldeado de la pasta cerámica obtenida luego del proceso de mojado se realiza mediante moldes artesanales y mediante extrusoras de boquillas variables, que permiten la estandarización de las dimensiones para los productos finales.

Usando una extrusora este proceso tiene la característica de intermitencia, ya que puede ser pausado para retirar material defectuoso encontrado por operarios y reinsertado antes del paso de la pasta cerámica por el moldeado; el reintegro de material defectuoso encontrado se realiza en el mojado, donde mediante espas se procesa de nuevo junto con la pasta recién humedecida.

Gracias a la variabilidad de las boquillas, pueden obtenerse diferentes productos de manera segmentada entre días; puede darse la situación de producción de dos tipos diferentes de ladrillos o de tejas en un mismo día, así como la producción de pasa juegos o tabloncillos necesarios para la cocción en el horno.

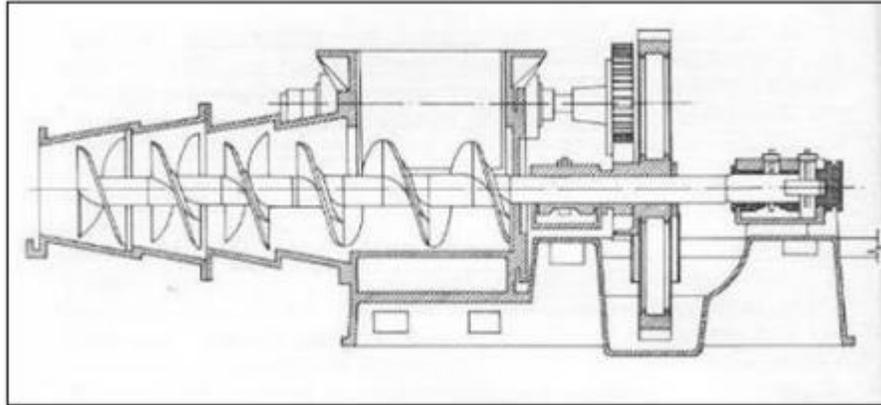


Figura 2. Galletera de Hélice

Fuente: Moreno, 1981

#### 1.4.4 SECADO

El proceso de secado de pasta cerámica tiene como propósito reducir el porcentaje de humedad presente en el producto moldeado facilitando el proceso de cocción y reduciendo el porcentaje de rotura durante la cocción.

Este proceso puede ser llevado a cabo de manera natural a la intemperie bajo condiciones ambientales evitando la exposición a la luz del sol, o de manera artificial mediante el uso de recamaras que realizan transferencia de calor mediante convección.

En el caso de la ladrillera de estudio, presenta las dos formas; un secado a la intemperie específico para cada tipo de ladrillo ya que debe tenerse en cuenta las dimensiones y el espaciado interno que posee, esto debido a que se busca que la mayor parte sea realizada por el flujo de aire a condiciones ambientales.

El secado a la intemperie debe cumplir con las condiciones para el proceso de pudrición, donde se deja la arcilla húmeda en ausencia de luz y de circulación de aire para que, mediante la pudrición, pueda formar un aglomerante entre las partículas de manera que se aumenta el tamaño de las mismas y se obtenga mayor plasticidad (Muñoz, 2013).

El secado artificial se realiza en tres recamaras, donde dos de ellas toman el aire caliente producido por una hornilla después de la combustión de carbón vegetal y la última cámara recibe aire caliente recirculado desde el horno de cocción.

En este proceso se pueden observar fisuras y grietas que poseen los productos, estas aparecen al cabo de horas o días y hacen parte del porcentaje de rotura precocción, en la industria ladrillera es común encontrar este tipo de problemas ya que se derivan por la ligera exposición al sol si el lugar de secado a la intemperie no está totalmente recubierto y en los secaderos artificiales se da por las

fluctuaciones de aire que se presentan dentro de las cámaras siendo este un proceso de flujo de aire.

El secado artificial se realiza de forma gradual buscando aumentar la temperatura de los ladrillos desde la temperatura ambiente hasta una temperatura final de cien grados Celcius ( $100^{\circ}\text{C}$ ) durante el recorrido de los carros transportadores dentro de las cámaras de secado.

### 1.4.5 COCCIÓN

El proceso de cocción consiste en someter la pasta cerámica previamente secada a altas temperaturas durante prolongados intervalos de tiempo, con el fin de reducir su plasticidad y aumentar su dureza; así como obtener la apariencia final del producto deseado.

Las fases de cocción en el horno son tres: precalentamiento, cocción y enfriamiento (ver Figura 1.6). En la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los  $100^{\circ}\text{C}$ .

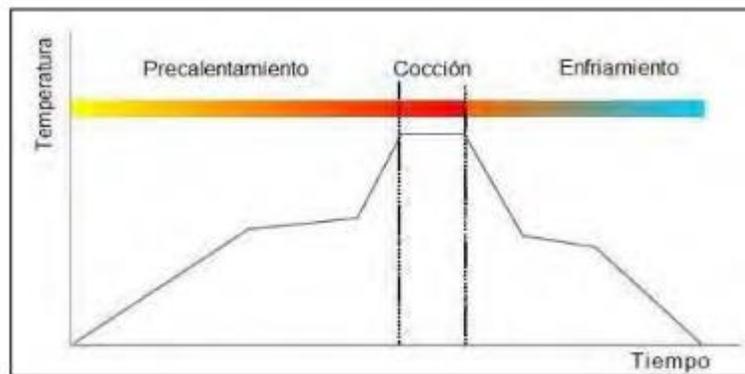


Figura 3. Ciclo de cocción típico de un producto de arcilla.

Fuente: Terán, 2013.

En la etapa de enfriamiento la temperatura desciende desde la de cocción hasta la normal, esto debe realizarse paulatinamente (de  $500^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$ ), especialmente en los hornos cerrados, para garantizar dureza, tenacidad y colorado de las piezas vitrificadas.

El enfriamiento de las piezas está definido por su tamaño, cuanto mayor es el tamaño de los ladrillos, la temperatura normal se alcanza más lentamente. Los productos cuyo enfriamiento se realiza lentamente, son tenaces y muy resistentes a las acciones mecánicas. Por el contrario un enfriamiento rápido los hace frágiles, hasta el punto que si han sido enfriados con demasiada premura se rompen a veces espontáneamente, sin la intervención de agentes mecánicos exteriores (Anfalit, 2002).

Villarreal (2004) considera cuatro etapas durante el proceso de cochura:

- 1) Precalentamiento a 200° C y eliminación del agua unida físicamente a la arcilla.
- 2) Calentamiento hasta 700° C, aquí se da la eliminación del agua químicamente unida a la arcilla.
- 3) Maduración del producto entre 900° C y 1000° C.
- 4) Temple de la pieza, enfriamiento lento hasta alcanzar 500° C.

Es necesario considerar las características de la pasta cerámica a cocinar, ya que el rango de temperatura debe estar relacionado al inicio de la vitrificación (formación de fase vítrea) y al inicio de la deformación. Es necesario que este rango de temperatura sea amplio, ya que estando cerca a alguno de los extremos puede causar una elevada porosidad (vitrificación) o un producto deformado.

Otro factor importante a considerar es el control de la curva de cocción, de la cual dependerán varias de las características del ladrillo. Si no se controla la evolución de la temperatura en el tiempo, puede haber problemas con el ladrillo, incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas (Barranzuela, 2014).

## **1.5 LADRILLOS**

Los ladrillos tienen un amplio rango de clasificación, lo que permite darle muchas aplicaciones tanto en construcción como en mampostería o para oficios especializados de altas temperaturas. Una mejor caracterización centrada en la composición del tipo de ladrillo puede ser observada en la siguiente tabla (Tabla 2.) en la que se recopiló información del Manual del Ingeniero Químico (Perry, edición 2007 (publicación 1934)) acerca de la clasificación de los ladrillos por composición y donde se mencionan aplicaciones según el tipo de ladrillo y las temperaturas que pueden llegar a alcanzar.

**Tabla 2. Clasificación de Ladrillos según su composición. Fuente: Perry, 2007(1934) Organización: Autor**

Ladrillo	Características	Ladrillo	Características	Ladrillo	Características	Ladrillo	Características
Arcilla	Ladrillos comunes, para construcción, no soportan temperaturas elevadas durante mucho tiempo. Predominan los de color rojo por su contenido de óxido de hierro aunque pueden presentarse variaciones.	Silicio	Fabricados con rocas de hasta 98% de silicio. Ideales para las industrias del acero.	Alta Alumina	Fabricados con materias primas ricas en alumina, pueden contener hasta 90% de alumina. Ideales para Hornos de elevadas temperaturas.	Aislante	Son una clase de ladrillos que consisten de arcilla caolita altamente porosa, lo que los hace altamente resistentes a la temperatura pero con baja conductividad termica; estas características los ubican en las paredes calientes de los hornos para evitar elevados consumos de combustible y lograr reducir el tiempo de calentamiento y enfriamiento del producto. Se utilizan en hornos de procesos químicos, alambiques de aciete o calentadores.
Refractario	Ladrillos con elevada cantidad de alumina y silicio, ideales para construcciones destinadas a altas temperaturas.	Magnesita	Hay ladrillos cocinados y comprimidos a alta presión. Los cocinados se usan para fundición a corazón abierto del acero y los comprimidos se usan como revestimiento en hornos de cemento.	Cromo	Hay ladrillos cocinados y comprimidos a alta presión. Los cocinados son usados como separadores entre acidos y bases refractarias, así como en sellado de pozoz; los comprimidos son usados en paredes de hornos de fundicion a corazón abierto.		

## **2. OBJETIVOS**

### **2.2 OBJETIVO GENERAL**

Plantear un método de contingencia para disminuir el porcentaje de rotura del producto final teniendo en cuenta la línea de proceso y las normas estandarizadas para los productos de pasta arcillosa

### **2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Obtener datos característicos de la arcilla con que se trabaja en la planta, justo después de la explotación de cantera.
- Evaluar las propiedades mecánicas de la pasta arcillosa después de ser sometida al tratamiento industrial.
- Caracterizar la materia prima usada como fuente de calor para el pre-horno y el horno usado para el proceso de cocción.
- Obtener datos de rendimiento de proceso que permitan evaluar las posibles rutas de mejoramiento.
- Obtener productos que cumplan con los requerimientos de calidad dictados para las industrias de materiales cerámicos de construcción.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.2 ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO**

Se realizó un análisis centrado en la parte de secado y cocción presentes en el proceso descrito anteriormente; donde se tuvieron en cuenta factores como flujo de aire entre las hileras de bloques y su exposición a las condiciones ambientales.

Se tuvo en cuenta un registro anterior de las temporadas de lluvias y la humedad que se puede percibir en la ubicación de la planta. Dado que el estudio dependía de la demanda que tuviera la empresa en cuanto a sus productos, el análisis debió ser delimitado a la cantidad de visitas que se realizaron a la planta y los tipos de ladrillos que se encontraban en etapa de producción.

Los reportes obtenidos por el ingeniero de planta se analizaron con respecto a las variaciones del clima que pudieran presentarse durante la realización de la práctica.

Para el secado artificial se debe tener en cuenta el uso de la hornilla, ya que es posible la presencia de fluctuaciones de aire caliente que entran a las cámaras de secadero 1 y 2. Para la cámara de secado 3 se utiliza un reciclo de aire caliente procedente del horno de cocción mediante una turbina que alimenta el secadero desde el final del recorrido.

#### **3.3 ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS**

Para el análisis de las materias primas (arcilla, arena, carbón mineral) se realizó un muestreo recién explotada la cantera, se considera la presencia de variedad de muestras, pero se centró el estudio en arcilla roja común, arcilla negra, arena limpia, arena arcillosa.

La muestra de carbón se recolectará de las dos variaciones disponibles, carbón para la hornilla y carbón para el horno. Se anotó su procedencia y se procedió a desarrollar pruebas similares a las establecidas por ASTM (vol. 5 sección 6) que específica la reducción de tamaño hasta malla 60 del tamiz de Tyler.

Fue necesario utilizar la máquina de los Ángeles (Molino de bolas) para dicha reducción de tamaño, para el caso de la arcilla fue necesario un secado previo debido a las condiciones climáticas del laboratorio, la humedad del ambiente donde se encontraban almacenadas las muestras tuvieron una elevada influencia en las pruebas de humedad.

En la parte de análisis se realizaron estudios de humedad, cenizas y composición con muestras de carbón Hornilla, carbón Horno Tunel, Arcilla roja, Arena limpia, Arena arcillosa.

### **3.3.1 HUMEDAD**

Para los análisis de humedad se tomaron muestras de 30g, se rotularon crisoles grandes y se hizo uso del horno del laboratorio de suelos de la universidad para realizar secado durante 1 hora a 110°C.

### **3.3.2 CENIZAS**

Para los análisis de cenizas se utilizaron 25g de carbón, se precalentó la mufla a 900°C y se pusieron los crisoles dentro por alrededor de 30 minutos, se dejó la muestra en la mufla a 900°C durante 1 hora.

### **3.3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Para las pruebas de composición química se utilizaron muestras diferentes de arcilla y arena, además de incorporar un ladrillo terminado para ser analizado también. Con este análisis se determinó el porcentaje de silicato y aluminato presente en ellas usando gravimetría y calcinación.

Se pesaron 0,5g de cada muestra, diluyeron en 20mL de HCl (1:1) y fueron calentados hasta sequedad, se le adicionaron 1,5mL de HCL 37% y agua destilada hasta desprender todo el sólido del vaso.

Se filtró mediante gravedad, el filtrado y el agua de lavado fueron utilizados para la determinación de Óxido de Aluminio. Lo residual en el papel filtro fue colocado en un crisol precalentado y una mufla a 900°C durante 1 hora y 30 minutos.

Para determinar el óxido de aluminio se le adicionó un tercio de papel filtro franja blanca al filtrado obtenido de la prueba de silicatos, esto con el fin de determinar la presencia de hierro. Se adicionó rojo de metilo al 0,1% p/v y se agitó hasta una coloración rosa. Se agregó cloruro de amonio al 25% p/v calentando la muestra hasta ebullición, se procedió a neutralizar con hidróxido de amonio y se llevó a ebullición.

El precipitado obtenido fue lavado con 40mL de nitrato de amonio al 2% p/v. Se adicionó este precipitado a una mufla precalentada a 900°C durante 1 hora y se realizó una rampa de enfriamiento dentro de la misma.

En estas pruebas es necesaria la carbonización del papel filtrante para evitar desviaciones en los datos registrados de masa para cada ensayo (Fiallo, 2012).

## **4. RESULTADOS Y ANALISIS**

### **4.1 ANALISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO**

Durante el análisis realizado a los procesos de secado y al proceso de cocción se encontraron partes bajas del mismo. Gracias al análisis de composición química se abre la posibilidad de manufacturar pasajuegos y tablones de calidad refractaria que reemplazarían a los utilizados actualmente, manufactura con arcilla roja, que no resisten muchos ciclos de cocción debido a las elevadas temperaturas para el producto terminado.

El porcentaje de rotura permaneció en un rango de aceptabilidad propuesto por la empresa y que evita la pérdida elevada de productos (3% ~ 5%).

Debido a que el proceso de secado se realiza en un secador caliente, la superficie se calentará antes que el interior, con lo que el agua va de la superficie al interior, aumentando las diferencias de humedad entre esas zonas.

Para solucionar ese fenómeno es necesario mantener una humedad relativa alta dentro del secadero, muy próxima al punto de rocío, manteniendo el ambiente a temperaturas elevadas.

Se observó como característica importante, una elevada cantidad de polvo proveniente de la molienda. Aunque no hace parte del problema central, esta situación afecta directamente la salud de los operarios y fue mitigada utilizando captaciones y un ventilador que disipa el polvo hacia el techo de la ladrillera.

Durante algunos ciclos de producción se utilizó el carbón de la hornilla como alimento para el horno de cocción, esto dio como resultado la presencia de residuos oscuros en material terminado.

Debido a que el combustible del horno (carbón) llega a tener contacto con el material, es necesario mantener un carbón de buen rendimiento que no deje residuos notables en los productos finales.

Realizando variaciones en el acomodo de los ladrillos antes del secado artificial se buscó mejorar la fluidez del aire entre cada hilera y columna, buscando la reducción del requeme causado por diferentes taponamientos generados por residuos de material quebrado o de carbón sin combustión completa.

La industria tiene como propuesta la eliminación de la hornilla y una redistribución del aire caliente, de manera que pueda ser aprovechado por los tres secaderos y no sólo por uno de ellos, esto debido a la capacidad de recuperación completa de calor que posee el Horno Túnel con que cuenta la industria (ELLA, 2015).

## 4.2 ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS

### 4.2.1 HUMEDAD

Para determinar la humedad se realizó el pesado de las muestras a tratar, rotulando y ordenando como se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3. Antes de prueba de secado**

ANTES DE SECADO			
MUESTRA	MASA	CRISOL	TOTAL
ARCILLA	30	35	65
ARENA ARCILLOSA	30	37	67
ARENA LIMPIA	30	39	69
HORNILLO	30	37	67
HORNO	30	36	66

Dichas muestras fueron puestas en el horno a 110°C durante una hora realizando pruebas por triplicado para tomar un valor promedio que permita una mejor aproximación al valor real. Los datos consignados se registran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4. Después de Secado.**

MUESTRA	DESPUES DE SECADO			PRUEBA 2		PRUEBA 3		PROMEDIO
	MASA	CRISOL	TOTAL	MASA	TOTAL	MASA	TOTAL	
ARENA ARCILLOSA	65,42	37	28,42	66	29	65,42	28,42	28,61
ARENA LIMPIA	68,22	39	29,22	68,32	29,32	68,22	29,22	29,26
ARCILLA	63,65	35	28,65	63,93	28,93	63,53	28,53	28,70
HORNILLO	66,25	37	29,25	66,25	29,25	66,25	29,25	29,25
HORNO	65,67	36	29,67	65,67	29,67	65,67	29,67	29,67

Tomando el promedio obtenido y sustrayéndolo de la masa inicial de cada muestra, se calcula el porcentaje de humedad utilizando la siguiente ecuación (Ecuación 1)

$$\% = \frac{\text{Masa después de proceso}}{\text{Masa inicial}} * 100$$

**Ecuación 1. Porcentaje de Humedad**

Los datos obtenidos se muestran en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Porcentaje de humedad en las muestras.**

HUMEDAD		
MUESTRA	MASA	PORCENTAJE
ARCILLA	1,3	4,32
ARENA ARCILLOSA	1,4	4,62
ARENA LIMPIA	0,7	2,48
HORNILLO	0,8	2,50
HORNO	0,3	1,10

Los porcentajes de humedad de la arcilla y los dos tipos de arena se encuentran acorde con lo reportado en las bibliografías estudiadas para estos ensayos, además, aseguran casi una remoción completa de la humedad durante el proceso de secado artificial, ya que se estima que el ladrillo gana un 12% en peso de humedad después de realizar el proceso de mojado previo a la extrusión.

Estos resultados de humedad pueden variar, ya que el transporte de muestras no selladas correctamente y el ambiente húmedo del laboratorio afectan de manera consistente los resultados obtenidos.

En cuanto a los carbones, se observa que la relación de esos porcentajes es de 2:1 lo que puede contribuir a los problemas de corrosión que se presentan en los secaderos que obtienen su aire caliente de la combustión realizada en la hornilla.

### 4.3 CENIZAS

Para esta prueba era necesario precalentar la mufla a 900°C y precalentar los crisoles a esa temperatura y registrar su masa; además debieron tomarse cantidades que permitieran la reproducción del ensayo. Los datos se muestran en la **Tabla 6**.

**Tabla 6. Antes de Calcinado.**

ANTES DE CALCINADO			
MUESTRA	MASA	CRISOL	TOTAL
HORNILLO	25	35	60
HORNO	25	37	62

Para la desviación se realizó una prueba por triplicado con las muestras dentro de la mufla a 900°C durante una hora. Los datos se registran en la **Tabla 7**.

**Tabla 7. Después de calcinado.**

MUESTRA	DESPUES DE CALCINADO			PRUEBA 2		PRUEBA 3		PROMEDIO
	MASA	CRISOL	TOTAL	MASA	TOTAL	MASA	TOTAL	
HORNILLO	56,81	37	19,81	57,39	20,39	56,81	19,81	20,00
HORNO	61,39	39	22,39	61,49	22,49	61,39	22,39	22,42

Tomando el promedio obtenido del ensayo por triplicado y sustrayéndolo de la masa inicial de las muestras, se procede a utilizar la **Ecuación 1**.

**Tabla 8. Porcentaje de cenizas en las muestras.**

PORCENTAJE		
MUESTRA	MASA	PORCENTAJE
HORNILLO	5,0	20,00
HORNO	2,6	10,30

Estos resultados de ceniza concuerdan con la presencia de tizne en algunos ladrillos luego de su paso por cocción, este material residual puede producir un requeme del producto durante su cocción, formando fisuras o debilitando la estructura del ladrillo.

#### **4.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA**

##### **4.4.1 OXIDO DE SILICIO**

Durante esta práctica se debió realizar el pesado y rotulado de las muestras mencionadas a continuación (**Tabla 9**), fue necesario precalentar la mufla a 900°C y calcinar los crisoles.

El procedimiento fue llevado de manera regular, con la singularidad de que fue necesario agregar 5mL de HCl para la muestra de ladrillo, cuando el procedimiento indicaba el uso de 1,5mL de dicha solución, esto para lograr remover todo el contenido del sólido formado después del secado realizado.

**Tabla 9. Antes de Calcinado.**

ANTES DE CALCINADO			
MUESTRA	MASA (g)	CRISOL	MASA (g)
1. ARCILLA	0,5	1	37,34
2. ARENA	0,5	2	32,75
3. LADRILLO	0,5	3	31,01

Se calcinaron las muestras a 900°C durante una hora y media. Se registraron los datos cómo se mencionan a continuación, se utilizó la **Ecuación 1** para calcular el porcentaje de óxido de silicio contenido en las muestras.

**Tabla 10. Después de Calcinado.**

DESPUES DE CALCINADO			
MUESRTA	MASA (g)	- CRISOL	PORCENTAJE
1	37,56	0,28	56
2	32,94	0,31	62
3	31,19	0,32	64

Estos porcentajes de silicatos encontrados en las muestras pueden dar indicios de posibles aplicaciones para materiales refractarios, es decir, podrían suplirse necesidades dentro del proceso y ampliar la oferta de productos dentro del mercado local.

#### 4.4.2 ÓXIDO DE ALUMINIO

Para esta prueba las muestras fueron los residuos de filtrado de la prueba para hallar el porcentaje de óxido de silicio realizada anteriormente. Los crisoles tuvieron un precalentamiento en la mufla a 900°C para registrar su masa adecuadamente.

Fue necesario registrar el valor del peso del papel para calcular correctamente la masa obtenida del precipitado debido a que la muestra con que se contaba era líquida. Los datos se registraron en las **Tabla 11 y Tabla 112**.

**Tabla 121. Antes de calcinado.**

ANTES DE CALCINADO				
MUESTRA	MASA(g)	CRISOL	MASA (g)	TOTAL
1	2,43	1	37,04	39,47
2	2,38	2	32,35	34,73
3	2,4	3	30,01	32,41

**Tabla 132. Después de calcinado.**

DESPUES DE CALCINADO					
MUESTRA	MASA(g)	-CRISOL	-PAPEL	FRACCION	PORCENTAJE
1	37,1363	1,74959757	0,68040243	0,28	28,00
2	32,5735	1,66599762	0,71400238	0,30	30,00
3	30,777	1,512	0,888	0,37	37,00

Estos porcentajes de aluminio cumplen el rango pertinente para entrar en la categoría que presenta características refractarias ya que se establece un rango entre 25% ~ 45% de alúmina para llegar a esta clasificación.

## 5. CONCLUSIONES

En general, la producción industrial de materiales cerámicos puede ser rigurosamente detallada y controlada mediante automatización en la mayoría de sus procesos, lamentablemente una automatización completa supera las expectativas de costos de inversión proyectadas.

Las pruebas de determinación de cenizas y humedad funcionan como mecanismo de control para las materias primas y combustibles utilizados, además pueden ser realizados de manera sencilla en la industria gracias a la compra de material y reactivos (tema en discusión por comité directivo).

La materia prima utilizada en la industria ladrillera Tejar Arcillas Zuligres S.A.S. está en el rango aceptable (25% ~ 45%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) para la producción de materiales con características refractarias, esto abre una posibilidad de aumento de oferta en el mercado posicionándola como una de las pocas industrias con este tipo de material.

El proceso de pudrición tiene una incidencia elevada, ya que es necesario tener condiciones óptimas para que la aglomeración se dé de manera correcta evitando malformaciones y fisuras que ocasionan rotura durante el secado y durante la cocción.

Como plan de contingencia es necesaria una inspección rigurosa y un control adecuado referente a las condiciones con que se realiza el secado artificial, ya que es este el punto crucial para una mejor producción, obteniendo un porcentaje de rotura controlado; debe realizarse una caracterización de las materias primas utilizadas para poder tener un criterio de aproximación en cuanto al rendimiento y mejor ruta de aprovechamiento del material.

## **6. RECOMENDACIONES**

Detener el uso del carbón de la hornilla ya que este es responsable de ciertas afectaciones durante el proceso, esto con el fin de reducir en cierta medida la inversión económica en la compra de este combustible.

Una caracterización de materias primas con cada compra de combustible (carbón) y cada explotación de la cantera, se logrará así diferenciar las posibles aplicaciones que puedan darse a cada arcilla y se evitará reincidir en los mismos problemas en el momento de producción.

Realizar el estudio de factibilidad para el diseño e implementación de un ciclón para la recuperación de material (arcilla) flotante procedente de la molienda y el proceso de mojado.

Realizar un estudio de diseño detallado para el reacomodo de la turbina que distribuye el calor procedente del horno hacia los secaderos, esto con el fin de asegurar un aprovechamiento energético completo y disminuir el uso de la hornilla.

Realizar estudios más detallados a las propiedades físico-químicas del carbón, adecuando el laboratorio de control de calidad y aprovechando los convenios educativos que podría realizar la industria.

Las adecuaciones anteriormente descritas tienen posibilidad de éxito de un 70% como plan de contingencia hasta que sea realizado el estudio de optimización completo de la planta.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Anfalit. (2002). Diagnóstico de la industria ladrillera nacional. Bogotá: Camargo y Asociados Ingenieros Consultores.*
- ASTM D3173. Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.*
- ASTM D3174. Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal.*
- ASTM D3176-15. Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke*
- ASTM D3177. Standard Test Methods For Total Sulfur In The Analysis Sample Of Coal And Coke*
- ASTM D4239. Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion*
- Barranzuela, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura. Universidad de Piura, 95. Retrieved from: [http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1755/CI\\_199.pdf?sequence=1](http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1755/CI_199.pdf?sequence=1)*
- Besoain, E. Mineralogía de arcillas de suelos, San José, Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, 1985.*
- Del Río, J. (1975). Materiales de construcción (4ª). Barcelona: Juan Bruger. 6.*
- Díaz Rodríguez, L. A., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. Boletín de la Sociedad española de Cerámica y Vidrio, 41(5), 459-470.*
- EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS (ELLA), P. D. A. L. P. M. E. C. C. (2015). Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera.*
- Fiallo, L. Y. V., & Hernández, J. H. C. (2012). Manual 4: Prácticas De Laboratorio De Análisis Químico I. Universidad Industrial de Santander, 14–19.*

- Florez, A. *Caracterización De Arcillas Y Preparación De Pastas Cerámicas Para La Fabricación De Ladrillos En La Ladrillera Mariscal Robledo S.A. Facultad De Tecnologías: Química Industrial, Universidad Tecnológica De Pereira, Colombia 2016.*
- Galán, E., & Aparicio, P. (2006). *Materias primas para la industria cerámica. Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, 2, 31-49.*
- Gelves, F. J, Monroy .R., Sánchez, J., Ramírez, R.P. *Estudio comparativo de las técnicas de extrusión y prensado como procesos de conformado de productos cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta, Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr. 52 (1) (2013) 48–54.*
- Green, D., & Perry, R. (2007). "Materials of Construction" *Perry's Chemical Engineers' Handbook. In Perrys' chemical engineers' handbook. <https://doi.org/10.1036/0071542078>*
- Mora, R. *Caracterización De Arcillas Provenientes De La Mina Murano Del Municipio El Zulia, Norte De Santander, Colombia Facultad De Ciencias Básicas Maestría En Química Pamplona, Colombia 2015.*
- MUÑOZ CAMACHO, E., & GRAU RÍOS, M. (2013). *INGENIERIA QUIMICA. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España.*
- Murray, Haydn H. (2006a). *Chapter 2 Structure and Composition of the Clay 120 Minerals and their Physical and Chemical Properties. In H. M. Haydn (Ed.), Developments in Clay Science (Vol. Volume 2, pp. 7-31): Elsevier*
- Ramos Ramirez, E., Guzmán Andrade, J. J., Sandoval Juarez, M. C., & Gallega Ortega, Y. (2002). *Caracterización de Arcillas del Estado de Guanajuato y su Potencial Aplicación en Cerámica. Acta Universitaria, 12(1), 9.*
- Sánchez Molina, J, & Ramírez Delgado, P. (2013). *El Clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta (Trabajo de grado inédito). Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia*
- Weaver, M., *Conserving Buildings, A Manual of Techniques and Materials. John Wiley & Sons Inc, Architectural ceramics. ISBN 0-471-50944-2, pp. 99 - 132. 1997*