



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES DEFECTOS GENERADOS  
EN LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS TIPO PERFORACIÓN  
HORIZONTAL SENCILLO EN LA LADRILLERA EL AJIZAL  
S.A.S.**

**LINA MARCELA CHAUCANES JULIO**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA DE MATERIALES**

**MEDELLÍN, COLOMBIA**

**2019**



ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES DEFECTOS GENERADOS EN LA  
ELABORACIÓN DE LADRILLOS TIPO PERFORACIÓN HORIZONTAL  
SENCILLO EN LA LADRILLERA EL AJIZAL S.A.S.

LINA MARCELA CHAUCANES JULIO

INFORME DE PRÁCTICA COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA DE MATERIALES

Asesor universidad

SANDRA J. GARCIA ACEVEDO  
INGENIERA DE MATERIALES

Asesor empresa Ajizal S.A.S

SIRLEY MARITZA GARCIA FLÓREZ  
INGENIERA DE MATERIALES

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES

MEDELLÍN, COLOMBIA

2019

## Tabla de contenido

Introducción.....	10
1. Objetivos .....	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2. Marco Teórico .....	13
2.1 El Ladrillo.....	13
2.2 Tipos de Ladrillos.....	13
2.3 Generalidades .....	15
2.4 Propiedades.....	17
2.4.1 Plasticidad.....	17
2.4.2 Contracción.....	17
2.4.3 Porosidad .....	17
2.4.5 Color .....	18
2.5 Calidad del ladrillo .....	18
2.6 Esquema del proceso de producción de la ladrillera El Ajizal.....	30
3. Metodología .....	36
3.2 Descripción de la metodología.....	37
3.2.1 Observación de cada etapa en el procesamiento del ladrillo .....	37
3.2.2 Caracterización de las materias primas. ....	38
3.2.3 Conformado de probetas.....	41
3.2.4 Procedimientos experimentales a las probetas sinterizadas.....	42
3.2.5 Recomendaciones para mejorar el proceso productivo. ....	44

	4
4. Resultados y análisis.....	45
4.1 Análisis de calidad de las piezas cerámicas dentro del procesamiento del ladrillo de la ladrillera el Ajizal S.A.S.....	45
4.2 Caracterización de las materias primas.....	51
4.2.1 Muestreo.....	51
4.2.2 Ensayo de plasticidad (límites de Atterberg).....	53
4.2.3 Ensayo lavado sobre malla #200.....	55
4.2.4 Análisis químico y mineralógico de la materia prima.....	56
4.2.5 Ensayo termogravimétrico.....	58
4.3 Análisis de las probetas sinterizadas.....	61
4.3.1 Ensayo de flexión.....	62
4.3.2 Ensayo de absorción.....	64
4.3.3 Ensayo de resistencia mecánica y absorción para la mezcla (50 limo, 30 greda y 20 arenilla). .....	65
4.5 Recomendaciones.....	67
4.5.1 Creación de un formato para el control de las medidas del ladrillo en la extrusora.....	67
5. Conclusiones.....	69
Referencias.....	71
Anexos.....	74

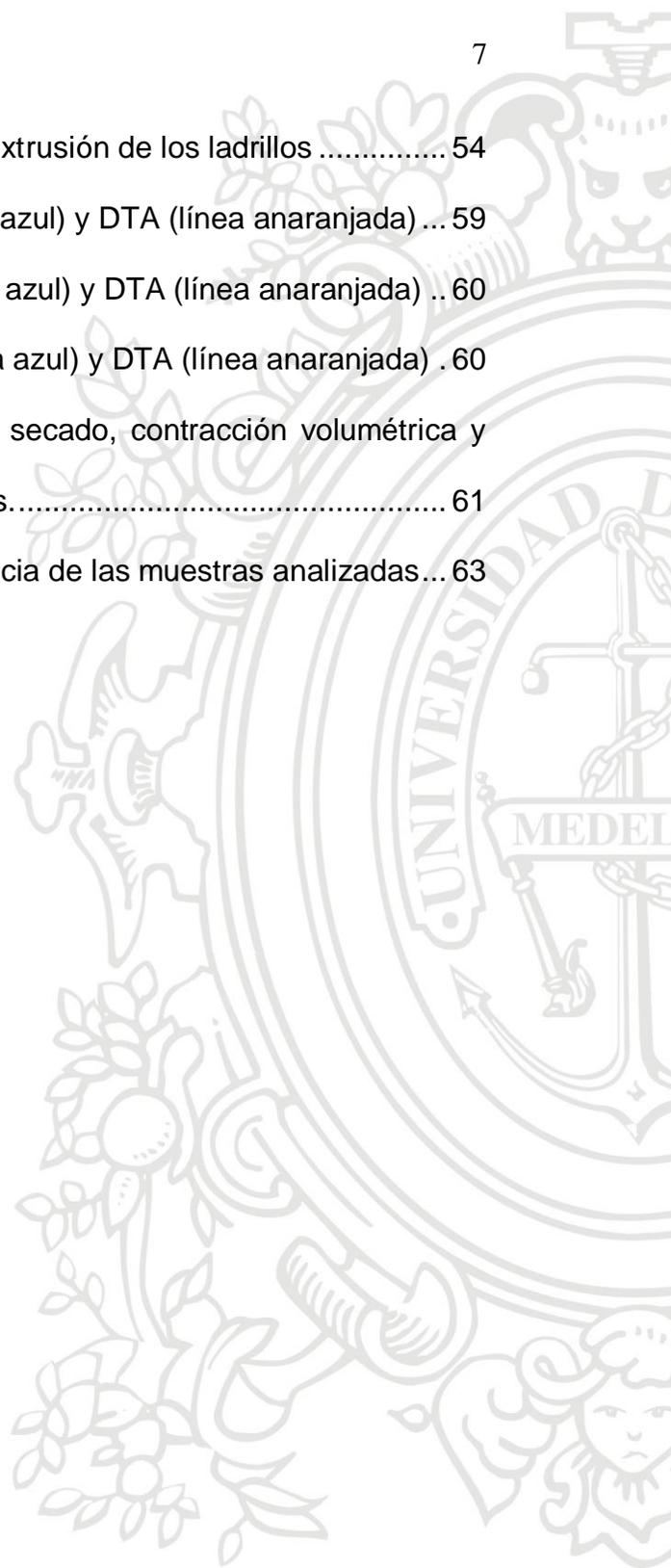
## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Requisitos comerciales que deben cumplir los ladrillos de mampostería no estructural, clase ladrillo común. ....	20
<b>Tabla 2.</b> Patologías del ladrillo cerámico rojo. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Clases de ladrillos conformados en la ladrillera el Ajizal S.A.S.....	29
<b>Tabla 4.</b> Ensayos de las mezclas de porcentajes de Limo, Greda y Arenilla, Limo con tiempo de añejamiento de más de un año. ....	41
<b>Tabla 5.</b> Tabla de Defectos presentados en la ladrillera el Ajizal S.A.S.....	47
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los ensayos de plasticidad .....	53
<b>Tabla 7.</b> Tabla Resultados Ensayo sobre lavado malla # 200 .....	55
<b>Tabla 8.</b> Resultados del análisis del FRX .....	57
<b>Tabla 9.</b> Aproximación a las posibles fases mineralógicas (% en peso) mediante Minlith de las muestras de Limo, Greda y Arenilla.....	58
<b>Tabla 10.</b> Resultados del ensayo de Flexión .....	62
<b>Tabla 11</b> Tabla de resultados de prueba de porosidad.....	64
<b>Tabla 12.</b> Ensayo de resistencia a la compresión mediante la norma NTC 4017 .....	65
<b>Tabla 13.</b> Ensayo de absorción mediante la norma NTC 4017.....	65
<b>Tabla 14.</b> Espesor de paredes y tabiques para unidades de mampostería no estructural. ....	67
<b>Tabla 15.</b> Formato del control del espesor de Paredes y Tabiques del ladrillo .....	68

## Lista de Figuras

Figura 1. Ladrillo Perforado.....	13
Figura 2. Ladrillo de Tejar o manual.....	14
Figura 3. Ladrillo Macizo.....	14
Figura 4. Ladrillo hueco.....	14
Figura 5. Ladrillo de fachada.....	15
Figura 6. Ladrillo Refractario.....	15
Figura 7. Diagrama de Flujo.....	30
Figura 8. Esquema Resumido para la Metodología.....	36
Figura 9. Cazuela de Casagrande. Realización de la prueba de Límite Líquido.....	39
Figura 10. Imágenes de la Prueba de Limite Plástico.....	39
Figura 11. Ensayo de lavado sobre malla 200.....	40
Figura 12. Probetas conformadas en verde.....	42
Figura 13. a) Prueba de Flexión, b) Probetas deflectadas después de pasar por la maquina universal.....	43
Figura 14. Ensayo de absorción.....	43
Figura 15. Imagen satelital de la zona alta de la mina (año 2018).....	51
Figura 16. Extracción de las muestras de limo en la zona alta de la mina.....	51
Figura 17. Imágenes de zona baja de la mina donde se realizó el muestreo de la Greda y Arenilla.....	52
Figura 18. Imágenes de las muestras representativas de Limo, Greda y Arenilla.....	52
Figura 19. Secado de la muestra de Limo.....	53
Figura 20. Gráfica de clasificación de Casagrande.....	54

Figura 21. Grafica de Trabajabilidad en la zona de Extrusión de los ladrillos .....	54
Figura 22. Análisis TGA de la muestra limosa (línea azul) y DTA (línea anaranjada) ...	59
Figura 23. Análisis TGA de la muestra Greda (línea azul) y DTA (línea anaranjada) ..	60
Figura 24. Análisis TGA de la muestra Arenilla (línea azul) y DTA (línea anaranjada) .	60
Figura 25. Grafica barras de contracción lineal de secado, contracción volumétrica y pérdidas por calcinación a las probetas conformadas.....	61
Figura 26. Grafica de barras del módulo de resistencia de las muestras analizadas ...	63



## Resumen

En el presente trabajo se muestran los resultados del estudio de algunas características físicas y químicas de la materia prima y de la pasta que tienden a afectar el desempeño de los ladrillos tipo rayado horizontal generando defectos típicos en la empresa Ladrillera el Ajizal S.A.S. Ubicada en Itagüí. Teniendo en cuenta la experiencia de operarios, requisitos técnicos, comerciales y un diagnóstico implementado, fue posible identificar algunos aspectos relevantes que afectan el rendimiento en cada una de las etapas del proceso y el desempeño técnico de estas. Finalmente, a la luz de los resultados obtenidos se aplicó una prueba piloto con la proporción de pasta que presentó el mejor desempeño técnico, lo anterior permitió obtener una mejora en las propiedades físicas y mecánicas del producto desarrollado, acorde a la norma NTC 4205 y NTC 4017.

La metodología que se utilizó para la ejecución del presente trabajo consistió en la caracterización de la materia prima (llamadas en la ladrillera como: Greda, Arenilla y Limo) mediante Fluorescencia de rayos x (FRX), límites de Atterberg, Ensayo Termogravimétrico (TGA), lo cual permitió definir, junto con la experiencia previa de la empresa las proporciones que componen la pasta y así obtener una buena formulación de la pasta basados en los criterios definidos en la norma NTC 4205 y NTC4017. Después se procedió a realizar el conformado de probetas (muestras) variando las cantidades de las materias primas para luego mediante ensayo de absorción, ensayo de flexión y compresión, escoger la muestra óptima para el desempeño de los ladrillos. Por último, mediante la observación del circuito implementado en la ladrillera y el

estudio patológico de los defectos de ladrillos de arcilla roja fue posible realizar algunas recomendaciones que podrían ser implementadas en el proceso.



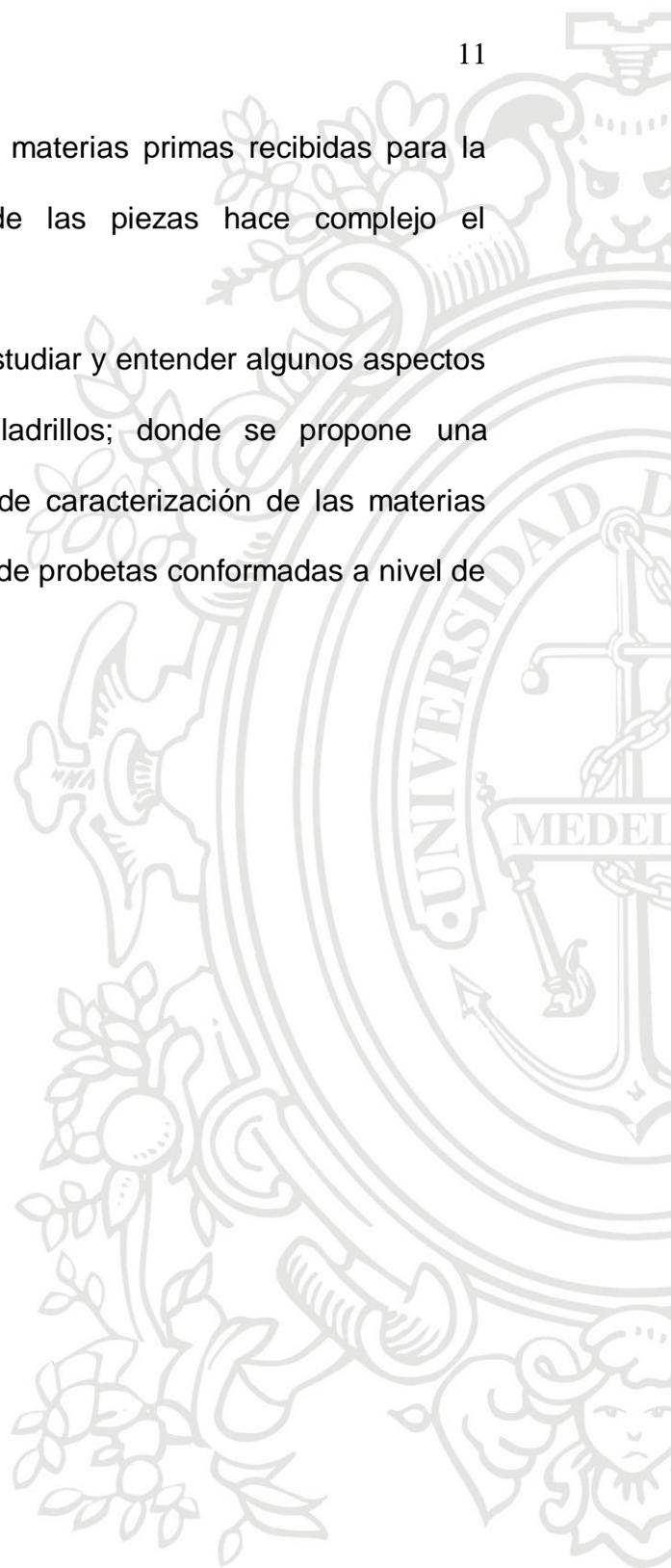
## Introducción

La Ladrillera el Ajizal S.A.S es una de las empresas importantes con que cuenta el departamento de Antioquia, fue fundada el 31 de marzo del año 2004, inició sus operaciones desde el año 1991 con el nombre de Ladrillera el Rosario N°2. Esta empresa ubicada en el municipio de Itagüí se dedica a la fabricación de materiales para la construcción compuestos principalmente de arcilla como materia prima, en la actualidad fabrican ladrillos horizontales rayados huecos no estructurales en 3 dimensiones diferentes. Actualmente la planta no cuenta con terrenos explotables para la extracción de la materia prima, ya que estos han sido sobre explotados quedando así, sin recursos de minerales arcillosos; para resolver esta falta, la empresa decidió aprovechar los residuos de material finos no expansivos y expansivos (con fracciones arcillosas, tipo limos y/o residuos inertes que sobrepasan el tamiz N° 200), generados en diferentes obras de construcción para implementarlos como materia prima para la fabricación de materiales de construcción. Esta situación trae como consecuencia que se presente heterogeneidad en el mezclado y que se puedan presentar variaciones tanto en humedad como en la calidad de las arcillas.

Actualmente la empresa está produciendo un número considerable de unidades de segunda clasificación y de unidades no deseadas disminuyendo la cuota del producto en el mercado de manera considerablemente y el precio en las ventas. Se ha identificado que uno de los aspectos que puede afectar el desempeño del ladrillo es la falta de limpieza a la materia prima lo cual hace que en una de las etapas operativas se genere defectos en el producto obtenido, además de generar mayor desgaste en las maquinas encargadas de la producción. Adicionalmente la falta de seguimiento a la

composición química, física y mineralógica de las materias primas recibidas para la formulación de la pasta para la fabricación de las piezas hace complejo el aseguramiento de la calidad.

Por lo anterior en este trabajo se pretende estudiar y entender algunos aspectos relevantes que afectan el desempeño de los ladrillos; donde se propone una metodología experimental que incluye una etapa de caracterización de las materias primas, formulación de pasta, evaluación y análisis de probetas conformadas a nivel de laboratorio.



## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

- Estudiar los principales defectos generados en la elaboración de ladrillos tipo perforación horizontal en la ladrillera el Ajizal S.A.S

### 1.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de defectos frecuentes que se están presentando actualmente en la planta de la ladrillera el Ajizal S.A.S.
- Determinar las posibles causas de los defectos obtenidos en el producto final.
- Proponer recomendaciones que permitan disminuir algunos defectos que se presentan en la planta.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 El Ladrillo

Se define al ladrillo como una masa de arcilla cocida que se produce en una amplia gama de variedades, formas y tamaños; este se utiliza principalmente para la construcción o revestimiento de pisos, paredes y vías. Sus formas, tamaños y diseños varían de acuerdo con las diferentes necesidades y solicitudes de la construcción, ya sean de tipo estructurales, arquitectónicas y estéticas.

Documentos históricos datan a los primeros ladrillos empleados en Mesopotamia fabricados con materias primas obtenidas entre los ríos Tigris y Éufrates, donde la materia prima estaba constituida principalmente por arcilla y arena (Cultrone, 2004). Siendo este testigo del surgimiento de las distintas dinastías y civilizaciones humanas hasta elementos de alta tecnología que se fabrican para proteger de las altas temperaturas a las naves espaciales.

### 2.2 Tipos de Ladrillos

Los ladrillos se pueden clasificar según su forma en:

**Ladrillos perforados:** Contiene perforaciones verticales en la tabla, de volumen superior al 10%. Se utilizan en albañilería interior y exterior revestida (Cultrone, 2004).



Figura 1. Ladrillo Perforado

**Ladrillos de tejar o manual:** Tipo de ladrillo de apariencia tosca que imita a los de fabricación tradicional. Presentan rugosidades en sus caras siendo no muy planas. Su uso está muy generalizado en las restauraciones de edificios antiguos.



Figura 2. Ladrillo de Tejar o manual

**Ladrillos Macizos:** unidades de arcilla cocida usualmente conformada por un prisma rectangular. Los ladrillos macizos pueden tener perforaciones que aligeran hasta un 25% de su masa según la norma NTC 4051.



Figura 3. Ladrillo Macizo

**Ladrillos huecos:** los ladrillos huecos están aligerados por encima del 25% de su masa y menos del 65% total según la norma NTC 4051.



Figura 4. Ladrillo hueco

**Ladrillo cara vista o de fachada:** ladrillos generalmente de tamaño pequeño, que por sus características de color, acabado y durabilidad, son aptos para construir

muros de fachada en ladrillo a la vista con fines arquitectónicos, que pueden estar expuestos a la intemperie según la norma NTC 4051.

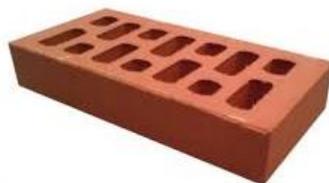


Figura 5. Ladrillo de fachada

**Ladrillo Refractario:** Son piezas cerámicas de textura lisa y homogénea, y de alta densidad, colocados por lo general en lugares donde deben soportar altas temperaturas como hornos según la norma NTC 4051.



Figura 6. Ladrillo Refractario

### 2.3 Generalidades

A través de la historia se ha visto la importancia que ha adquirido el ladrillo como un material indispensable en la construcción, así como el aumento exponencial de las cantidades que se comercializan a nivel mundial. En la actualidad la industria ladrillera ha cambiado continuamente llegando a convertirse en una de las más productivas. Y, por lo tanto, la competencia que enmarca esta industria es muy amplia y las ladrilleras deben mejorar día a día en cuanto a los procesos de manufactura y manejo de inventarios (Estéves I, Lucas C.,2016).

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos de construcción. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias de todo tipo; como consecuencia de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas (Santos & Malagón, 2009).

Las arcillas son minerales naturales que están compuestas de múltiples silicoaluminatos hidratados que contienen iones tales como K, Fe, Mg y Na, y trazas de otros minerales como feldespatos, cuarzo, anatasa, rutilo, hematita, carbones, entre otras; las arcillas se encuentran en la naturaleza generalmente acompañadas por materia orgánica. La clasificación general de estos filosilicatos consiste en tres grandes grupos: caoliniticas, illiticas y montmorilloniticas o esmectiticas. Las arcillas caoliniticas como característica presentan una granulometría más gruesa en relación con las otras arcillas (con porcentaje de partícula entre 0.5 y 5 micras) por lo que presentan una plasticidad más baja con respecto a las otras arcillas a la vez que presentan un secado rápido por lo que pueden generar una mayor porosidad en el secado. Las arcillas illiticas presentan una plasticidad media y las arcillas montmorilloniticas presentan una plasticidad más alta con respecto a las otras debido a sus tamaños de partícula tan finos (Cáceres, Sánchez, Chaparro, 2017).

## 2.4 Propiedades

**2.4.1 Plasticidad.** La plasticidad es una propiedad que debe ser controlada, pues la arcilla en presencia de agua, forma una masa plástica que permite ser moldeada, el método más utilizado para determinar los rangos de humedad adecuados para obtener una pasta con la mejor plasticidad posible es determinando los límites de Atterberg, los cuales se denominan como: el límite plástico (LP), es decir la mínima humedad que se requiere para que una arcilla pueda ser moldeada, y el límite líquido (LI) el cual es el porcentaje de humedad máximo en el cual una pasta permite trabajarse moldeo ya que la muestra se encuentra en el límite entre el estado líquido y el estado plástico. Finalmente, esta metodología permite encontrar el rango de trabajabilidad de la pasta (Denominado Índice de plasticidad (IP)), consistente en diferencia entre los límites plástico y líquido (Zea, L. (2005).

**2.4.2 Contracción.** Debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado. La mayoría de estructuras arcillosas comprenden de un conjunto de láminas adheridas las unas a otras por fuerzas intermoleculares de Van der Waals de tipo puentes de hidrogeno; al realizar una sinterización y densificación del ladrillo, las distintas especies arcillosas hidratadas (caolinita, moscovita, entre otras) presentan el fenómeno de deshidroxilación perdiendo masa y reduciendo el volumen medio de cada partícula, logrando así aumentar la densidad de la muestra; por otro lado se presentan fenómenos difusivos que generan la cohesión entre las distintas especies cerámicas del material (Mari,1998).

**2.4.3 Porosidad.** El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico

después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas, los fenómenos de densificación del material se encuentran influenciados por la temperatura y el tiempo, ya que obedecen a procesos difusivos, entre menores sean las condiciones energéticas la porosidad se vería afectada de una mayor manera. En estado natural conservan el equilibrio establecido de las fuerzas internas. Cuanto menos es la porosidad, para igual cohesión, tanto mejor resiste el suelo a la erosión (García, 2008).

**2.4.5 Color.** El color de las arcillas va a depender de su composición química, las temperaturas de cocción y el método de cocción; Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico, óxido de titanio, entre otros componentes.

Es una propiedad fácil de apreciar, gamas de colores que van de la gama de negros a pardos, pasando por ocre o ferruginosos determinando la mayor cantidad de materia orgánica (negros) o la presencia de hierro o manganeso (ocres). El escurrimiento rápido con la fuerte acción del agua, así como las atmosferas de oxidantes y/o reductoras durante la cocción del ladrillo determina el grado de oxidación dando colores grises y azulados. Los colores claros denotan la existencia de calcio o sodio (excepcionalmente) (García, 2008).

## **2.5 Calidad del ladrillo**

La fabricación de ladrillos reúne en esencia los mismos mecanismos básicos utilizados hace miles de años: la combinación de la tierra, agua y fuego. Las etapas que tienen lugar durante el proceso de fabricación de las piezas son extracción, selección, preparación de las arcillas, moldeo de la pasta, secado del material crudo, y,

por último cocción de las piezas. Cada una de estas etapas determina la calidad final del producto, atribuyéndose muchos de los defectos que aparecen en obra a algún fallo en uno o varios de los procesos (Cultrone, 2004).

En la elaboración de ladrillos de forma industrial se requiere conocer las materias primas, es decir su distribución granulométrica, su caracterización física y química. Conociendo las materias primas y la proporción idónea a utilizar se busca tener un mayor control de todas las etapas del proceso con el fin de disminuir lo más que se pueda los tiempos de operación, principalmente el secado y quemado ya que son las etapas críticas del proceso por la duración.

Como anteriormente se describió la calidad del ladrillo es un factor fundamental para su correcta distribución y comercialización; debido a que esto se relacionará directamente con la satisfacción del cliente con el producto recibido. Por lo general en el ladrillo se requiere que tenga homogeneidad en su masa, regularidad tanto en la forma como en las dimensiones, igualdad de coloración, dar un sonido metálico cuando se golpea, tener fractura de grano fino sin manchas blancas o caliches, no absorber más del 16 % de su peso en agua, no ser heladizos, tener resistencia para soportar presiones sin romperse y no desmoronarse al frotamiento de uno con otro.

La **Tabla 1** muestra un marco general de los requisitos que debe cumplir el ladrillo según las especificaciones de la norma técnica colombiana NTC 4205 para mampostería no estructural. Por otro lado, la **Tabla 2**, muestra un conjunto general de las posibles patologías que pueden presentarse de manera típica en los ladrillos.

**Tabla 1.** Requisitos comerciales que deben cumplir los ladrillos de mampostería no estructural, clase ladrillo común.

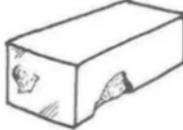
N°	TIPO	IDENTIFICACIÓN	NORMA	ESPECIFICACIÓN UTILIZADA
		N° y tipo de fisuras	<b>NTC 4205-2.</b>	<b>LIMITES DE DEFECTOS SUPERFICIALES</b> En general, las unidades deben estar libres de imperfecciones como laminaciones, ampollas, cráteres, alabeos y deformaciones que interfieran con la colocación apropiada en el muro o perjudiquen la estabilidad o su durabilidad.
		N°, dimensiones y posiciones de los escamados de las aristas y de las caras de corte de las piezas.	<b>NTC 4205-2</b>	Ningún ladrillo de la muestra presentará síntomas de exfoliación para ladrillos estructurales, pero para ladrillos no estructurales se realiza un acuerdo entre el comprador y el fabricante.
1	ASPECTO	Identificación de grumos de cal	<b>NTC 4017</b>	Tomando 6 unidades de la muestra no se admitirá más de una pieza que tenga desconchado por caliche en sus caras no perforadas y, en ningún caso, que el desconchado tenga una dimensión superior a los 15mm.
		Contenido de sustancias o sales solubles que provocan manchas indeseadas	<b>NTC 4017</b>	Las muestras deben ser escogidas aleatoriamente de cada lote según los criterios y métodos de ensayo establecidos para ello en la NTC 4017, para lo cual se debe de utilizar 10 especímenes.
		Color	<b>CARTA MUNSHELL</b>	Las unidades de mampostería no estructural no deben tener ningún tipo de restricción o clasificación con base en su color o en su gama de variación, bien sea dentro del lote o dentro de una misma pieza. Serán juzgados de acuerdo al requerimiento del cliente.

**Tabla 1.** Requisitos comerciales que deben cumplir los ladrillos de mampostería no estructural, clase ladrillo común. (Continuación)

N°	TIPO	IDENTIFICACIÓN	NORMA	ESPECIFICACIÓN UTILIZADA
2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE USO	Resistencia mecánica (Resistencia a la compresión)	NTC4205-2.	Las unidades no estructurales pueden tener resistencias inferiores a las especificadas en la tabla cuando esto suceda su aceptación o rechazo queda supeditado a que se cumplan los requisitos de diseño de los elementos no estructurales de la edificación en las que van a ser aplicadas.
				<b>Resistencia mínima a la compresión para tipo PH</b> <b>MPa (Kg.f/cm<sup>2</sup>)</b> Prom 5 Unidad Unidades 3.0 (30)    2.0(20)
		Porosidad	NTC4205-2.	Se debe cumplir para la resistencia máxima a la absorción las siguientes especificaciones de la tabla:  <b>Absorción de agua máxima en %</b> <b>Interior</b> Prom 5 Unidad Unidades 17            20

Fuente: NTC 4205-2, NTC 4017.

Tabla 2. Patologías del ladrillo cerámico rojo.

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
COCCIÓN	DESCONCHADO POR PÉRDIDA SÚBITA DE AGUA		Originados por el vapor de agua acumulado en el interior de la pieza que ocasionan desconchamientos o abultamientos.	<p><b>1. Defecto presentado frecuentemente en época de invierno.</b></p> <p><b>2. Cocción:</b> Cocción demasiado rápida puede producir abultamiento.</p>	<p>1. Pérdida de una lámina superficial de la pieza.</p> <p>2. Abultamiento en la cara superior de la pieza.</p>	<p>1. Procurar que el material entre en el horno completamente seco.</p> <p>2. Aumentar la porosidad de la pieza mediante la adición de desgrasante.</p> <p>3. Disminuir la velocidad de calentamiento en la zona de fuego.</p>
COCCIÓN	DESCONCHADO POR SALES	 <p>Imagen Eflorescencia</p>	Presencia de manchas de polvo gris o blanco en la superficie del ladrillo es indicador de eflorescencia. Este defecto se debe a la alcalosis presente en los ladrillos, cuando los ladrillos puestos en obra entran en contacto con la humedad el agua se absorbe y los alcalosis cristalizan.	<p><b>Materia prima:</b> Sulfatos y Sulfuros (Na, K, Ca, Mg, Fe) que puede proceder de la materia prima o de los gases de combustión.</p> <p><b>Agua Lluvia:</b> El ladrillo absorbe humedad del agua lluvia, la humedad entra en el interior y disuelve las sales y después se da un proceso inverso en el que se cristalizan las sales</p>	<p>1. Pérdida de una lámina superficial de la pieza.</p> <p>2. Abultamiento superficial de la pieza.</p>	<p>1. Utilizar un hidrófugo o un impermeabilizante que proteja al ladrillo puesto en obra para exteriores contra la penetración del agua lluvia.</p>

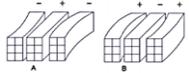
**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
COCCIÓN	DESCONCHADO POR CALICHE		Cráter interior en forma de nódulo blanco que aparece a los pocos días de almacenaje. Provocado por la hidratación del grano de cal viva	CaCO <sub>3</sub> o MgCO <sub>3</sub> que se encuentra en la pasta en forma de nódulos por encima de determinado tamaño y densidad. El CaCO <sub>3</sub> puede estar presente en la materia prima en forma de Calcita, Dolomita o Carbonato doble. (Estos carbonatos pueden proceder de la arcilla o del desgrasante).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calidad estética.</li> <li>2. Determinados casos total desintegración.</li> <li>3. Piezas cerámicas revestidas con pintura o enlucido puede caer puntualmente el revestimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Molienda muy fina de la materia prima para aumentar superficie de contacto y reacción entre partículas de CaO y Sílice.</li> <li>2. Cocción a alta temperatura para que el CaO reaccione al máximo.</li> <li>3. Sumergir el ladrillo en agua al salir del horno durante 1 0 2 minutos para que el agua penetre 15mm de profundidad y disuelva parte del grano de cal.</li> <li>4. Mezclar arcillas con materias primas arenosas para aumentar el porcentaje de Sílice libre.</li> </ol>

**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
COCCIÓN	CORAZÓN O NUCLEO NEGRO		Manchas negras o grises que permanecen en el interior del espesor de los tabiques del producto, después de la cocción.	<p><b>1. Materia Prima:</b> (Presencia de materia Orgánica (carbón)). La masa del material no se oxida totalmente a causa de la combustión de sustancias orgánicas, comprendidas en el material en poca o mucha cantidad.</p> <p><b>2. Cocción:</b> Cocción rápida que no deja que llegue oxígeno al interior de la pieza.</p>	<p><b>1. Disminución de la Resistencia Mecánica:</b> Debido a pequeñas burbujas de gases que han quedado disueltas en la fase vítrea.</p> <p><b>2. Fisuraciones de Enfriamiento:</b> las contracciones y dilataciones en el enfriamiento las piezas corren el peligro de fisurarse. (Precauciones en la curva de enfriamiento)</p> <p><b>3. Hinchamientos:</b> Gases formados por la oxidación del carbono que quedan atrapados en el interior de la pieza.</p>	<p><b>Actuando sobre la materia Prima:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conocimiento y/o Análisis de la Materia Prima</li> <li>2. Evitar proporciones altas de materia orgánica o compuestos inorgánicos de Fe (II).</li> <li>3. Aditivo DESGRASANTE que disminuirá la plasticidad y aumentará el tamaño de poros.</li> <li>4. Añadir pequeñas cantidades de MnO<sub>2</sub> como acción oxidante disminuyendo la formación de corazón negro, pero decolora la pieza.</li> </ol> <p><b>Actuando sobre la Cocción:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evitar que el material entre con humedad al horno.</li> <li>2. Modificación de la atmosfera en la zona de Precalentamiento. (Aumento de la presión parcial de Oxígeno.</li> <li>3. Optimización del Perfil de Temperatura del horno. (Cocción entre 600-800°C durante un periodo de tiempo suficiente antes de que la permeabilidad baje.)</li> <li>4. Cocción lenta y atmosfera oxidante.</li> <li>5. Buena circulación de aire entre las piezas.</li> </ol>
						

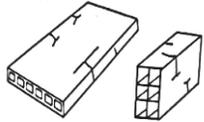
**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
EXTRUSIÓN	Defectos en el Perfil de Flujo	 <div data-bbox="504 462 703 576" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>A. Arcillas excesivamente plásticas. B. Arcillas poco plásticas</p> </div>	Velocidad de salida de la pasta no es homogéneo en toda la barra. Las condiciones de flujo dependen íntimamente de la plasticidad, cohesión de la arcilla y contenido de humedad.	Mala homogenización de la pasta en la zona de extrusión.	desequilibrio en el perfil de flujo y formación de esfuerzos que pueden generar fisuras	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar el contenido de humedad de la pasta.</li> <li>2. Cuando la mezcla tiene alta plasticidad se aconseja aumentar el porcentaje de desgrasante.</li> <li>3. Si el problema continúa hay que pensar en que puede ser debido a un desequilibrio en el molde.</li> </ol>
EXTRUSIÓN	Peladuras, burbujas	 <div data-bbox="504 982 703 1079" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Caras laterales peladas y llenas de burbujas</p> </div>	A la salida de la extrusora, se observan las superficies de los ladrillos con peladuras y burbujas.	En la zona de extrusión la bomba de Vacío trabaja mal o regular. Mal Vacío: superficie de la pieza presenta amplias zonas peladas, observándose abultamientos superficiales llenos de aire. Vacío regular: la superficie solo se pela en el centro de la pieza y el desprendimiento es muy parcial.	El ladrillo al salir de la extrusora va a presentar baja cohesión de las partículas dando una mala compactación y alta porosidad, al ser manipulado manualmente tiende a deformarse con facilidad; por lo cual se pierde tiempo porque tiene que volver al ciclo del proceso.	<p><b>MANTENIMIENTO Y REVISION DE LA BOMBA DE VACIO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>PRESIÓN DE VACIO:</b> Revisión de la presión de vacío.</li> <li>2. <b>TUBERIAS:</b> Revisión de filtros y posible limpieza si se encuentran tapados de elementos extraños.</li> <li>3. <b>UNIONES:</b> Revisión de uniones que se encuentren selladas herméticamente para evitar escapes de vacío.</li> <li>4. <b>RODAMIENTOS:</b> Revisión de rodamientos (desgaste, falta de lubricación).</li> <li>5. <b>SISTEMA PRENSAESTOPA:</b> Revisar la hermeticidad</li> <li>6. <b>CAMISAS, COSTILLALES:</b> Revisar tiempo de uso, estado.</li> <li>7. <b>CAUDAL DE AGUA:</b> Debe estar aproximadamente del 50% del agua circulante limpia y fría.</li> <li>8. <b>RELOJ:</b> Revisar si se encuentra o no calibrado</li> </ol>

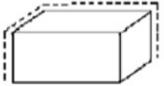
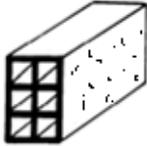
**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
EXTRUSIÓN	Superficie irregular o distorsionada		Defecto ocasionado en la textura del producto al salir de la extrusora.	Presencia de raíces, piedras, metal entre otras impurezas ajenas a la mezcla.	1. Producto con superficie irregular o distorsionada afectando la calidad estética en el producto. 2. Puede ocasionar fisuras o grietas. 3. Desgastan las maquinas	<b>PARA LAS PIEDRAS EN LA MEZCLA:</b> 1. <b>Mantenimiento a las masas:</b> Las piedras producen desgaste en los martillos lo que ocasiona dificultad de pulverización, desgaste en el laminador y en los caracoles de la extrusora. <b>PARA METALES EN LA MEZCLA:</b> 1. Cambio de imanes desgastados y colocación en bandas que carecen actualmente de imanes. <b>PARA LAS FISURAS PROVOCADAS POR EL TIESTO:</b> Triturar con la maquina desde la alimentación.
EXTRUSIÓN	Defecto en la forma		El ladrillo presenta cambios en la forma.	Mala manipulación después del proceso de extrusión al trasladarlos incorrectamente al proceso de secado.	Calidad estética	1. <b>Diseño de pastas:</b> Agregar un mayor contenido de desgrasante a la mezcla. 2. No realizar cambios bruscos en la velocidad de cocción.
SECADO	Grieta en el centro lateral		Aparición de grieta en el centro de las caras laterales del ladrillo. Defectos en el secado originados mayormente por las falta de uniformidad de secado en la misma pieza, donde la pieza rompe por los puntos de menor resistencia mecánica.	Pueden ser debidas a: 1. alta plasticidad en la mezcla 2. Falta de uniformidad de secado entre el centro y los bordes de secado	Influye en una baja en la resistencia mecánica	1. Si el problema se debe a la plasticidad entonces cambiar el <b>Diseño de pastas</b> agregando un mayor contenido de desgrasante a la mezcla y reducir la velocidad de secado. 2. Si el problema es la falta de uniformidad de secado entonces puede ser que la separación entre pieza y pieza sea insuficiente por lo que se aconseja aumentar dicha separación.

**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	DE IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
COCCIÓN	Fisuras provocadas en la cocción (entre 500-600°C y 800-900°C)		Diferencia de dilatación entre los tabiques interiores y las paredes ya que los tabiques se calientan más rápido que las paredes provocando tensiones.	1. Humedad en el Ladrillo 2. Cantidad de cuarzo elevada formando microfisuras alrededor del grano de cuarzo	Afecta la resistencia mecánica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El material tiene que entrar seco al horno.</li> <li>2. Bajar el contenido de cuarzo.</li> <li>3. Curva de la temperatura de cocción suave para evitar tensiones.</li> </ol> El tiempo de sostenimiento entre 700 y 800°C va a depender del grosor de los tabiques y paredes de la pieza.
COCCIÓN	Ladrillo negruzco o muy amarilla.		El ladrillo presenta una coloración negruzca el cual no puede ser usado.	Sobrecocción	Afecta el color. Unidades débiles reconocidas por el sonido sordo. Puede presentarse modificación de las dimensiones y en la forma (Alabeo) de las unidades. Disminución de la resistencia del producto final.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlar el tiempo y la temperatura de cocción según la referencia del ladrillo (de 10, de 12 o de 15) que se esté quemando.</li> <li>2. Posición y manera en la que se agrupan los ladrillos.</li> <li>3. Controlar las direcciones de los flujos de aire.</li> </ol>

**Tabla 2.** Patologías del ladrillo cerámico rojo. (Continuación)

ZONA	TIPO DE DEFECTO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	ORIGEN	CONSECUENCIAS	PREVENCIÓN
COCCIÓN	Ladrillo ahumado		El ladrillo presenta en algunas regiones una coloración oscura parecida al del humo.	SubcoCCIÓN o falta de coCCIÓN.	La humedad afecta las condiciones del ladrillo. Baja resistencia al producto.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Moler para reprocesarlo controlando la humedad. (No volver a pasarlo por la coCCIÓN porque el ladrillo ahumado ya tiene microfisuras.</li> </ol>
COCCIÓN	Menor tamaño en el ladrillo	 <p>Ladrillo demasiado pequeño en todas las direcciones</p>	Ladrillo presenta cambios importantes en las dimensiones en cuanto a las especificaciones del producto terminado.	Demasiada contracción por los cambios de temperatura en el proceso de coCCIÓN disminuyendo las dimensiones que debe cumplir el producto terminado.	Calidad estética.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantenimiento de la cortadora</li> <li>2. Demasiada contracción debido a la zona crítica de coCCIÓN relacionado con el tipo de arcilla utilizada, el <math>\text{CaCO}_3</math> en porcentajes bajos en la mezcla permite bajar la contracción y aumentar la porosidad llegando a neutralizar un poco la contracción.</li> <li>3. Curva de la temperatura de coCCIÓN suave en la que el material le dé tiempo de sobreponerse a las tensiones.</li> </ol>
COCCIÓN	Microfisuras en la superficie y sonido sordo		El ladrillo presenta cambios en la textura por pequeñas fisuras superficiales en el precalentamiento, bordes levantados.	Al introducir al horno el ladrillo húmedo y frío, este factor combinado con los gases del horno hace que se produzca un aflojamiento de la textura	Causa un sonido sordo y disminuye la resistencia mecánica.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ladrillo en el precalentamiento entre completamente seco al horno</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia.

La Ladrillera el ajizal S.A.S. comercializa tres clases de ladrillos pertenecientes a ladrillo hueco de mampostería no estructural de perfil horizontal en función de la geometría del mismo, los cuales se observan en la **Tabla 3**. Cuyas diferencias principales dependen del dado o boquilla de la extrusora.

**Tabla 3.** Clases de ladrillos conformados en la ladrillera el Ajizal S.A.S.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
	Ladrillo horizontal rayado (Tolete) Medidas (cm): 15*20*40
	Ladrillo horizontal rayado (Toletico) Medidas (cm): 12*20*40
	Ladrillo horizontal rayado (sencillo) Medidas (cm): 10*20*40

Fuente: ladrillera el Ajizal S.A.S.

Este estudio se enfocó principalmente en el ladrillo horizontal rayado tipo sencillo, con medidas 10cm\*20cm\*40cm, como se muestra en la **Tabla 3**, ya que representa el mayor volumen de producción en la empresa.

## 2.6 Esquema del proceso de producción de la ladrillera El Ajizal

### 2.6.1 Diagrama de Flujo

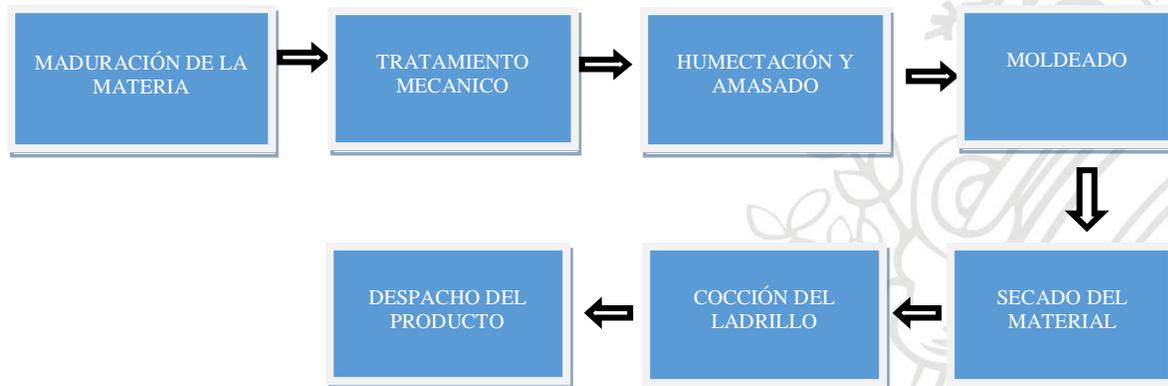


Figura 7. Diagrama de Flujo

## **2.6.2 Descripción del Diagrama De Flujo**

### **1. Maduración**

Corresponde a un tratamiento de homogenización y reposo de la arcilla en acopios, con el fin de obtener una consistencia y uniformidad adecuada.

Esta etapa de maduración y/o reposo a la intemperie facilita las operaciones de desmenuzamiento de los terrones y disgregación de las aglomeraciones de las partículas arcillosas.

En la ladrillera el Ajizal S.A.S el limo arcilloso es depositado en un sitio establecido para su almacenamiento por un periodo mínimo de 6 meses para su vinagramiento.

El proceso de envejecimiento o vinagración es el reposo al que se someten las arcillas después de haber sido extraídas, con el fin de homogenizar textura y humedad para ganar un aumento de plasticidad, relajar esfuerzos residuales preexistentes en la materia prima, descomponer y lixiviar algunas impurezas de origen orgánico e inorgánico, todo lo anterior siguiendo los lineamientos de la norma NTC 4051.

### **2. Tratamiento Mecánico**

Corresponde a una serie de operaciones que tienen como finalidad limpiar y remover posibles contaminantes presentes en la materia prima; las operaciones son:

#### **Clasificación**

corresponde a una zaranda que tiene unas espas o rejillas que atrapa el material no deseado, mientras que un auxiliar encargado saca manualmente las rocas de gran tamaño e impurezas que la máquina no alcanza a separar.

### **Trituración**

El proceso de trituración primaria se da con ayuda de desintegrador o rompeterrones y laminador. El tamaño de abertura entre los cilindros del laminador no puede ser superior a los 2mm.

### **Laminado del material**

Mediante un laminador dentado se realiza un procedimiento de compresión uniforme al material permitiendo obtener una reducción homogénea del tamaño medio del material y así obtener una adecuada distribución granulométrica para el proceso; las impurezas que penetran conjuntamente con la mezcla son fraccionadas, laminadas y mezcladas a la masa cerámica.

### **3. Humectación y Amasado**

Es un proceso que involucra dos tornillos sinfín para convertirla en un material maleable que facilite su correcta manipulación. La humectación depende de las características presentadas de la mezcla en la zona de la mina, así como el clima general de los últimos meses, además de las características composicionales de la mezcla.

### **4. Moldeado**

El moldeado se realiza empleando una extrusora al vacío en el cual el material previamente homogenizado llega a una máquina de vacío en donde se comprime y el aire entre las partículas de la pasta es forzado a salir del cuerpo, obteniendo un perfil de flujo con una mayor compactación de las partículas mediante el empleo de boquillas o dados.

### **Cortado del material**

El perfil que sale de la boquilla es cortado mecánicamente por un alambre (Acero con grosor de 1mm) de acuerdo con las dimensiones que se desean en el producto terminado. Luego de esto el ladrillo pasa a ser debidamente inspeccionado por los operarios que se encargan de manipularlos manualmente para ser colocados en las camillas o rieles transportadores. Los ladrillos que no cumplen con las condiciones de inspección son devueltos al proceso de moldeado.

### **5. Secado**

El secado es un proceso mediante el cual se consigue retirar parte del agua absorbida de manera física de las piezas antes de entrar al horno de cocción. La planta tiene dos opciones de secado, secado al natural y secado artificial; en el secado artificial el ladrillo previamente conformado pasa las primeras cuatro horas siendo recirculado al aire libre originando un secado espontáneo, después de este tiempo el ladrillo es introducido al túnel de secado el cual opera por medio de unas hornillas que ingresan el aire caliente y este es circulado por medio de ventiladores. La temperatura a la cual se realiza este proceso es alrededor de los 80°C mediante un termopar regulado por una termocupla agregando o disminuyendo carbón tipo almendra a la hornilla.

#### **Verificación del secado del material**

una inspección visual del material para separar el material que va a iniciar el procedimiento de cocción al entrar al horno, del material que es desechado por presentar defectos como fisuras, o no estar completamente seco, etc.

## 6. Cocción

El proceso de cocción consiste en someter las piezas de arcilla a temperatura suficientemente alta para activar sus fundentes naturales y producir la sinterización y vitrificación de su masa, de tal manera que se logre la consistencia pétreo del producto frío. Mientras más alta es la temperatura de este tratamiento térmico, mayor es el grado de cohesión entre las partículas de arcilla y por consiguiente será mayor la resistencia desarrollada; así como también, generalmente menor la porosidad resultante, NTC 4051:2005.

La planta maneja actualmente un horno tipo túnel, las piezas que entran al horno tipo túnel pasan por varias etapas durante el proceso de cocción: En la primera etapa las piezas sufren un calentamiento uniforme comprendiendo temperaturas que van desde los 300°C hasta los 700°C; después de transcurridas 4 a 6 horas se lleva a la segunda etapa llamada cocción por un tiempo aproximado de 2 horas que abarca un rango de temperaturas desde los 700°C hasta los 850°C donde ocurre el proceso de sinterización y densificación. Finalmente, el material pasa a la etapa de enfriamiento en el cual el material reduce su temperatura de manera gradual por un tiempo de alrededor de dos horas.

## 7. Despacho

Al salir las piezas al horno y esperar a que estas tengan una temperatura aceptable para su manipulación, los operarios encargados del despacho hacen una clasificación del material en ladrillos de primera, ladrillos de segunda, tiesto y ahumados. Los ladrillos de primera y segunda están adecuados para ser vendidos al cliente, los ladrillos ahumados por presentar una sinterización incompleta son

reingresados al horno y el tiesto debido a que no son comercializables, se someten a un proceso de molienda para luego ser reprocesado y mezclado con la materia prima desde la tolva.



### 3. Metodología

En la figura se presenta de forma esquemática la metodología que se siguió para el desarrollo experimental de este trabajo.

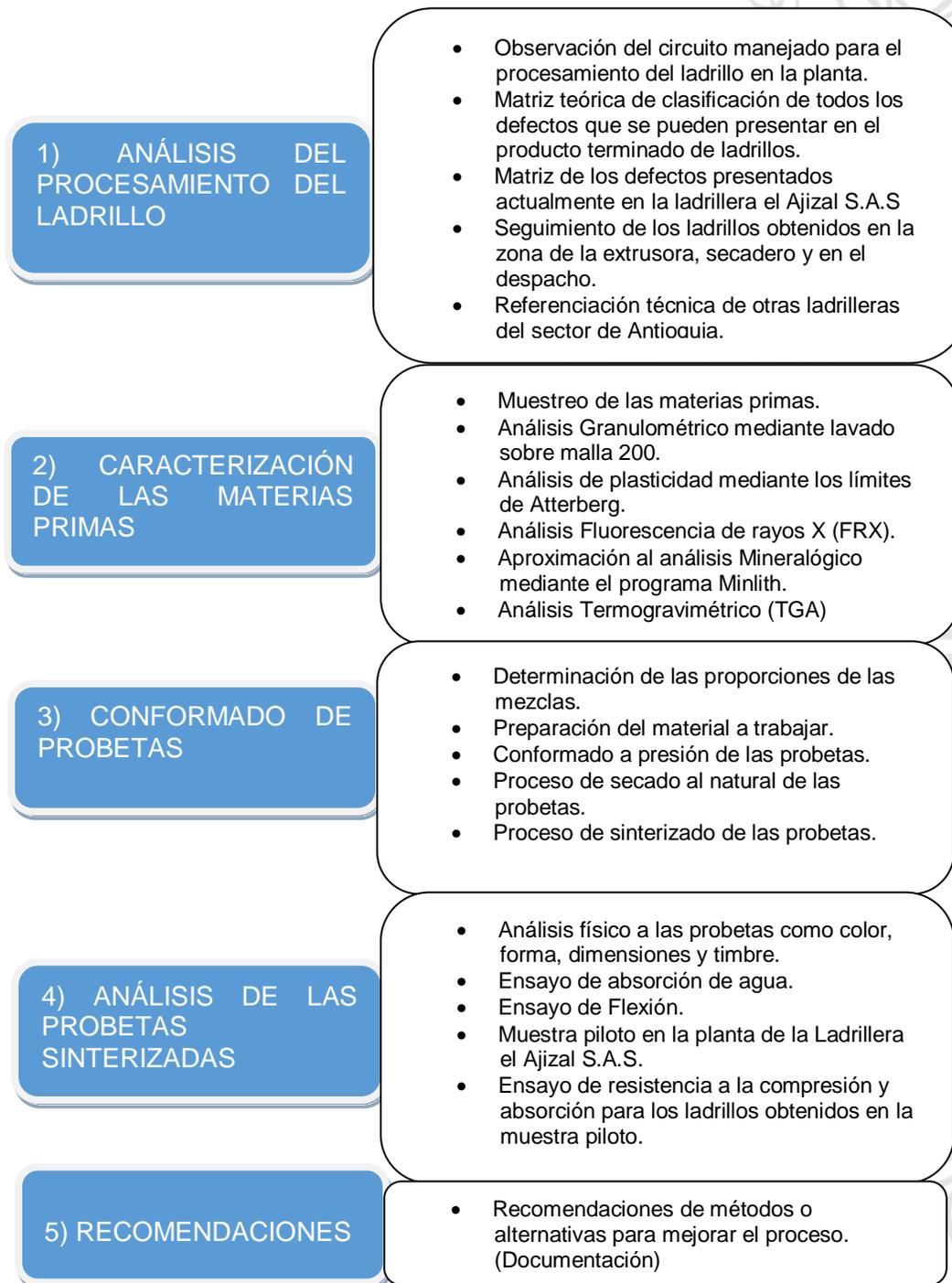


Figura 8. Esquema Resumido para la Metodología

## **3.2 Descripción de la metodología**

### **3.2.1 Análisis del procesamiento del ladrillo**

Se inspeccionó cada etapa del proceso (mina, alimentación, molino saca piedras, extrusora, secadora, horno y despacho) tomando registro de las máquinas de operación, sistema de transporte del material, puntos críticos del material, sistema del secadero, sistema del horno, pruebas de calidad que se hacen en cada etapa e información útil que pueda brindar el operario por la experiencia laboral.

#### **Registro del proceso productivo del ladrillo**

Se realizó una evaluación rigurosa de todas las etapas del proceso, desde el acopio de los materiales, hasta el despacho del producto. Se ejecutó el registro en las zonas de extrusión, secado y cocción mediante uso de un formato de control preestablecido en la empresa (Ver Anexos tablas 34-36).

#### **Patologías del ladrillo cerámico rojo**

##### **Patología del defecto:**

Se realizó una referenciación bibliográfica de la patología del defecto identificado en el proceso; teniendo en cuenta la regularidad del mismo y las variables involucradas en el proceso, el diseño del ladrillo, la maquinaria y el modo de trabajar de los operarios, así como los controles de calidad que se hacen en cada etapa.

#### **Defectos presentados actualmente en la ladrillera el Ajizal S.A.S**

Se realizó el seguimiento al ladrillo en tres zonas de la planta, la extrusora, el secadero y en el despacho; esto con el fin de poder conocer los defectos que se dan en estas zonas y poder clasificarlos.

### **Análisis de los resultados y recomendaciones:**

Se analizaron los resultados de los ensayos antes mencionados con el fin de hacer una evaluación completa a un muestreo de los ladrillos defectuosos y de primera calidad para posteriormente hacer una comparación.

### **Referenciación de otras ladrilleras del sector de Antioquia**

Para conocer las diferencias y similitudes de otras ladrilleras del sector de Itagüí Antioquia con respecto al ciclo del procesamiento del ladrillo, se logró realizar una visita a la Ladrillera la Alcarraza S.A.S.

### **3.2.2 Caracterización de las materias primas.**

Luego de analizar el proceso de fabricación del ladrillo común, es importante conocer la materia prima, su composición y el comportamiento de la misma.

#### **Muestreo**

Se realizó un muestreo de las materias primas empleando la metodología sugerida por la norma ASTM C 702 (Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaño de prueba), con el fin de tener las muestras representativas para los respectivos análisis de laboratorio.

#### **Ensayo de plasticidad (límites de Atterberg)**

##### **Límite líquido:**

Para determinar el límite líquido es necesario emplear la cazuela Casa Grande (ver figura 9) y antes de empezar con los ensayos se debe garantizar que ella se encuentre calibrada, limpia y con la superficie de la cuchara con características integras; para la realización de este ensayo fue necesario calibrar la cazuela y engrasarla. Se realizó el ensayo conforme se describe en la norma ASTM D 4318-00.



Figura 9. Cazuela de Casagrande. Realización de la prueba de Límite Líquido.

### Límite plástico

El procedimiento se realizó con base la norma ASTM D 4318-00, cuyo propósito es determinar la cantidad de material que se permite moldear plásticamente antes de presentar fallas cohesivas.



Figura 10. Imágenes de la Prueba de Límite Plástico.

### **Ensayo lavado sobre malla 200**

El procedimiento para la realización del lavado sobre malla 200 se llevó a cabo con base en la norma ASTM D 1140-00; este método describe la forma de determinar la cantidad de material más fino que 0.075mm (malla 200), presente dentro de una muestra de suelo, en ocasiones se asocia a contenido arcilloso, orgánico y/o plástico.



Figura 11. Ensayo de lavado sobre malla 200.

**Caracterización química y mineralógica.** La caracterización química se realizó mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) dispersivo en longitud de onda; como resultado se obtuvo la composición química y mediante la composición química se pudo utilizar la macro Minlith para realizar la aproximación a la composición mineralógica presente en cada una de las muestras analizadas.

### **Ensayo Termogravimétrico**

Se realizó el ensayo Termogravimétrico TGA y DTG para las materias primas limo, greda y arenilla; cuyo objetivo es conocer el comportamiento de las materias primas frente a los cambios de temperatura presentes comúnmente en un proceso de cocción.

### 3.2.3 Conformado de probetas

#### Determinación de las proporciones de las mezclas

Los porcentajes de las mezclas referenciados en la **Tabla 4**, se escogieron por ser los rangos recomendados por la experiencia de trabajo en las ladrilleras y porque permite maximizar el uso de las materias primas.

**Tabla 4.** Ensayos de las mezclas de porcentajes de Limo, Greda y Arenilla, Limo con tiempo de añejamiento de más de un año.

# ensayos	Limo %	Greda %	Arenilla %
1	80	10	10
2	70	10	20
3	70	20	10
4	60	30	10
5	60	20	20
6	60	10	30
7	50	30	20
8	50	40	10
9	50	20	30
10	50	10	40

Fuente: Elaboración propia.

Se resalta que se incluye en mayor proporción el % de Limo, debido a las características físicas químicas y mineralógicas que presenta. Lo anterior será mostrado en los resultados de cada una de las pruebas.

#### Preparación de las probetas

Para la obtención de las probetas, primero se procedió a disgregar las arcillas manualmente con ayuda del martillo de goma, el material se pasó por el tamiz N° 30 (600 $\mu$ m), luego se realizó el mezclado de las diferentes proporciones antes mencionadas, se realizó el conformado de las probetas mediante prensado uniaxial en húmedo para lo cual se adicionó un 15% de agua a la mezcla total.

Después del conformado las probetas se dejaron secar al natural por un día, por último, se realizó el quemado de las probetas en el horno del laboratorio de la ladrillera el Ajizal a una temperatura de 900°C.



Figura 12. Probetas conformadas en verde.

### **3.2.4 Análisis de las probetas sinterizadas**

#### **Análisis físico a las probetas**

Las probetas sinterizadas fueron evaluadas realizando observación del color y realizando la prueba del timbre, el timbre tiene que ser agudo y sonoro para que la probeta sea considerada buena.

#### **Ensayo de flexión**

Se realizaron ensayos estables de flexión en tres puntos sobre las probetas con base en la norma ASTM C 674 (Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de materiales cerámicos). La velocidad de carga se eligió teniendo en cuenta que cada muestra debe fallar en un minuto, utilizando una velocidad de carga de 1.5 mm/min; la distancia entre los apoyos se eligió teniendo en cuenta que se debe dejar 0.25 pul (6.4mm), por lo que la distancia entre los apoyos fue de 106 mm aproximadamente.

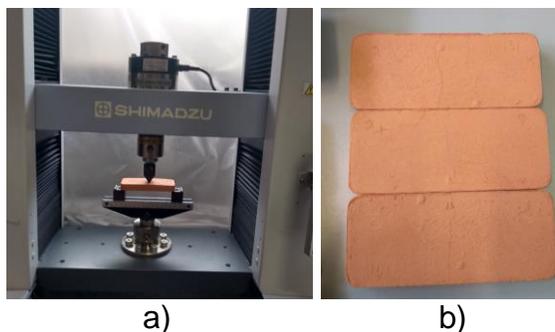


Figura 13. a) Prueba de Flexión, b) Probetas deflectadas después de pasar por la maquina universal, observando la grieta en el medio de la probeta.

### Ensayo de absorción de humedad.

Las probetas quemadas fueron puestas a hervir durante dos horas para lo cual hubo que poner resistencias para que las probetas no tocaran el fondo ni se tocaran entre sí, después de hervir se dejaron reposar por 12 horas aproximadamente según la norma ASTM C20.



Figura 14. Ensayo de absorción

### Muestra piloto en la planta

Se realizó una prueba piloto en la planta con la mezcla que presentó un mejor comportamiento físico y mecánico para observar el comportamiento en el proceso productivo a nivel industrial y para realizar los ensayos de resistencia mecánica y absorción.

### **Ensayo de resistencia a la compresión y de absorción del producto obtenido en la planta**

El ensayo de absorción se realiza con 5 especímenes o unidades diferentes a las empleadas al ensayo de compresión. Estas unidades deben estar limpias y frías, después de pesadas se sumergen en agua durante 24 horas.

#### **3.2.5 Recomendaciones para mejorar el proceso productivo.**

Con base en la metodología y en los resultados de los análisis, se realizaron recomendaciones para mejorar y/o estandarizar alguna variable en el procesamiento de la Ladrillera el Ajizal S.A.S.



## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Identificación de los defectos presentes en las piezas cerámicas dentro del procesamiento del ladrillo de la ladrillera el Ajizal S.A.S

Aunque los principios básicos de fabricación de ladrillos son bastante uniformes, las plantas de procesamiento de ladrillos adaptan de una forma individual su producción teniendo en cuenta las materias primas particulares y su funcionamiento, por lo que el control de calidad es muy importante durante el proceso de fabricación ya que permite reducir las variaciones debidas al proceso y garantizar un producto más uniforme.

El proceso productivo de la ladrillera el Ajizal S.A.S requiere controlar la calidad del ladrillo conformado, por lo que es importante controlar algunas variables como la resistencia mecánica y el porcentaje de absorción mencionados en los requisitos técnicos y comerciales para mampostería no estructural según la norma NTC 4205-2. Se recomienda que la empresa lleve un registro mensual de estas dos variables de respuesta en el producto final obtenido para poder determinar qué factor de entrada incide en que haya variabilidad en la calidad del producto, como puede ser la proporción de la mezcla, la temperatura de cocción, porcentaje de humedad del carbón ( Coque), entre otros.

Se realizó un seguimiento al ladrillo producido de la ladrillera el Ajizal marcando las zonas en las que podemos tener factores de estudio, las cuales fueron la zona de la extrusora, zona de secado y zona de quemado; la primera zona es la extrusora en la que se cuenta con un vacuómetro y un durómetro y se registró el vacío, la dureza, el peso y las dimensiones del adobe; en la zona de secado y en la zona de quemado se

registró el peso y las dimensiones del adobe y la temperatura de trabajo. Obteniendo la siguiente información analizada desde octubre del 2018, en la extrusora se trabaja en promedio con un vacío de  $73 \pm 1.67$  bares y una dureza de  $9.8 \pm 0.22$  bares, el adobe conformado sale de la extrusora con un porcentaje de humedad que regula entre un 25 a un 30 %, actualmente se maneja un porcentaje de humedad del  $26 \pm 1.99$  % y un % de contracción volumétrica del  $17 \pm 0.71$  %. En el proceso de extrusión en agua las arcillas pueden contener entre un 20 a un 30% de humedad para ser moldeadas, se alcanza un incremento apreciable de la consistencia de la pasta cuando el porcentaje de humedad llega al 20%; un alto contenido de humedad tendrá como consecuencia que el flujo del molde salga desequilibrado por lo que el porcentaje de humedad obtenido se puede disminuir en un 25% reduciendo así el porcentaje de contracción volumétrica. Por otro lado mientras mayor presión tenga la cámara de vacío, el ladrillo sale más compacto, denso y no presenta problemas de peladuras o burbujas en las caras laterales del ladrillo; por las características antes mencionadas el vacío obtenido es bueno.

Previo a la entrega del producto, en la ladrillera el Ajizal S.A.S se realiza una inspección visual para comprobar que los ladrillos satisfacen las condiciones de esteticidad y resistencia que garantiza un producto de primera calidad o en su defecto como segunda clasificación, es el caso donde las unidades presentan fallas menores que no comprometen la resistencia mecánica necesaria para llevar el ladrillo a la obra. Las unidades defectuosas son reprocesadas incorporando pequeñas cantidades de estas a la mezcla garantizando las condiciones de humedad de la pasta (tiesto y ahumado).

Los ladrillos considerados de segunda, reprocesados y desechados presentan en forma general los siguientes defectos:

**Tabla 5.** Tabla de Defectos presentados en la ladrillera el Ajizal S.A.S

<p>1.</p> <p><b>forma muy irregular de los tabiques después de salir del secadero</b></p>		<p>Al salir conformado de la extrusora con mucha humedad y ser manipulado por el operario para su desplazamiento.</p>
<p>2.</p> <p><b>Grieta profunda en el lateral 40 después del secadero.</b></p>		<p>Esto puede ser debido a la poca separación entre las piezas ubicadas en la camilla, un problema de boquilla o a un secado excesivamente rápido durante las primas horas del ciclo de secado.</p>
<p>3.</p> <p><b>Pieza con muchas microfisuras en los laterales después de salir del secadero.</b></p>	 <p>Patas de araña</p>	<p>No deben existir en una masa arcillosa lista para el moldeo partículas superiores a 2mm, puesto que estas inciden muy negativamente sobre el acabado superficial y la resistencia mecánica del producto cocido, dando lugar a la aparición de microfisuras en la superficie de la pieza.</p>
<p>4.</p> <p><b>Grieta profunda en el tabique paralela a la cara 40</b></p>		<p>Unidad llamada parrillada por su sonido sordo y su muy mala resistencia, presentándose con regularidad en las unidades que se encuentran ubicados en la parte baja de las vagonetas.</p>

5.	<b>Pieza requemada</b>		Cuando son pocas unidades esto puede deberse a la posición que ocupan en la vagoneta ya que el flujo de aire golpea más en ciertas direcciones.
6.	<b>Pieza ahumada</b>		Unidad que entra al horno con una cantidad considerable de humedad y no logra quemarse bien quedando con una apariencia de ahumado.
7.	<b>Pieza despuntada</b>		La unidad al tener un vapor de agua acumulado en el interior de la pieza y al ser sometido a una cocción demasiado rápida produce desconchado o despuntado. También afectado por la manipulación.
8.	<b>Pieza con Fisura en cara lateral de 40</b>		Fisura presentada en el proceso de quemado, este problema de rotura se presenta comúnmente por la rápida dilatación que se da entre 550 y 650°C.
9.	<b>Pieza con grietas en los tabiques</b>		La unidad al pasar por la etapa de secado sufre unas leves fisuras en los tabiques que se acentúan con profundidad después de la cocción.

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 5** corresponde a los defectos que se presentan con mayor frecuencia en la ladrillera, en el ladrillo horizontal rayado sencillo y horizontal rayado tolete se presenta grieta profunda en el tabique paralela a la cara 40, despuntados y fisuras en los tabiques; en el ladrillo horizontal rayado toletico el defecto más recurrente es la fisura en la cara lateral 40.

Según el registro del año 2018 se obtuvo un promedio de unidades de segunda clasificación del 11.12%, un promedio de unidades de tiesto del 6.17% y un promedio de unidades ahumadas del 3.20%.

Los defectos antes mencionados implican para la empresa pérdidas en cuanto a las ventas y mayor gasto de energía, por este motivo se identificó un punto crítico en la zona de la extrusora donde se puede controlar la humedad utilizando el chamote o tiesto molido al recircularlo en el circuito de procesamiento logrando disminuir el porcentaje de este; actualmente no se tiene definido un porcentaje de adición; sin embargo gracias a la referenciación bibliográfica se realizó una recomendación de utilizar entre un 5 a 10% de este, para el conformado del ladrillo. Lozano & Gonzáles(2016).

Según la referenciación bibliográfica se evidenció que al adicionarle porcentajes entre un 5, 10, 15 y 20% de chamote a la mezcla para el conformado del ladrillo, se presentaba un mayor cambio de volumen entre el estado verde y el estado de quema a medida que aumentaba este porcentaje, los investigadores de este trabajo concluyeron que no era recomendable utilizar porcentajes altos de chamote debido a que las probetas tendrán mayor disminución en sus dimensiones. Por otro lado se determinó que al adicionarle un porcentaje del 5% y del 10% de chamote a la mezcla, esta no

presentaba cambios significativos de volumen a los ladrillos cuando cambien de estado, por lo que es recomendable utilizar un rango del 5-10% para trabajar sin comprometer la calidad del ladrillo en los pasos posteriores a su procesamiento ni la resistencia a la compresión ni el porcentaje de absorción establecidos por la norma 4205.

Otro factor identificado es el mantenimiento de las boquillas; estas al tener un tiempo considerable de uso sufren un desgaste ocasionando que el perfil de flujo salga de la extrusora con un mayor espesor de los tabiques, afectando así la calidad del ladrillo mediante el aumento de masa, las roturas o fisuras.

Este seguimiento se realizó registrando las dimensiones del adobe, peso del adobe, porcentaje de humedad, porcentaje de contracción, número de unidades que son conformadas al día.

### **Referenciación de otras ladrilleras del sector de Itagüí**

Se logró visitar la ladrillera la Alcarraza ubicada en Itagüí Antioquia en diciembre del 2018, mediante esta visita se conoció el modo de procesamiento del ladrillo en esta planta, haciendo una comparación con el procesamiento del ladrillo en la ladrillera el Ajizal S.A.S se pudo percatar que en la Alcarraza se implementó la utilización de la biomasa, mediante cascara de café molido de un 20 a un 30% el cual es agregado junto con el carbón tipo maní al horno, el tipo de secadero es estático y aunque también reciben tierras de obras de construcción todavía cuentan con una mina.

## 4.2 Caracterización de las materias primas

### 4.2.1 Muestreo



Figura 15. Imagen satelital de la zona alta de la mina (año 2018)

Se realizó un muestreo aleatorio en donde se tomaron muestras representativas del Limo que se encuentra en la zona alta de la mina realizando una excavación con ayuda de una pala coca, en puntos de fácil acceso que se encontraban sin vegetación.



Figura 16. Extracción de las muestras de limo en la zona alta de la mina

La Greda y la Arenilla se encontraron en la zona baja de la mina donde los camiones depositan el material proveniente de obras de construcción.



Figura 17. Imágenes de zona baja de la mina donde se realizó el muestreo de la Greda y Arenilla.



Figura 18. Imágenes de las muestras representativas de Limo, Greda y Arenilla

Después las muestras se sometieron a secado al aire libre, para luego disgregar en forma manual con un martillo de goma todos los terrones generados para su posterior utilización para los respectivos ensayos.



Figura 19. Secado de la muestra de Limo.

A continuación, expresan los resultados de los Límites líquido y plástico de la Greda y el limo utilizando el método de Atterberg, para identificar la aptitud y comportamiento que presentan las materias primas en las diferentes mezclas.

#### 4.2.2 Ensayo de plasticidad (límites de Atterberg)

Se realizó el análisis de plasticidad para el limo y para la greda por dejarse moldear en presencia de agua. En el caso de la arenilla no se realizó debido a sus características de baja plasticidad.

**Tabla 6.** Resultados de los ensayos de plasticidad

Límite líquido	Índice de Plasticidad	Muestra
$W_L$	PI	
37.94	15.84	Greda ●
37.0	16.20	Greda ●
38.25	16.82	Greda ●
38.81	7.78	Limo ●
44.5	5.5	Limo ●
47.6	7.5	Limo ●

Fuente: ASTM D 4318-00

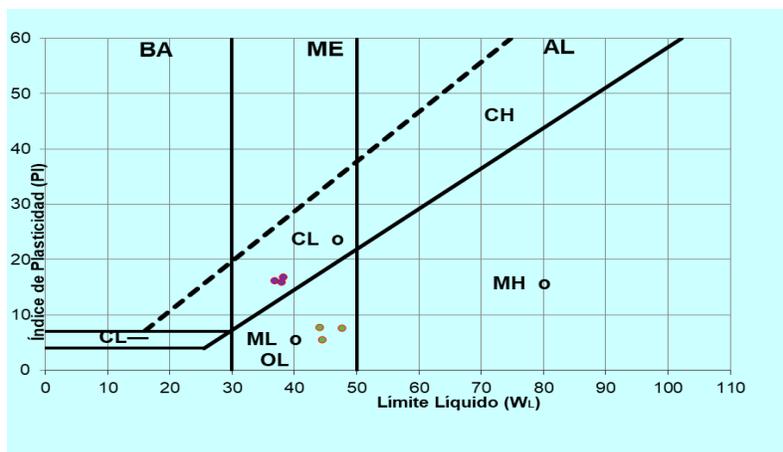


Figura 20. Gráfica de clasificación de Casagrande.

El análisis fue por triplicado para la muestra de Greda de la Ladrillera el Ajizal S.A.S se encuentra en la región de arcilla inorgánica de plasticidad media. Y el análisis por triplicado para la muestra de limo de la Ladrillera el Ajizal S.A.S se encuentra en la región correspondiente de limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos.

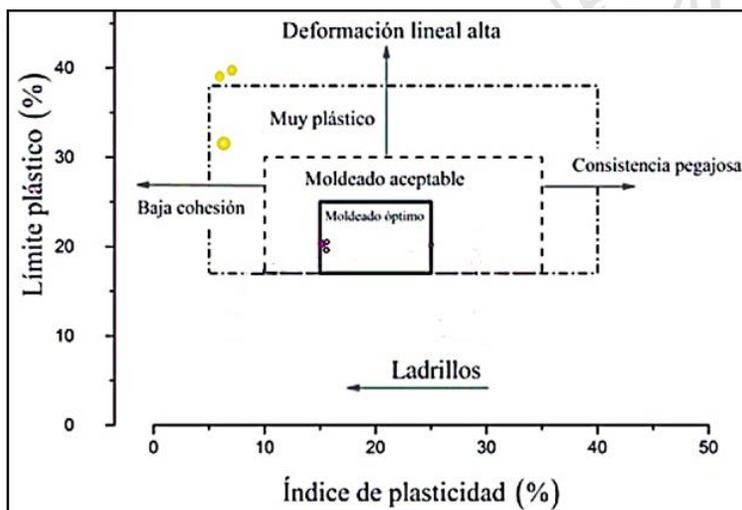


Figura 21. Grafica de Trabajabilidad en la zona de Extrusión de los ladrillos

La gráfica de trabajabilidad correspondiente al límite plástico vs el Índice de plasticidad nos informa los rangos de trabajo óptimo y aceptable para tener buenos

resultados en extrusión, según los datos conseguidos experimentalmente del límite plástico e índice de plasticidad para la greda y para el limo. Se observa que la greda (puntos color morado) se encuentra en la zona de moldeado óptimo; el limo (puntos color amarillo) se encuentra dentro del rango del tipo de material muy plástico; vale resaltar que el limo presenta baja cohesión ya que este necesitó más cantidad de agua para moldearse, esto puede ser debido a que tiene mayor contaminación.

La Arenilla no se caracterizó con esta técnica debido a su naturaleza no arcillosa. La Arenilla actúa como desengrasante, esto se debe a la mayor presencia de sílice, una de las características que más aporta en las mezclas es que previene el agrietamiento e imparte formas uniformes al ladrillo, ayuda a obtener un porcentaje de porosidad óptimo y aporta los fundentes en el proceso de cocción. Se recomienda controlar los porcentajes de adición ya que su exceso disminuye la cohesión entre las partículas, generando comportamientos no deseados, fragilidad y agrietamiento.

#### 4.2.3 Ensayo lavado sobre malla #200.

A continuación en la **Tabla 7** se muestran los resultados del ensayo de lavado sobre malla 200.

**Tabla 7.** Tabla Resultados Ensayo sobre lavado malla # 200

Muestra	% de material más fino que malla 200	% de material retenido en malla 200
Arenilla	45.03	54.97
Limo	70.40	29.59
Greda	74.52	25.47

Fuente: ASTM D1140-00

De los resultados obtenidos de la **Tabla 7**, se observa que el material más fino que el diámetro 75  $\mu\text{m}$  fue la greda con un 74.52%, seguido del limo con un 70.40% y la arenilla con un 45.03%. Los resultados anteriores pueden indicar que las muestras greda y limo presenten un comportamiento más plástico debido a la mayor fracción - M200; lo cual se había evidenciado con el análisis de Límites de Atterberg. Por el contrario, la muestra arenilla presenta una menor cantidad de especies menores a 75  $\mu\text{m}$  en comparación a las otras dos muestras, sin embargo este porcentaje sigue siendo considerable.

#### **4.2.4 Análisis químico y mineralógico de la materia prima.**

Según la literatura, para la fabricación de ladrillos de buena calidad, se recomienda que la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) debe estar entre 20-30%, la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) entre 50-60%, según los resultados de la **Tabla 8** se observa que el contenido de sílice se encuentra un poco bajo, pero la greda se acerca con un 48.29% y la alúmina para las tres muestras se encuentra en el rango óptimo. Para la fabricación del ladrillo se recomienda que el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se encuentre entre 3 y 6. En el análisis se observa un mayor contenido de óxido de Hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Para las tres muestras se observan bajos contenidos de Sodio (Na) y Potasio (K), el Sodio y el Potasio actúan como fundentes, también se observan algunas trazas de otros compuestos los cuales no son tan importantes de mencionar. Las pérdidas por ignición se encuentran altas, parte de estas pérdidas corresponden al proceso de deshidroxilación y otra parte se relaciona con la cantidad de materia orgánica presente en la muestra, esto podría ser desfavorable en procesos donde se requieran

coloraciones blancas o también podría generar un defecto conocido como corazón negro.

Los resultados arrojados por la base de datos de Minlith dan una posible estimación de las fases cristalinas presentes en las muestras, como se puede evidenciar en la **Tabla 9**, se estima que la fase cristalina más predominante para la muestra de Limo es la Caolinita con un 66.69% en peso, para la Greda es la Montmorillonita con un 45.53% en peso y para la Arenilla es la Gibbsita con un 48.4% en peso y 35.54% en peso de Feldespato.

Estas arcillas hacen parte de la familia de los filosilicatos, la Caolinita en la literatura es considerada la arcilla menos plástica, pero es un tipo de arcilla que por tener gran porcentaje de alúmina y elevado punto de fusión tiene propiedades refractarias notables después de la cocción dando una coloración blanca y buena resistencia mecánica. La Montmorillonita es una arcilla muy plástica y es poco común su utilización a diferencia de las arcillas Caoliniticas e Illiticas en el procesamiento del ladrillo. Durante el secado y el sinterizado las piezas conformadas pueden tener una gran contracción originando grietas por lo que es conveniente agregar arena como material desgrasante para ajustar la plasticidad de la pasta. El contenido de Feldespato en la Arenilla ayuda en la cocción porque actúa como fundente.

**Tabla 8.** Resultados del análisis del FRX

Nombre muestra	Perdida de Ignición	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Arenilla	9.93	45.74	1.21	23.37	9.73	0.09	3.05	3.66	2.32	0.70	0.15
Limo	14.28	40.32	1.56	30.10	12.20	0.07	0.54	0.09	0.36	0.39	0.05
greda	11.96	48.29	1.14	21.80	9.37	0.13	2.45	2.10	1.25	1.27	0.11

**Tabla 9.** Aproximación a las posibles fases mineralógicas (% en peso) mediante Minlith de las muestras de Limo, Greda y Arenilla

<b>Limo</b>	<b>Caolinita</b>	<b>Montmorillonita</b>	<b>Feldespato</b>	<b>Illita</b>
	66.69	12.86	17.16	4.3
<b>Greda</b>	<b>Cuarzo</b>	<b>Caolinita</b>	<b>Illita</b>	<b>Montmorillonita</b>
	4.6	15.16	13.9	45.53
<b>Arenilla</b>	<b>Gibbsita</b>	<b>Feldespato</b>	<b>Illita</b>	<b>Siderita</b>
	48.4	35.44	4.6	5.17

Fuente: Programa Minlith.

#### 4.2.5 Ensayo Termogravimétrico.

El Análisis por Termogravimetría (Thermo Gravimetric Analysis TGA) se define como la técnica en que se mide la pérdida en el porcentaje en peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura mientras se somete a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica, la atmósfera puede ser estática o dinámica con un caudal determinado (también se emplean condiciones de presión reducida) y los gases más habituales son N<sub>2</sub>, aire, Ar, CO<sub>2</sub>. También se usan H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, o SO<sub>2</sub>. Una característica fundamental de la técnica TGA es que sólo permite detectar procesos en los que se produce una variación de peso tales como descomposiciones, sublimaciones, reducción, desorción, absorción, mientras que no permite estudiar procesos como fusiones, transiciones de fase.

El análisis realizado arroja la gráfica de pérdida de peso en función de la temperatura, hay equipos que también pueden analizar la derivada de la pérdida del peso.

La importancia de los análisis térmicos radica, en que permite conocer el comportamiento de la muestra frente a los cambios de temperatura, por lo tanto, a través del perfil térmico se tiene conocimiento para implementar una curva de cocción

que sea adecuada para la muestra. Al controlar la curva de cocción se puede garantizar que los procesos de sinterización se lleven de manera controlada y se alcance la mayor densificación de las piezas, logrando obtener productos que cumplan con los estándares de calidad que exige el mercado. (Isel, Sánchez & Chaparro, 2017)

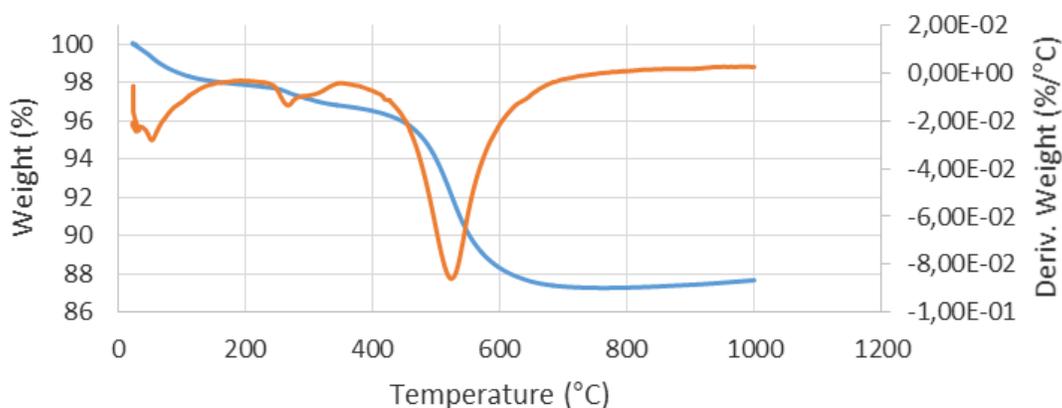


Figura 22. Análisis TGA de la muestra limosa (línea azul) y DTA (línea anaranjada)

En la figura anterior correspondiente a la muestra de Limo, al analizar la línea azul correspondiente a la pérdida de peso, primero se da la etapa de deshidratación, entre los 200 y 400°C ocurre la pérdida de componente orgánico, entre los 400 y 600°C donde se observa un cambio abrupto se da el proceso de deshidroxilación en el cual se originan nuevas fases y entre los 600 y 1000 se observa una tendencia constante por lo que no transcurre cambio de peso. En la curva de la derivada se observa un pico muy pronunciado alrededor de los 530°C pico característico de la deshidroxilación por lo que buscando en la literatura Foldvári (2011) se observa que la curva es similar a la caolinita.

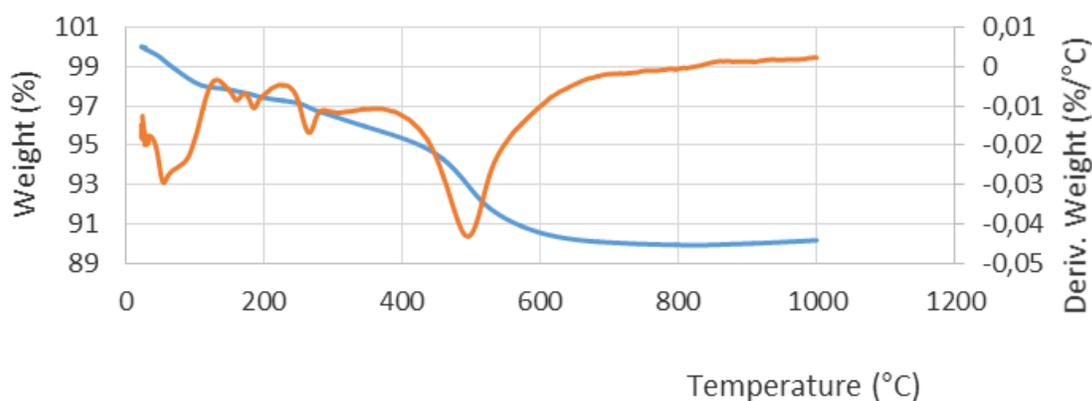


Figura 23. Análisis TGA de la muestra Greda (línea azul) y DTA (línea anaranjada)

En la figura anterior, en el primer rango de temperatura no se observa una curva suave, con picos no identificadas y relacionados posiblemente con la descomposición de componentes orgánicos típicamente encontrados en materias primas de formación sedimentaria, como es el caso de esta arcilla, de manera similar a la muestra anterior, después de los 400 °C se presenta un pico característico de los fenómenos de deshidroxilación de filosilicatos y generación de fases meta-Caoliniticas alrededor de los 530°C. .

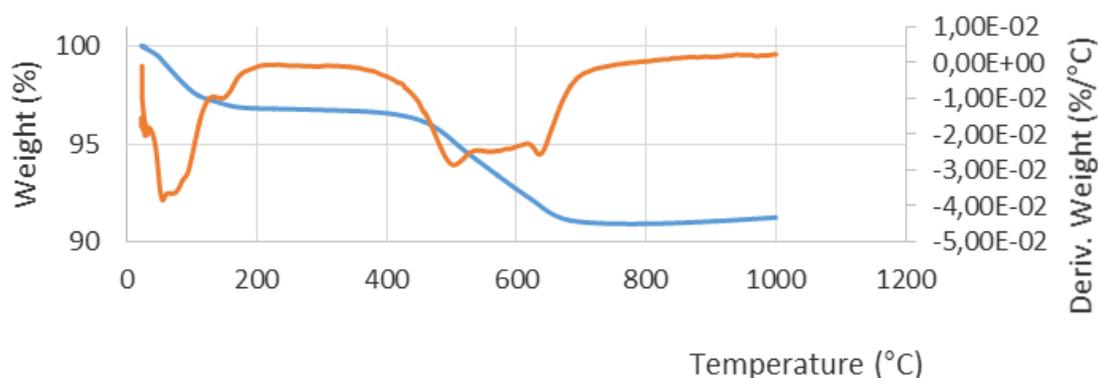


Figura 24. Análisis TGA de la muestra Arenilla (línea azul) y DTA (línea anaranjada)

La anterior correspondiente a la Arenilla, la curva anaranjada presenta los resultados del análisis DTA, donde se puede observar picos a temperaturas menores a los 200 °C, los cuales son característicos de la pérdida de humedad de la muestra, posteriormente se presenta al igual que en las otras muestras un pico alrededor de los 500 °C relacionado con los fenómenos de deshidroxilación de silicatos; Finalmente se presenta un pico alrededor de los 650 que se atribuye posiblemente a los fenómenos de transformación y descomposición de sulfuros de hierro. Foldvári (2011)

#### 4.3 Análisis de las probetas sinterizadas

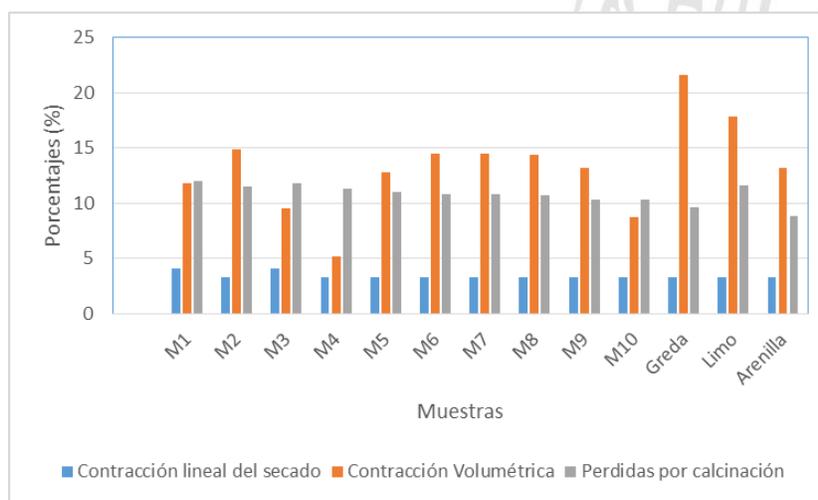


Figura 25. Grafica barras de contracción lineal de secado, contracción volumétrica y pérdidas por calcinación a las probetas conformadas.

La figura anterior corresponde a las probetas sinterizadas con las diferentes proporciones de las materias primas descritas en la **Tabla 4** y las materias primas individuales (correspondientes a la greda, limo y arenilla), se puede observar que las probetas de la muestra 2, 6, 7 y 8 presentaron porcentajes de contracción lineal y

volumétrico muy parecidos; como el Limo no se modificó de manera considerable en estas mezclas, probablemente los porcentajes de contracción sean parecidos debido a la similaridad composicional entre ellas, por otro lado la probeta correspondiente a la greda presentó una mayor contracción volumétrica.

#### 4.3.1 Ensayo de flexión

La carga de rotura es una fuerza necesaria para causar la rotura de la probeta, expresada en Newtons (N); la resistencia a la flexión o módulo de rotura es una magnitud expresada en Newtons por milímetro cuadrado ( $N/mm^2$ ), obtenida al dividir la fuerza de rotura por el cuadrado del grosor mínimo en la sección de rotura. El módulo de rotura es una característica intrínseca del material.

$$R = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Donde R es la resistencia a la Flexión, F es la carga de rotura, L es la distancia entre los puntos de apoyo de la probeta, b es el ancho de la probeta y h es el espesor de la probeta.

**Tabla 10.** Resultados del ensayo de Flexión

Probeta	Fuerza (N)	Módulo de ruptura (Kg/mm <sup>2</sup> )
1	236,90	4,05
2	299,14	5,37
3	317,34	5,47
4	172,03	2,82
5	278,68	4,71
6	285,74	5,14
7	319,30	5,61
8	276,07	4,58
9	262,27	4,67
10	299,32	5,20

Fuente: ASTM C 674

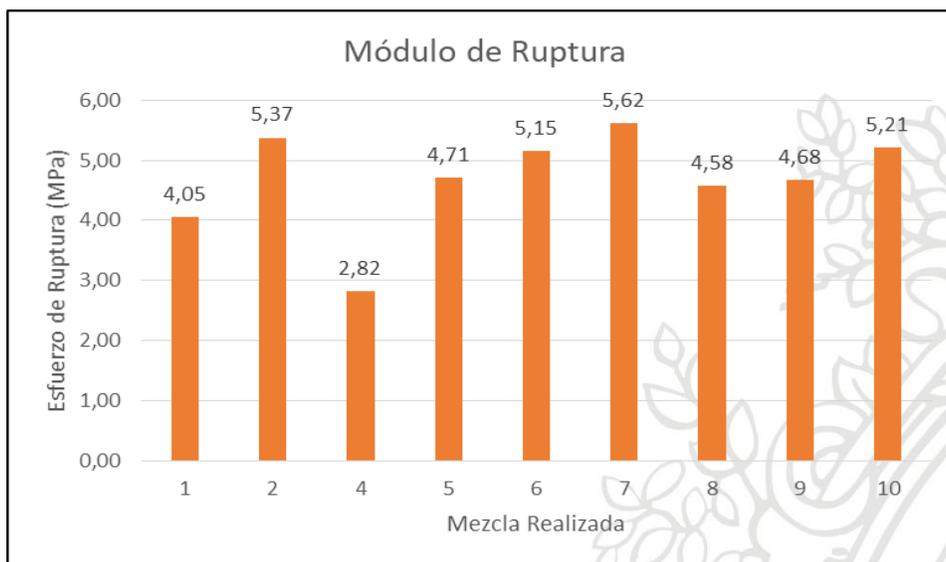


Figura 26. Grafica de barras del módulo de resistencia de las muestras analizadas

Si se tiene en cuenta que la resistencia a la flexión varía entre el 10 al 30% de la resistencia a la compresión y que la resistencia a la compresión mínima es de 10Mpa para una unidad y de 14Mpa para cinco unidades de ladrillo, se puede establecer un intervalo de resistencia mínimo a la flexión de 1.0 a 1.4MPa. Takeuchi C.,(2007), Afanador, Ibarra & López,(2013).

Se observa en los resultados que los módulos de ruptura son mayores a 1,4MPa, esto puede ser debido a que las muestras fueron quemadas a 950 °C por lo que la resistencia de las probetas aumentó, obteniendo una máxima resistencia de ruptura para la muestra numero 7 la cual corresponde a 50% Limo, 30% Greda y 20% Arenilla. La muestra 2 quedó descartada por tener un sonido sordo en la prueba de timbre.

### 4.3.2 Ensayo de absorción

Muestras	Absorción (%)
1	25,18
2	22,98
3	23,73
4	26,02
5	22,56
6	22,70
7	21,90
8	23,27
9	21,18
10	22,60

**Tabla 11** Tabla de resultados de prueba de porosidad. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados de la **Tabla 11**, la muestra 9 presentó el más bajo porcentaje de absorción seguido de la muestra 7, pese a esto la muestra 9 fue descartada porque además de no cumplir con el valor máximo de la resistencia a la flexión, al realizar la prueba de timbre presentó un sonido sordo; por lo cual se puede concluir que la mezcla idónea con las muestras estudiadas para conformar ladrillos de buena calidad es 50% Limo, 30% Greda y 20% Arenilla correspondiente a la muestra 7. Por lo que se procedió a realizar la prueba piloto en la planta con dicha mezcla.

### 4.3.3 Ensayo de resistencia mecánica y absorción para la mezcla (50% limo, 30% greda y 20% arenilla).

A continuación, en la **Tabla 12** y en la **Tabla 13** se muestran los resultados de resistencia a la compresión y de absorción respectivamente de 5 muestras para cada ensayo (5 ladrillos tolete) tomadas aleatoriamente de la prueba piloto realizado en la planta.

**Tabla 12.** Ensayo de resistencia a la compresión mediante la norma NTC 4017

Ladrillo N°	resistencia (Kg.f/cm <sup>2</sup> )
1	40.96
2	32.97
3	35.38
4	31.95
5	42.62
<b>Promedio</b>	<b>36.78</b>
<b>Desv</b>	<b>4.77</b>

Fuente: Laboratorio de suelos concretos y pavimentos – Universidad Eafit

**Tabla 13.** Ensayo de absorción mediante la norma NTC 4017

Ladrillo N°	Absorción (%)
1	21,0
2	20.1
3	21.6
4	20.6
5	21.3
<b>promedio</b>	<b>20.92</b>
<b>Desv</b>	<b>0.58</b>

Fuente: Laboratorio de suelos concretos y pavimentos – Universidad Eafit

Las unidades no estructurales pueden tener resistencias mecánicas inferiores a las especificadas en la **Tabla 1**, siempre que se cumplan los requisitos de diseño de los elementos no estructurales de la edificación en las que van a ser aplicadas; como la ladrillera el Ajizal S.A.S procesa el tipo de ladrillo de perfil horizontal para mampostería no estructural, según la **Tabla 1** la resistencia mínima a la compresión para un promedio de 5 unidades debe cumplir  $30\text{Kgf/cm}^2$  (3MPa), y para una unidad  $20\text{Kgf/cm}^2$ . Los resultados obtenidos en la **Tabla 12** indican que la resistencia a la compresión promedio fue de  $36.78\text{Kgf/cm}^2$ , valor superior al requerimiento en la norma NTC 4205-2 para mampostería no estructural.

El ensayo de absorción presentado en la **Tabla 13** dio como resultado promedio un porcentaje de absorción de 20.92%; el cual es alto para el requerimiento de la norma NTC 4205-2, pues este debería estar con un análisis de 5 unidades en máximo 17% y una sola unidad en 20% de absorción.

La norma técnica colombiana 4204-2 en el numeral 6.1.1 correspondiente a la absorción de agua, establece en el párrafo 6.1.1.4 que si en razón de la materia prima utilizada, las unidades de mampostería no estructural resultan con absorción mayor a la especificada, se debe acudir al análisis térmico diferencial conjunto de la arcilla y del producto cocido de acuerdo con el procedimiento descrito en la NTC 4017, para determinar si la temperatura de cocción fue suficiente o no para formar fases cerámicas estables. En el numeral 6.1.1.5 se establece que si las unidades no cumplen con el análisis recomendado anteriormente, su aceptación o rechazo queda supeditada a que no estén expuestas a la intemperie, es decir únicamente se pueden utilizar en muros no

estructurales interiores o que tengan algún recubrimiento de acabado que los aislé de la intemperie.

## 4.5 Recomendaciones

### 4.5.1 Creación de un formato para el control de las medidas del ladrillo en la extrusora.

El objetivo de este formato es garantizar que se cumpla con las dimensiones finales del ladrillo al terminar el proceso de cocción, de acuerdo con los requisitos de calidad de la norma NTC 4205 sobre las dimensiones de los espesores de paredes y tabiques para mampostería no estructural; realizando un control en la zona de la extrusora a las boquillas mediante el cumplimiento del espesor de las paredes y de los tabiques en el ladrillo que ha sido previamente extruido en la planta.

La **Tabla 14** muestra los requerimientos técnicos para los espesores de pared y tabiques para unidades de mampostería no estructural según la norma 4205. **Tabla 14.**

Esesor de paredes y tabiques para unidades de mampostería no estructural.

Tipo	Esesor neto mínimo de las paredes, mm	Esesor mínimo de los tabiques, mm
PH	10	6
PV	10	6

Fuente: NTC 4205.

Se resalta que la norma presenta una tolerancia dimensional donde los valores definidos en la tabla anterior pueden variar en un 2% por encima o por debajo de las medidas nominales especificadas, para todas las formas y tamaños que se fabriquen.

Se recomienda el siguiente formato para llevar el control de las medidas del esesor de las paredes y tabiques del ladrillo en la zona de la extrusora:

**Tabla 15.** Formato del control del espesor de Paredes y Tabiques del ladrillo

FORMATO DE CONTROL					
Fecha	Referencia	N° Boquilla	N° muestra	Espesor Pared	Espesor Tabiques



## 5. Conclusiones

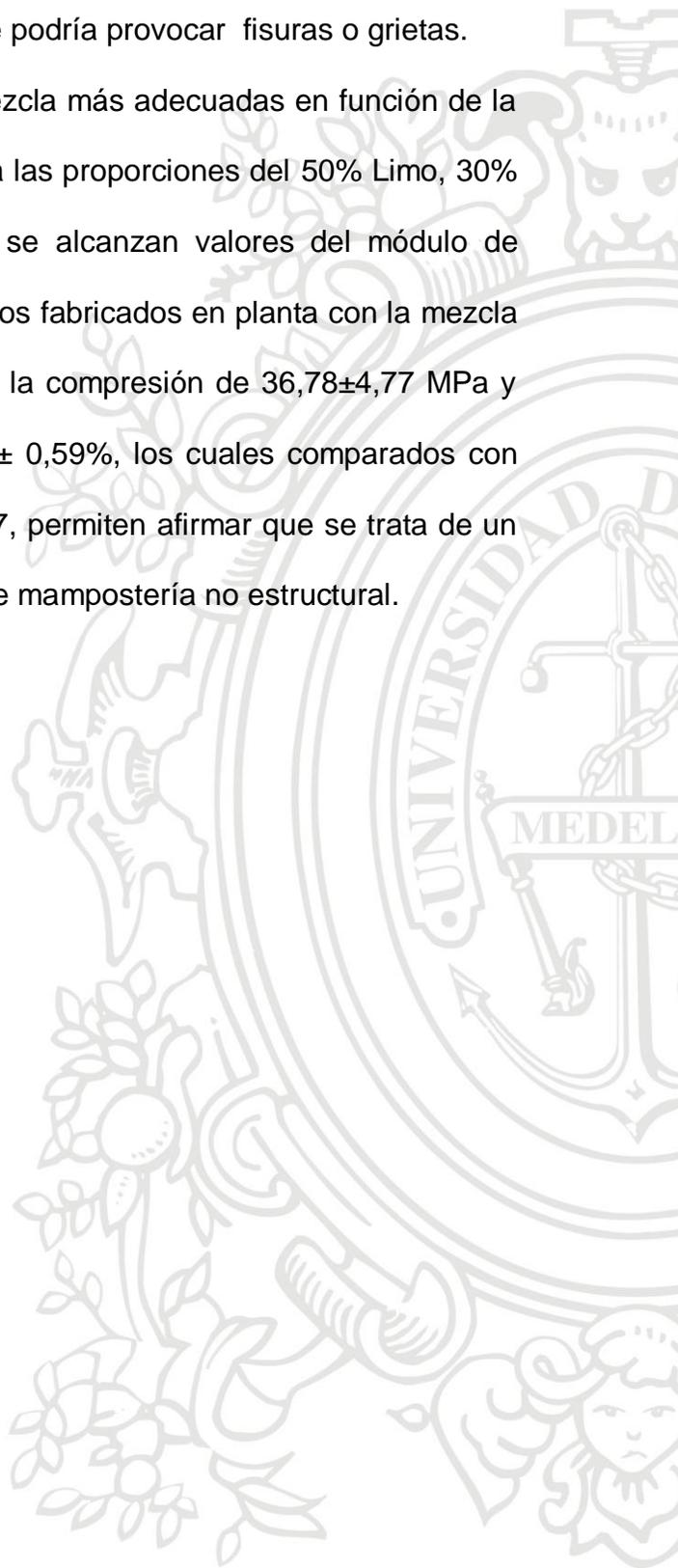
Los resultados de la caracterización química mediante Fluorescencia de rayos X, permitió categorizar como una materia prima de buena calidad para la fabricación de ladrillos, en función de los porcentajes de Sílice, Alúmina y Óxidos de Hierro. Los análisis térmicos (DTA/TGA) permitieron identificar las posibles transformaciones que presentaron cada una de las materias primas; además permitieron identificar la posible pérdida de peso que presentarían dichas muestras al ser sometidas a cocción. Por otro lado, los resultados de trabajabilidad plástica determinados empleando los límites de Atterberg, permitieron clasificar a las materias primas como: “La Greda” como arcilla inorgánica de plasticidad media y “El Limo” como limo inorgánico de compresibilidad media y orgánica.

Se pudo identificar un punto crítico que ocasiona que los ladrillos sean defectuosos, analizando de manera minuciosa cada una de las etapas de producción realizadas en la planta, y este punto crítico se centra principalmente en la heterogeneidad de la materia prima utilizada, debido a que las fuentes de suministros son diversas, lo cual causa que las variaciones de calidad en el producto terminado sea considerable; por otro lado almacenamiento de la materia prima también afecta, puesto que estas están sometidas a todos los efectos climáticos, entre otros factores que generan cambios en la humedad y características de trabajabilidad de la pasta.

Mediante el análisis de la contracción volumétrica de las arcillas evaluadas, se identifica que la materia prima “Greda” presenta una contracción de 20%, lo cual

sugiere que en el proceso de cocción esta es quien pierde la mayor cantidad de agua generando así un mayor cambio dimensional que podría provocar fisuras o grietas.

Se logró determinar las condiciones de mezcla más adecuadas en función de la mayor resistencia a la flexión; esta corresponde a las proporciones del 50% Limo, 30% Greda y 20% Arenilla, con estas proporciones se alcanzan valores del módulo de ruptura de  $5,62 \pm 0,58$  MPa. Finalmente, los ladrillos fabricados en planta con la mezcla seleccionada obtuvieron valores de resistencia a la compresión de  $36,78 \pm 4,77$  MPa y porcentajes de absorción de humedad de  $20,92 \pm 0,59\%$ , los cuales comparados con los requerimientos de la norma técnica NTC 4017, permiten afirmar que se trata de un ladrillo adecuado para ser usado como material de mampostería no estructural.



## Referencias

- Afanador, N.; Ibarra J. & López, C. A. (2013). Caracterización de arcillas empleadas en pasta cerámica para la elaboración de ladrillos en la zona de Ocaña, Norte de Santander. *Épsilon* (20), 101-119.
- Cáceres; V. I., Sánchez, J., Chaparro, A. L.(2017) Evaluación de arcillas caoliniticas-illiticas provenientes de la formación guayabo del Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia
- Carriazo, J., Molina, R., Moreno, S.( 2010) Caracterización de dos arcillas colombianas por difracción de rayos X y su relación con aspectos de origen y transformación. *Boletín de Geología*, (26), pp. 143–148.
- Cultrone, G (2004) Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del patrimonio histórico. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., et al.(2004) Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín , Itagüí y Amagá. Revista - Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.(28) 109, pp. 555–564.
- Estéves I, Lucas C.(2016) Mejoramiento del proceso productivo y de almacenamiento en la empresa Ladrillera Curití LTDA, Tesis.
- Facincani, E.(1993) Tecnología ceramica de los ladrillos, 3<sup>era</sup> Edición en castellano Faenza Editrice Iberica S.L.

Garcia A, Del Olmo, L.(1972) Algunos aspectos tecnologicos de la fabricacion de ladrillos. Instituto de Ceramica y Vidrio.(11)4.

Garcia, M.(2008) Clasificación de materias primas para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la cerámica roja en la ladrillera el ajizal. Tesis de Ing., Universidad de Antioquia.

Grim, R.(1942) Modern concepts of clay materials. The Journal of Geology. (50) 3, pp. 225–275.

Mari, E. A.(1998) Los materiales Cerámicos, Primera Edición. Buenos Aires.

Muñoz, J. A., Muñoz, R. A., Mancill, P., et al.(2007). Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda ' La codicia ' ( Guapi , Colombia ) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 42, pp. 68–78.

Muñoz, R. A., Muñoz, J. A., Mancilla, P., et al.(2007) Caracterización fisicoquímica de arcillas del municipio de Guapi- costa pacífica caucana (colombiana), Revista de la Academia Colombiana de Ciencias,(31), pp. 537–544.

Rojas, J.(2005) Problemas patologicos presentados en fachadas de ladrillo e la vista tipo Catalán en la ciudad de Medellin. Tesis.

Santos, J. D., Malagón, P. Y. (2009). Estudio de mejoramiento del proceso de fabricación de tejas y ladrillos con las arcillas de la vereda Guayabal del municipio de Barichara (Santander). Tesis de Ing., Escuela de Ingeniería metaúrgica y ciencia de materiales, Bucaramanga, Colombia.

Santos, J. D., Malagón, P. Y., Córdoba, E. M.(2011). Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander”, *Dyna*,(167), pp. 50–58.

Walley, C.N.(1972) Como evitar perdidas en el secado y en la cocción. *Materiales de construccion*. (22) 146.

Zea, L. (2005) Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, Escuela de Ingenieria Civil.

Zuluaga C., D; Henao A., A; García P., D.(2016); Caracterización Termica, química y mineralogica de un tipo de arcilla roja propia de la region andina colombiana, empleada para la produccion de ladrillos para la construccion. et al. *Revista Colombiana de Materiales*, No 9, pp. 53-63.

Oleg M. Rosena, Ali A. Abbyasovb, John C. Tipperc, (2004) MINLITH—an experience-based algorithm for estimating the likely mineralogical compositions of sedimentary rocks from bulk chemical analyses.

Lozano O., M; Gonzáles P., S.(2016); Uso de residuos ceramicos en la producción de ladrillos de arcilla cocidos del sector alfarero la candelaria. Universidad Javeriana.

Takeuchi C.,(2007). Comportamiento en la mamposteria estructural. Universidad nacional de Colombia, Bogotá

## Anexos

### Definición de términos

**ARCILLA:** Material agregado de origen mineral, de consistencia terrosa o pétreo, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina, capaz de tornarse plástico con la adición limitada de agua, rígido cuando esté seco, y pétreo cuando es sometido a temperatura suficientemente alta.

**LIMO:** Nombre dado a los limos arcillosos, material plástico con grandes cantidades de arenilla y estériles, estos son utilizados en la producción actual de la planta por sus características medias.

**GREDA:** Nombre dado al material altamente arcilloso, es utilizado en la producción actual de la planta como engrasante.

**ARENILLA:** Nombre dado a la arena de grano fino, con alto contenido de cuarzo, es utilizado en la producción actual de la planta como desgrasante.

**MAMPOSTERIA:** se llama mampostería al sistema tradicional que consiste en la construcción de muros y parámetros, para diversos fines, mediante la colocación manual de elementos.

**LADRILLERA:** fabrica que tiene por oficio hacer o vender ladrillos

**MATERIA PRIMA:** se conoce como materia prima a los materiales extraídos de la naturaleza que nos sirven para construir los bienes de consumo.

### LADRILLOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

Se refiere a los ladrillos que por su diseño y resistencia pueden permitir o no respectivamente, la construcción de mampostería estructural o muros que soporten cargas adicionales a su propio peso.

**LADRILLOS DIVISORIOS:** se refiere a las unidades usadas en paredes interiores, subdivisión de áreas en locales, o construcciones similares, y que no soportan cargas adicionales a las de su propio peso.

**ADOBE:** El termino adobe se aplica al ladrillo macizo secado al sol, que no ha sido sometido a cocción. También es frecuente que el término se use indistintamente en vez de ladrillo.

**PAREDES Y TABIQUES:** Las paredes son las caras exteriores de los ladrillos que contienen el volumen de la pieza; los tabiques son los elementos divisorios interiores que unen las caras entre sí o encierran las celdas o perforaciones.

**CHAMOTE:** El chamote es el nombre dado al polvo que se obtiene de la molienda de los ladrillos defectuosos que se convierten en residuos para la ladrillera. Este es usado como un antiplástico para aumentar la resistencia del adobe para ser manipulado. En la ladrillera el Ajizal el chamote contiene un mayor porcentaje de tamaño de grano de 0.84mm.

**ESTADO VERDE:** Etapa del proceso en el que el adobe sale de la zona de la extrusora y no ha sido ingresado al secadero.

### Información obtenida en el ensayo de plasticidad (Límites de Atterberg)

**Tabla 16.** Ensayo1 Limite líquido para la muestra Greda.

Muestra N°	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido humedad (W)
1	35.71	51.1	21	46.84	38.27
16	25.98	51.02	24	44.08	38.34
14	25.74	37.63	35	34.45	36.51

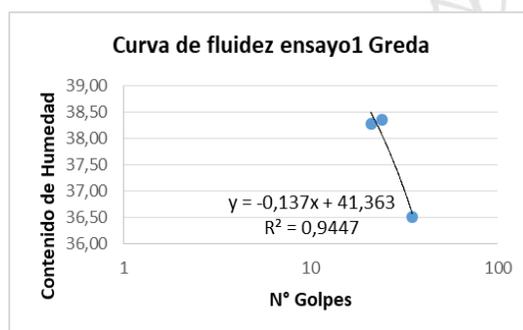


Figura 31. Curva de fluidez para la muestra greda, ensayo 1.

**Tabla 17.** Ensayo1 Limite plástico para la muestra Greda.

Muestra N°	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda + Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
21	25.95	28.49	28.02	22.71
12	25.41	28.24	27.76	20.43
8	27.43	29.77	29.33	23.16
			<b>Media</b>	<b>22.10</b>

**Tabla 21.** Primer ensayo de plasticidad para la muestra de Greda

	<b>LL</b>
	<b>% w</b>
<b>N° 25</b>	37.94
	<b>LP</b>
	22.10
<b>IP</b>	15.84

**Tabla 18.** Ensayo2 Limite Líquido para la muestra Greda

Muestra N°	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido humedad (W)
20	26.4	36.82	21	33.99	37.29
13	25.92	35.75	24	33.07	37.48
7	26.06	33.15	35	31.3	35.31

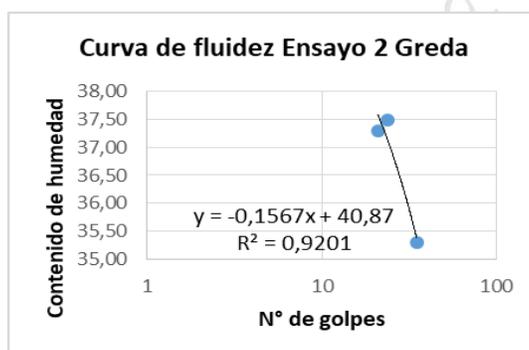


Figura 32. Curva de fluidez para la muestra greda, ensayo 2.

**Tabla 19.** Ensayo2 Limite plástico para la muestra Greda

Muestra N°	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
6	25.05	27.06	26.73	19.64
7	26.06	27.02	26.84	23.08
18	26.74	27.41	27.3	19.64
			<b>Media</b>	<b>20.79</b>

**Tabla 20.** Segundo ensayo de plasticidad para la muestra Greda

	<b>LL</b>
	% w
<b>N° 25</b>	36.9525
	<b>LP</b>
	20.78755
<b>IP</b>	16.16495

**Tabla 21.** Ensayo 3 Limite líquido para la muestra Greda

N° Muestra	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido humedad (W)
15	27.34	42.89	15	38.22	42.92
10	27.14	44.30	26	39.82	35.33
13	26.24	40.66	35	36.83	36.17

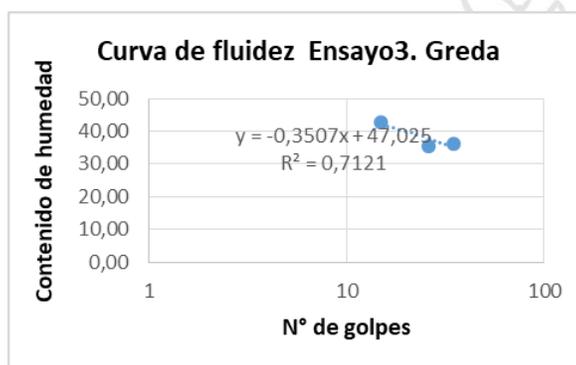


Figura 33. Curva de fluidez para la muestra greda, ensayo 3.

**Tabla 22.** Ensayo 3 Limite líquido para la muestra Greda

N° Muestra	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
5	25.78	26.9	26.6	36.58
14	26.34	27.71	27.47	21.23
19	26.20	27.73	27.46	21.42
			Media	21.42

**Tabla 23.** Tercer ensayo de plasticidad para la muestra Greda

	LL
	% w
N° 25	38.25
	LP
	21.42
IP	16.82

**Tabla 24.** Tercer ensayo de plasticidad para la muestra Greda

Muestra N°	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda + Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido de Humedad (w)
19	26.49	44.53	15	38.56	49.46
21	26.07	38.59	21	34.57	47.29
22	26.1	38.25	26	34.56	43.62

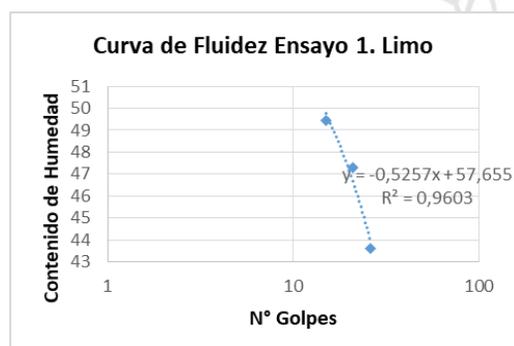


Figura 34. Curva de fluidez para la muestra Limo, ensayo 1.

**Tabla 25.** Ensayo1 Limite plástico para el Limo

Muestra N°	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda + Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
9	24.92	26.31	25.92	39
13	26.46	28.69	28.04	41.14
			<b>Media</b>	<b>40.06</b>

**Tabla 26.** Primer ensayo de plasticidad muestra Limo

	<b>LL</b>
	<b>%w</b>
<b>N°25</b>	44.5
	<b>LP</b>
	39.04068
<b>IP</b>	5.47

**Tabla 27.** Ensayo2 Limite Líquido para Limo

Muestra N°	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido humedad (W)
12	26.31	36.28	16	32.91	51.06
5	25.16	37.82	28	33.79	46.70
11	24.7	40.12	30	35.3	45.47

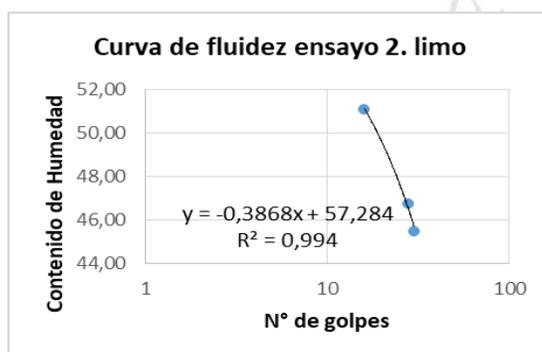


Figura 35. Curva de fluidez para la muestra Limo, ensayo 2.

**Tabla 28.** Ensayo2 Limite plástico para Limo

Muestra N°	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda + Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
13	25.92	26.42	26.28	38.89
20	26.4	27.15	26.94	38.89
9	33.57	34.42	34.18	39.34
			<b>Media</b>	<b>39.04</b>

**Tabla 29.** Segundo ensayo de plasticidad para el Limo

	<b>LL</b>
	% w
<b>N° 25</b>	47.61
	<b>LP</b>
	40.06
<b>IP</b>	7.54

**Tabla 30.** Ensayo3 Limite líquido muestra Limo

N° Muestra	Peso del recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	N° golpes	Peso seco + Recipiente (g)	Contenido humedad (W)
16	24.68	41.31	25	36.66	38.81

**Tabla 31.** Ensayo3 Limite plástico muestra Limo

N° Muestra	Peso Recipiente (g)	Peso muestra húmeda+ Recipiente (g)	peso muestra seca + recipiente (g)	Humedad
12	34.65	35.78	35.52	29.89
19	26.25	27.01	26.83	31.03
7	25.85	26.68	26.43	43.10
			Media	31.03

**Tabla 32.** Tercer ensayo de plasticidad para el Limo

	<b>LL</b>
	% w
<b>N° 25</b>	38.81
	<b>LP</b>
	31.03
<b>IP</b>	7.78

**Tabla 33.** Control de dimensiones de los ladrillos no estructurales de la Ladrillera el Ajizal S.A.S

EXTRUSORA											SECADO						COCCIÓN					
Fecha	Ref	Boq (#)	Dureza (bar)	Vacío (bar)	Dimensiones						Peso seco (Kg)	Dimensiones					Dimensiones					
					Peso (Kg)	ancho (cm)	alto (cm)	largo (cm)	espesor pared (mm)	espesor tabiques (mm)		ancho (cm)	alto (cm)	largo (cm)	espesor pared (mm)	espesor tabiques (mm)	Peso quema (Kg)	largo (cm)	ancho (cm)	alto (cm)	espesor pared (mm)	espesor tabiques (mm)
1-feb.	10	1	10	69	7,496	10	20	41,8	17	14	5,879	9,2	18,7	39	16	13	5,319	38,7	9	18,7	16	12
	10	1	10	69	7,507	10	20	41,8	17	15	5,882	9,3	18,7	39,4	16	13	5,324	39,4	9,4	18,7	15	13
7-feb.	10	3	10	72	7,331	10	20	42	18	14	5,761	9,5	19	39,5	17	13	5,229	39,3	9,4	18,8	15	12
	10	3	10	71	7,315	10	20	42	18	16	5,752	9,3	18,8	39,5	17	13	5,244	39,2	9,5	18,8	15	12
	15	1	10	72	12,098	15	20,4	42	20	15	9,583	14	19	40	19	14	8,705	39,8	14	19	18	13
	15	1	10	72	12,066	15	20,4	42	20	16	9,571	14	19,3	40	19	13	8,702	39,5	14	19	17	13
20-feb.	10	2	10	72	7,671	10	20	41,5	17	14	6,155	9,2	19	39,6	15	13	5,5	39	9,2	19	15	11
	10	2	10	72	7,671	9,7	20,2	41,6	18	15	6,215	9,3	19	39,5	16	13	5,515	39,3	9,2	19	15	12
	10	2	10	72	7,688	10	20	41,5	18	15	6,196	9,3	19	39,5	17	13	5,503	39	9,3	18,9	16	13
21-feb.	12	2	10	72	10,97	12,5	20,3	41,7	18	17	8,763	12	19,2	39,5	17	15	7,852	39,2	11,8	19,2	17	15
	12	2	10	72	10,968	12,7	20,4	41,7	19	16	8,752	11,8	19,2	40	17	15	7,832	39,5	11,8	19,2	16	14
	12	2	10	72	11,077	12,5	20,5	41,7	20	18	8,811	12	19,2	39,5	19	17	7,936	39,3	11,8	19	18	15
22-feb.	15	1	9	72	12,158	14,5	20	41,9	20	16	9,73	14	19	40	19	12	8,73	39,5	14	19	18	13
	15	1	9	72	12,165	15	20	41,7	20	14	9,738	14,2	19	39,5	18	13	8,746	39,8	14	19	17	13
	15	1	9	72	12,107	14,8	20,3	41,8	20	18	9,688	14,2	19	39,5	15	14	8,739	39,4	14	19	17	13

## INFORME DE ENSAYO

Página 2 de 2

INFORME N° 8554729840

AÑO	MES	DÍA
2019	3	11

**MÉTODO PARA MUESTREO Y ENSAYO DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA.  
NORMA NTC 4017 (2018)  
LADRILLOS DE PERFORACIÓN HORIZONTAL**

Proyecto: LADRILLERA EL AGIZAL Localización: NA  
 Muestra: 1 Humedad relativa % 58 T° Ambiente (°C) 24,7  
 Descripción Muestra Ladrillo de arcilla perforacion horizontal de 10x20x40cm 3 huecos

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
Ladrillo N°	Dimensiones promedio (cm)		Área bruta promedio cm <sup>2</sup>	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
	Largo	Ancho			
1	39,0	9,5	369,0	15112	40,96
2	38,9	9,4	367,1	12104	32,97
3	38,9	9,5	369,5	13073	35,38
4	39,0	9,5	369,5	11808	31,95
5	38,9	9,4	366,8	15632	42,62
RESISTENCIA PROMEDIO (kgf/cm <sup>2</sup> )					<b>36,78</b>

ABSORCIÓN			
Ladrillo N°	Masa seca (g)	Masa saturada (g)	Absorción (%)
6	5797	7014	21,0
7	5789	6950	20,1
8	5877	7144	21,6
9	5786	6978	20,6
10	5687	6899	21,3
Promedio de absorción (%)			<b>20,9</b>

**Tabla 34.** Tabla de operación para la zona de Extrusión

Hora	Fecha	Referencia	Boquilla	Dureza (bar)	Vacío (bar)	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Observaciones

**Tabla 35.** Tabla de operación para la zona de secado

Hora	Fecha	Referencia	Peso (Kg)	%Humedad relativa	Dimensiones (cm)	Observaciones

**Tabla 36.** Tabla de operación para la zona de Cocción

Hora	Fecha	Referencia	Ubicación	N° Paq	N° Vag	Peso (Kg)	Dimensiones (cm)	Tabique Ext/Int	Observaciones

Fuente: ladrillera el Ajizal S.A.S.

