



Diseño e implementación de un plan de mejora en el proceso productivo de la ladrillera El Noral S.A.S para garantizar la calidad del producto final

Julián Alberto García García

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero de Materiales

Asesores

Maryory Astrid Gómez Botero, Doctor (PhD) en Técnicas Instrumentales de la Física y la
Ciencia de Materiales

Giovanny Andrés Valencia Arias, Jefe de producción ladrillera El Noral

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Materiales
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita	García García [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] J. García García, “Diseño e implementación de un plan de mejora en el proceso productivo de la ladrillera El Noral S.A.S para garantizar la calidad del producto final”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera Builes.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
III. JUSTIFICACIÓN.....	6
IV. OBJETIVOS	7
A. Objetivo general	7
B. Objetivos específicos	7
V. MARCO TEÓRICO	8
A. Ladrillo: Definición.....	9
B. Materia prima para fabricar ladrillos	9
1. Contenido general de las materias primas para la fabricación de ladrillos	10
2. Sílice [7].....	10
C. Proceso de fabricación de un ladrillo.....	12
1. Envejecimiento o pudrición	12
2. Preparación	12
3. Moldeo por extrusión [5].	12
4. Pre-secado	13
5. Secado	13
6. Cocción	13
D. Acabados superficiales	13
E. Propiedades de los ladrillos	14
1. Absorción.....	14
2. Contracción	14

3. Resistencia a la compresión	14
4. Módulo de rotura.....	14
F. Características de acabado superficial	15
G. Defectos Superficiales	15
H. Tipos de ladrillo.....	15
1. Ladrillo estructural y no estructural	15
2. Ladrillos de perforación horizontal, perforación vertical y multiperforados.....	15
3. Ladrillo macizo	15
4. Ladrillo hueco	15
5. Ladrillos terminales o esquineros	16
6. Ladrillo de fachada.....	16
7. Ladrillos divisorios	16
I. Estandarización de procesos.....	16
VI. METODOLOGÍA	17
A. Revisión bibliográfica	17
B. Reconocimiento del proceso productivo de la ladrillera EL NORAL	17
C. Elaboración del plan de mejora	17
1. Manejo de materia prima	17
2. Caracterización de materia prima	17
3. Evaluación de mezclas.....	18
4. Plan de mejora área de extrusión	18
5. Plan de mejora área de secado	19
6. Plan de mejora proceso de cocción.....	19
D. Implementación del plan de mejora	19
E. Elaboración del informe final.....	19

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS	20
A. Inspección visual	20
B. Desarrollo e implementación del plan de mejora.....	22
C. Muestreo.....	25
D. Caracterización de materia prima.....	26
E. Preparación y evaluación de las mezclas	32
F. Elaboración de probetas	34
G. Control en el proceso de extrusión.....	36
H. Plan de mejora área de secado.....	39
I. Plan de mejora proceso de cocción	43
VIII. CONCLUSIONES.....	45
IX. RECOMENDACIONES	46
X. REFERENCIAS	47
XI. ANEXOS	50

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar e implementar un plan de mejora en el proceso productivo de la ladrillera El Noral ubicada en Medellín. La Empresa cuenta con terrenos de explotación para su materia prima, pero hace ya 5 años que no cuenta con la licencia minera, por lo que recurrió a utilizar como materia prima tierras provenientes de excavaciones de diferentes partes de la ciudad, esta situación trae como consecuencia una desmejora notable en la calidad del ladrillo.

Se realizó un análisis químico mediante FRX y una aproximación a la composición mineralógica mediante el software Minlith de la materia prima, encontrando que la composición y naturaleza de las arcillas afecta directamente las condiciones de trabajo y calidad del producto, por lo que se reformula las proporciones de arcilla en la preparación de la mezcla. Se determinó que el rango de trabajo de la presión de humedad entre 15 -20 Bar permite obtener las condiciones de la pasta cerámica adecuadas para el proceso de extrusión, se realizaron cambios en el área de secado que permitieron obtener porcentajes de contracción del 2,4 % así como también disminución del porcentaje de rotura a un 3 %, lo que favoreció la calidad del producto final. Se evaluó la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción de muestras después de implementar las mejoras propuestas y los resultados fueron de 3 MPa y 18,1 % respectivamente, estos resultados se encuentran bajo la norma NTC 4017 para mampostería no estructural de perforación horizontal.

Los cambios y mejoras en el proceso productivo de la Empresa permitieron obtener un producto final con mejores propiedades mecánicas, mejor apariencia, además de tener procesos estandarizados y personal capacitado que permitió bajar el porcentaje de producto no apto del 12% al 4% mensual.

Palabras clave — fabricación de ladrillos, calidad, propiedades mecánicas, caracterización

ABSTRACT

The objective of this work was to design and implement an improvement plan in the production process of the El Noral brick factory located in Medellín, since although the company has land for the exploitation of its raw material, it has not had a mining license for 5 years, so it resorted to use as raw material from excavations in different parts of the city, this situation results in a significant deterioration in the quality of the brick.

A chemical and mineralogical analysis was carried out by XRF of the raw material, finding that the composition and nature of the clays directly affect the working conditions and quality of the product, so the proportions of clay in the preparation of the mixture were reformulated. It was determined that the working range of the humidity pressure between 15 -20 Bar allows obtaining the adequate ceramic paste conditions for the extrusion process, changes were made in the drying area that allowed obtaining shrinkage percentages of 2,4 % as well as decreasing the breakage percentage to 3 %, which favored the quality of the final product. The compressive strength and absorption percentage of samples after the improvements were evaluated and the results were 3 MPa and 18,1 % respectively, these results are under the NTC 4017 standard for non-structural horizontal perforation masonry.

The changes and improvements in the company's production process made it possible to obtain a final product with better mechanical properties and better appearance, in addition to having standardized processes and trained personnel that lowered the percentage of unfit product from 12% to 4% per month.

Keywords — brick manufacturing, quality, mechanical properties, characterization

I. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en Colombia cada vez crece más y de la mano de ese crecimiento va el aumento de la producción de materiales para este sector, entre los que se destaca los materiales cerámicos como lo es el ladrillo, el cual es un producto proveniente de una mezcla de arcillas. “Según una investigación en 2019 de Anfalit para la firma Camargo y Asociados Ingenieros Constructores, Colombia; produce 376.947 toneladas mensuales de ladrillo, las ventas totales de la industria ladrillera nacional suman \$31.643 millones de pesos en el mes, en donde Bogotá participa con 49 % del mercado, seguido por Norte de Santander con 14,3 %, Antioquia con 9,5 %, Valle con 7,8 % y el Eje Cafetero con 7,1 % [1].

Todos los sectores productivos tienen aspiraciones de crecimiento en desarrollo, productividad y competitividad, es por eso que en la industria ladrillera existe una búsqueda continua de herramientas que permitan el mejoramiento de sus técnicas de trabajo y que conlleven a la mejora en productividad y calidad de sus productos, ya que el 70 % de las ladrilleras no cuentan con procesos estandarizados, presentando falencias en cada una de sus etapas y limitando su capacidad productiva [1].

Para permanecer en un mercado competitivo, la calidad juega un papel importante que se ve fortalecido por buenas prácticas de manufactura y estandarización de procesos, es por eso que el objetivo de este trabajo es buscar posibles alternativas desde el área de producción de la ladrillera El Noral, que permitan establecer los parámetros adecuados para obtener productos de alta calidad y a su vez lograr implementar mejoras en el sistema productivo en búsqueda de tener mayor control en las variaciones de la producción y control de material no conforme.

Es necesario realizar un análisis de cada uno de los procesos implicados en la fabricación del ladrillo, como son, preparación de materias primas, extrusión, secado y cocción o quema e identificar y analizar los diferentes factores o variables de proceso, para tomar decisiones y realizar pruebas piloto en función de la mejora de la calidad y optimización de la productividad, por medio de la formulación de indicadores.

Para lograr los objetivos propuestos se llevó a cabo inicialmente una recolección de datos e información de los procesos productivos, así como también una identificación de variables de proceso y obtención de muestras para laboratorio, posteriormente se realizó un análisis de información para proponer pruebas pilotos cambiando variables del proceso que permitieron obtener un producto final de mejor calidad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ladrillera El Noral, es una empresa colombiana con más de 50 años de experiencia, ubicada en el occidente de la ciudad de Medellín, está especializada en la elaboración y comercialización de ladrillos no estructurales de tipo farol, liso, rayado y cuenta con una capacidad de producción de 650.000 unidades mensuales. La Empresa cuenta con sus propios terrenos para explotación, pero actualmente ésta tiene sus títulos mineros suspendidos y emplea como materia prima tierras provenientes de excavaciones de diferentes partes de la ciudad y regiones cercanas. Esta situación trae como consecuencia una desmejora notable en la calidad del ladrillo, aumentando así la cantidad de unidades de material no conforme, el cual para mayo de 2022 se encuentra en 15 % mensual (Figura 1), cantidad que se asocia principalmente a defectos de agrietamiento, alta absorción y baja resistencia a la compresión, asociado también a la falta de aplicación de estándares que le permitan identificar los puntos clave de la generación de tantos desperdicios lo cual disminuye tanto la producción de ladrillo apto para la venta como las utilidades de la Empresa.

Los problemas de calidad presentados en la ladrillera El Noral no solo están asociados a la naturaleza y tratamiento de materia prima, también hay una relación directa con los métodos de procesamiento empleados. Teniendo en cuenta esto, en la Empresa se evidencia la necesidad de implementar un plan de mejora en el proceso productivo que abarque desde la recepción de materia prima hasta la entrega del producto final, para llevar a cabo esto es necesario analizar cada uno de los factores durante el proceso de fabricación y determinar qué variables influyen en la calidad final del producto.



Figura 1. a) Apilamiento de material no conforme b) Defecto de agrietamiento en un ladrillo

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente las exigencias del sector construcción en términos de calidad, han llevado a las ladrilleras a replantearse muchos de sus procesos con el fin de cumplir dichas exigencias, es por eso que la ladrillera El Noral evidenció la necesidad de implementar un plan de mejora en su proceso productivo para garantizar la calidad del producto final ya que su materia prima es de origen externo y dificulta la estandarización de procesos, esto conlleva a la ladrillera a vincular un estudiante de ingeniería de materiales como una estrategia clave para la caracterización de arcillas, análisis de propiedades mecánicas, químicas y el desarrollo o mejora de sus procesos productivos.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Proponer un plan de mejora del proceso productivo que se lleva a cabo actualmente en la ladrillera EL NORAL con el fin de disminuir la cantidad de rechazos en los ladrillos y mejorar la calidad.

B. Objetivos específicos

- ✓ Analizar el proceso productivo que se lleva a cabo en la Empresa, desde el control de calidad de la materia prima, el proceso de fabricación, hasta tener el producto terminado con el fin de hacer un diagnóstico y estandarización del proceso.
- ✓ Realizar pruebas de caracterización de materias primas, análisis de parámetros operativos del proceso de fabricación y determinación de propiedades mecánicas de los ladrillos, como parte experimental y evaluativa del proceso.
- ✓ Elaborar e implementar un plan de mejora avalado por la Empresa que permita incrementar la calidad del proceso y el producto final.

V. MARCO TEÓRICO

En Colombia, la calidad de los ladrillos se rige por la norma técnica colombiana NTC 4017, la cual establece los requisitos mínimos que deben cumplir los ladrillos utilizados en la construcción. Esta norma define los parámetros de resistencia a la compresión, absorción de agua, dimensiones y tolerancias, así como la apariencia y el acabado superficial de los ladrillos.

En cuanto a la producción de ladrillos, se utilizan diversas técnicas y materiales, pero los ladrillos de arcilla son los más comunes, los cuales se producen en diferentes tamaños y formas, incluyendo los ladrillos macizos, perforados y huecos, estos se fabrican a partir de mezclas de arcillas tipo limo, greda y arena fina.

Es importante destacar que la fabricación de ladrillos en Colombia no está exenta de desafíos, ya que algunos productores no cumplen con los estándares de calidad establecidos, lo que puede afectar la seguridad, apariencia y durabilidad de las construcciones.

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 [2].

El control de calidad es importante en la fabricación de ladrillos debido a su impacto directo en la durabilidad, resistencia y estética de los mismos. Un control de calidad riguroso y bien diseñado asegura que los ladrillos cumplan con los estándares de calidad necesarios para su uso en la construcción.

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 [3].

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que esto influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos [3].

A. Ladrillo: Definición

El ladrillo es un producto cerámico, rojizo, generalmente en forma de paralelepípedo y ampliamente utilizado en la construcción civil, artesanal o industrial. Es uno de los principales materiales de construcción. El ladrillo tradicional se fabrica con arcilla y color rojizo debido a la cocción, y puede ser macizo o perforado [4].

Un ladrillo es un material de construcción utilizado para hacer paredes, pavimentos y otros elementos en la construcción de mampostería. Tradicionalmente, el término ladrillo se refiere a una unidad compuesta de arcilla, pero ahora se usa para denotar cualquier unidad rectangular colocada en el mortero [4].

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

B. Materia prima para fabricar ladrillos

La materia prima utilizada para la fabricación de ladrillos es fundamentalmente la arcilla, la cual es un material agregado de origen mineral de consistencia terrosa o pétreo, compuesto esencialmente de silicatos hidratados de alúmina, capaz de adquirir plasticidad con la adición limitada de agua, rígida cuando está seca y pétreo cuando es sometida a temperatura suficientemente alta [5].

1. Contenido general de las materias primas para la fabricación de ladrillos

Limo

El limo es un material de sedimento con un tamaño intermedio entre arena y arcilla. El tamaño de partícula de este oscila entre 0,002 mm y 0,06 mm. Es un material no plástico o de baja plasticidad debido a su finura, que cuando se humedece se convierte en un lodo suave que se deja moldear fácilmente [6].

Arena

Es el material de construcción más utilizado. Está formado por partículas de roca y minerales duros, como la sílice. Son el tipo más grande de partículas de suelo, donde cada partícula es visible a simple vista.

El tamaño de partícula de la arena media varía de 0,425 a 2 mm y la arena fina o arenilla varía de 0,075 a 0,425 mm. El tamaño de partícula más grande de la arena le da al suelo arenoso húmedo o seco una textura granulada cuando la frota entre sus dedos, y hace que el suelo sea liviano y desmenuzable incluso cuando trata de pegarlo en la mano. La forma de la partícula es angular, subangular, redondeada, plana o alargada. La textura es áspera, lisa o pulida [6].

Arcilla

Las partículas de arcilla son las más finas de todas las partículas del suelo, midiendo menos de 0,002 mm de tamaño. Consiste en partículas microscópicas y sub-microscópicas derivadas de la descomposición química de las rocas. La arcilla es un suelo cohesivo de grano fino. Se pegan fácilmente y forman una textura pegajosa cuando están húmedos [6].

2. Sílice [7].

La Sílice (SiO_2) es el componente que se encuentra en mayor proporción en las materias primas para la fabricación de los ladrillos, A presión atmosférica, la sílice se puede presentar bajo tres especies químicas que responden a la fórmula SiO_2 denominadas cuarzo, tridimita y cristobalita. A su vez cada especie posee varias modificaciones estructurales que se diferencian con las letras griegas α , β .

Los cambios entre las diferentes especies de la sílice debidos a la temperatura pueden ser de dos tipos: - Reacciones de conversión. - Reacciones de inversión.

Se denominan reacciones de conversión a las reacciones de transformación de especies diferentes, por ejemplo, de cuarzo en tridimita o de tridimita en cristobalita. Estas reacciones implican la ruptura de enlaces Si-O-Si y reestructuración de los tetraedros de Si-O. Las reacciones de conversión son todas reversibles e implican una reorganización estructural importante, modificando su densidad. La velocidad a la que transcurren es extremadamente lenta.

Se denominan reacciones de inversión a las reacciones de transformación entre las variedades cristalinas α y β de cada especie, que corresponden respectivamente a las formas de baja y alta temperatura de cuarzo tridimita y cristobalita. Estas reacciones implican solo pequeños cambios estructurales sin ruptura ni formación de nuevos enlaces, por lo que transcurren de manera casi instantánea y son reversibles. También modifican la densidad de la especie, pero de forma mucho menos intensa que las reacciones de conversión.

El conocimiento de estas transformaciones resulta de especial interés por las fuertes variaciones dimensionales que estas fases registran en función de su temperatura: el cuarzo experimenta una dilatación regularmente creciente hasta su temperatura de transformación a 573°C , (a presión atmosférica) a la que súbitamente se produce una expansión lineal del 0,2 %. La tridimita presenta dos bruscas dilataciones a 117°C y 160°C , con un aumento total de longitud del 0,3 %, y la cristobalita presenta la más importante variación dimensional de las tres fases consideradas, con un aumento lineal del 1,1 % a 230°C .

Estos cambios dimensionales desempeñan un papel especialmente importante en la fabricación de productos cerámicos, especialmente el del cuarzo (conversión $\alpha - \beta$) ya que condiciona el ciclo de cocción, especialmente el enfriamiento. Esta transformación resulta particularmente crítica durante el primer calentamiento de los hornos de fusión de fritas en los que se hayan empleado ladrillos de sílice, ya que la transformación del β cuarzo ($\rho = 2,65 \text{ g/cc}$) en α cristobalita ($\rho = 2,21 \text{ g/cc}$) transcurre con una fuerte disminución de densidad que corresponde a un aumento de volumen de aproximadamente un 16 %. Ello exige que el calentamiento, durante la puesta en marcha, se efectúe gradualmente.

C. Proceso de fabricación de un ladrillo

1. Envejecimiento o pudrición

Consiste en el reposo al que se someten las arcillas después de haber sido extraídas con el fin de homogeneizar textura y humedad (aumento de plasticidad), relajar esfuerzos residuales, descomponer y lixiviar impurezas de origen orgánico e inorgánico. Este proceso también se denomina “vinagración” de arcillas [5].

2. Preparación

Acción mecánica de reducir el tamaño de las partículas de la materia prima, mediante molienda o laminado con diversos equipos, extracción de raíces y partículas de gran tamaño. Durante esta etapa se realiza el acondicionamiento de humedad de la arcilla previamente al moldeo o formación de piezas [5].

3. Moldeo por extrusión [5].

Proceso de formación de las piezas a máquina que se obtiene haciendo fluir la arcilla a través de boquillas (cavidad configurada para brindar las dimensiones periféricas) con las formas y dimensiones deseadas. Usualmente, dentro de la máquina de extrusión se extrae el aire para lograr vacío de manera que permita una mayor compactación de las partículas.

La humedad de extrusión varía desde porcentajes inferiores al límite plástico (extrusión dura o *stiff*) hasta contenidos dentro del rango plástico (extrusión semihúmeda). Para la extrusión dura se utilizan presiones elevadas; en la extrusión semihúmeda se utilizan presiones intermedias. Existen procesos de moldeo plástico (sin vacío) donde se emplean bajas presiones y agua suficiente para producir una mezcla plástica.

Las columnas de extrusión se deben cortar a las longitudes deseadas para obtener las dimensiones finales de las piezas

Los rangos de presión de extrusión de ladrillos pueden variar dependiendo del tipo de máquina de extrusión de ladrillos utilizada, así como de las características del material a extruir. Es por esto que la presión óptima se determina a través de pruebas durante el desarrollo de cada producto.

4. Pre-secado

También conocido como tiempo de oréo, el cual consiste en dejar el ladrillo reposar a temperatura ambiente antes de entrar al secadero artificial, con el fin eliminar la mayor cantidad de humedad posible [8].

5. Secado

Proceso industrial mediante el cual se consigue retirar parte del agua de las piezas antes de entrar al horno de cocción. El secado se puede realizar tanto de manera natural como artificial con control de tiempo, temperatura y flujo de aire [3].

6. Cocción

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos previamente secados a condiciones de alta temperatura por tiempos prolongados en hornos, con el fin de que adquieran sus propiedades mecánicas y físicas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas. Con este proceso no sólo consiguen las propiedades físicas y mecánicas sino también la apariencia final [8]. Mientras más alto es el tratamiento térmico, mayor es el grado de unión de las partículas de arcilla y por consiguiente será mayor la resistencia desarrollada; así como también, generalmente, menor la porosidad resultante. La unión desarrollada debe ser suficiente para proporcionar la resistencia y durabilidad especificados para un determinado producto [5].

Es importante tener un control preciso de la temperatura durante el proceso de secado y cocción de ladrillos de arcilla, ya que un aumento excesivo o una disminución de la temperatura puede afectar negativamente la calidad y resistencia del producto final.

D. Acabados superficiales

Modificaciones de textura y color de las piezas a partir de mezclas de arcillas, aditivos, esmaltes, troquelados o cualquier medio mecánico que aproveche la facilidad de las arcillas blandas [5].

E. Propiedades de los ladrillos

1. Absorción

Capacidad del ladrillo de succionar y contener agua en los poros existentes dentro de su propia masa. El porcentaje de absorción se calcula como el peso del agua absorbida por una unidad de mampostería de arcilla durante su inmersión en condiciones prescritas, expresado en relación con el peso seco de la unidad.

Generalmente la absorción de agua del producto terminado es menor mientras más elevada haya sido la temperatura de cocción; también generalmente, una menor absorción de agua tiene correspondencia con resistencias mecánicas más altas y mayor resistencia al uso, intemperie y agresividad de los agentes atmosféricos y climáticos [5].

2. Contracción

Corresponde a una disminución de volumen que sufre la arcilla, durante el proceso tanto de secado como de cocción ya sea por la pérdida de humedad o por las diferentes reacciones exotérmicas y endotérmicas que sufre durante la cocción [3].

3. Resistencia a la compresión

Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo generalmente megapascuales (MPa), esta propiedad se emplea con el fin de determinar que el ladrillo cumpla con los requerimientos de resistencia específica que exige la norma [5].

4. Módulo de rotura

Es la capacidad del ladrillo de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal, esta propiedad se aplica como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la mampostería [5].

F. Características de acabado superficial

Las características de acabado superficial se refieren a los parámetros exteriores que determinan la aptitud estética y valoración subjetiva del material, con base en observaciones de calidad de importancia secundaria como color, textura, superficies vítreas, esmaltadas con o sin brillo.

G. Defectos Superficiales

Son los desbordados, fisuras, alabeos o alteraciones superficiales que exceda lo especificado por el producto. Se clasifican en defectos de secado y defectos de cocción

H. Tipos de ladrillo

1. Ladrillo estructural y no estructural

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 [5].

2. Ladrillos de perforación horizontal, perforación vertical y multiperforados

Se refiere a la disposición de las perforaciones en relación con la cara en que se asienta en el muro, que pueden ser paralelas a esta, en el primer caso o perpendiculares para los de perforación vertical. El término multiperforado se refiere al ladrillo cuyas celdas o perforaciones son muy pequeñas y abundantes [5].

3. Ladrillo macizo

Se refiere a la unidad de arcilla cocida usualmente conformada por un prisma regular. Los ladrillos macizos pueden tener perforaciones que aligeran hasta un 25 % de su masa [5].

4. Ladrillo hueco

Los ladrillos huecos están aligerados por encima del 25 % de su masa y menos del 65 % total [5].

5. Ladrillos terminales o esquineros

Ladrillos de perforación vertical con cualquier diseño de celda o perforaciones, usados en las esquinas o al final de los muros, para evitar que en estos sitios queden perforaciones a la vista, además de mejorar el aislamiento térmico del muro [5].

6. Ladrillo de fachada

Ladrillos generalmente de tamaño pequeño, que, por sus características de color, acabado y durabilidad, son aptos para construir muros de fachada en ladrillos a la vista con fines arquitectónicos que pueden estar expuestos a la intemperie [5].

7. Ladrillos divisorios

Se refiere a las unidades usadas en paredes interiores que no soportan cargas adicionales a las de su propio peso [5].

I. Estandarización de procesos

Cuando se habla de estandarización de procesos, se hace referencia a la “adopción de un conjunto de normas que permiten que cada proceso de trabajo dentro de la empresa se realice de una misma manera, indistintamente del empleado que esté a cargo de realizar la tarea o la sucursal [9]. Otro punto a favor es la capacidad de poder medir entre sí, qué tan eficientes son las operaciones y a su vez establecer tiempos de referencia, esto generará una sustentabilidad de resultados y una mejora continua [10].

VI. METODOLOGÍA

A. *Revisión bibliográfica*

Esta etapa se realizó con el fin de recopilar información relevante en la cual se haya implementado un plan de mejora en el sector ladrillero, identificando metodologías o estrategias que puedan ser útiles para el desarrollo del proyecto planteado.

B. *Reconocimiento del proceso productivo de la ladrillera EL NORAL*

En esta etapa se realizó una inspección visual del proceso de producción con el fin de conocer el funcionamiento actual, dicha inspección se acompañó con un proceso de documentación y toma de datos en cada etapa del proceso para establecer observaciones y obtener un diagnóstico inicial.

C. *Elaboración del plan de mejora*

A partir de las observaciones realizadas se propusieron actividades que permitieran solucionar los problemas encontrados y tener un mayor control de los procesos, en las siguientes etapas:

1. Manejo de materia prima

Se desarrolló una propuesta para el control y registro de materia prima.

2. Caracterización de materia prima

Se realizó un muestreo de las arcillas limo, greda y arenilla, según lo establecido en la norma ASTM C 702 “*Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaño de prueba*” [11]. Con el fin de obtener una muestra representativa y poder realizar análisis granulométrico para determinar los tamaños de las partículas según la norma INV 3-123 [12] y determinar la plasticidad por medio de límites de Atterberg, dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia; adicionalmente se realizó un análisis químico, a partir de un ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX) en el laboratorio SGS COLOMBIA S.A. con el fin de identificar la composición química de las arcillas y posteriormente

por medio del programa Mintlith [13]. se determinó una aproximación a la composición mineralógica.

3. Evaluación de mezclas

A partir de los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima, se propuso y evaluó tres mezclas variando la proporción de cada una de las arcillas y se determinó la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción bajo la norma NTC 4017 [14], ambos ensayos se realizan en laboratorio SGS COLOMBIA S.A.

Se realizó un comparativo respecto a la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción con la mezcla original empleada por la Empresa. Para realizar dicha evaluación, se tomaron muestras de las arcillas de la zona de preparación y se pasaron por tamiz N° 30 (600 μm), y se realizó el mezclado de la materia prima en diferentes proporciones, se procedió a fabricar 10 probetas de cada muestra mediante prensado uniaxial en molde metálico de dimensiones (1,57 x 5 x 10) cm, que posteriormente se dejaron a temperatura ambiente por 24 horas e ingresaron al secadero a una temperatura aproximada de 70°C por 15 horas, luego de esto se llevaron a proceso de cocción con la misma rampa de temperatura empleada para la cocción de ladrillos.

4. Plan de mejora área de extrusión

Se realizó un proceso de inspección y evaluación para determinar un rango adecuado de presión en la extrusora en el cual se presenten la menor cantidad de defectos a causa de esta variable, por lo que se realizan pruebas con una presión de humedad de 12, 15, 20 y 25 Bar de presión, y se propuso el uso de una plantilla para llevar el registro y trazabilidad de los datos de presión de extrusión y limpieza del imán.

5. Plan de mejora área de secado

Con el objetivo de controlar los porcentajes de contracción y pérdida de humedad durante el tiempo de pre-secado a temperatura ambiente, se propone a la Empresa la instalación de ventiladores que aceleren el proceso de secado antes de ingresar al secadero.

6. Plan de mejora proceso de cocción

A partir de las observaciones realizadas en esta área, se sugiere realizar mantenimientos preventivos a los hornos periódicamente y evaluación de las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión y absorción para monitorear la calidad del producto final.

D. Implementación del plan de mejora

Para llevar a cabo esta etapa, se presentó ante el Comité de producción de la Empresa, las propuestas de cambio en el proceso productivo y posterior a su aprobación se ejecutaron y se establecieron indicadores para hacerle seguimiento a la calidad del producto final.

E. Elaboración del informe final

Se realizó este informe final el cual incluye un marco conceptual de los temas relacionados con el proyecto, la descripción detallada de la metodología, los resultados con su respectiva interpretación y análisis. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones a que hubiere lugar.

Teniendo en cuenta que la materia prima con la que trabaja la Empresa es de origen externo y desconocido, es necesario realizar muestreo, análisis y ensayos periódicamente, por lo tanto, este trabajo será un caso de estudio asociado a la materia prima disponible durante el desarrollo del mismo.

VII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. Inspección visual

A continuación, se describen las etapas del proceso productivo de la ladrillera El Noral y se acompañan de las observaciones visuales encontradas con el fin de desarrollar un plan de mejora.

- **Zona de abastecimiento:** Corresponde al lugar donde se almacena la materia prima proveniente de fuentes externas.

Observaciones: No se cuenta con un procedimiento que permita una clasificación y ubicación de la materia prima. En la Figura 2 se observa materia prima al aire libre, sin clasificación y materia prima contaminada con escombros y material orgánico, no se lleva registro del tiempo de maduración.



Figura 2. a) *Materia prima sin clasificación* b) *Materia prima contaminada*

- **Zona de preparación:** Es el área donde se prepara la mezcla para extruir, la cual está compuesta por limo, greda y arenilla en determinadas proporciones, dicha mezcla pasa inicialmente por un molino para extraer las rocas de mayor tamaño y posteriormente pasa a un molino laminador para disminuir el tamaño de las rocas pasantes de la anterior etapa. Esta zona cuenta con un área cubierta de 3200 m² donde se almacenan las arcillas para un tiempo de producción aproximado de 10 días, (Figura 3). Esta zona es abastecida periódicamente con el fin de proteger de la humedad las arcillas próximas a ser procesadas.



Figura 3. Área cubierta de zona de preparación

Observaciones: Las proporciones de la mezcla se calcula de forma empírica, sin tener en cuenta una caracterización previa de las arcillas.

- **Zona de Extrusión:** El proceso de extrusión de ladrillos se lleva a cabo en una extrusora marca Verdés, ésta cuenta con una tolva de recepción de la mezcla de arcillas que previamente ha pasado por un molino laminador y un imán para la extracción de elementos metálicos. Esta mezcla es trasladada hasta una cámara de vacío para compactar, extraer el aire y un porcentaje de agua, luego esta mezcla pasa a través de una boquilla con la forma del ladrillo deseado. Se manejan variables de vacío y presión de extrusión.

Observaciones: No se cuenta con un procedimiento que establezca las condiciones adecuadas de extrusión, no se le realiza una limpieza frecuente al imán lo que aumenta la probabilidad de encontrar material metálico que obstruye la boquilla lo que genera paros en la producción.

- **Zona de secado:** En esta área se cuenta con un secadero artificial de ventilación forzada de 4 canales con temperaturas de funcionamiento entre 60- 80 °C, a este secadero ingresan 4 camillas cada 40 minutos y el tiempo de secado de cada una es de 15 horas.

Observaciones: Es una de las etapas críticas del proceso ya que se observa un alto porcentaje de ruptura y la mayor cantidad de defectos. Se observa que el ladrillo ingresa al secadero con un alto porcentaje de humedad debido a que el tiempo de oréo es reducido, adicional se observa que el secadero presenta un gradiente alto de temperatura en las paredes y parte superior, lo que promueve la rápida liberación de humedad generando agrietamientos.

- **Zona de cocción:** En esta área se cuenta con 4 hornos cada uno con capacidad para un vagón con 11.000 unidades de ladrillo, se realiza el proceso de cocción con una rampa de temperatura que inicia en 70 °C hasta 200 °C con un sostenimiento de 1 hora, luego sube a 500° C y se sostiene 2 horas, luego pasa a 800 °C y se sostiene 3 horas y finalmente alcanza una temperatura de 940 °C y se sostiene durante 5 horas, después de finalizar el proceso de cocción el enfriamiento se da durante las siguientes 12 horas de forma natural.

Observaciones: Se observan defectos de fragilidad, manchas, sobrecocido y agrietamiento, no se evalúa propiedades en el producto terminado.

B. Desarrollo e implementación del plan de mejora

Teniendo en cuenta las observaciones realizadas a cada una de las etapas del proceso, se deben desarrollar actividades dentro de un plan de mejora que permitan tener un mayor control de los procesos y así lograr mejorar la calidad del producto final, dichas actividades se enuncian a continuación:

- **Clasificación de materia prima:** Se presenta ante la gerencia la siguiente propuesta para el control y registro de materia prima.

	PROPUESTA PARA EL CONTROL Y REGISTRO DE MATERIA PRIMA	Fecha: 05-09-22
		Versión: 01

OBJETIVOS

- Definir una metodología para el control, registro y tratamiento de materias primas para la fabricación de ladrillos de la Ladrillera el Noral.
- Tener registro de todos los movimientos de materia prima (tierras), sea de tipo externa o interna, como método de control de inventario ante entidades de supervisión externas e internas.
- Tener control de viajes por parte de volquetas externas.
- Analizar calidad y composición de las materias primas de acuerdo a su periodo de almacenamiento, con el fin de proporcionar calidad al producto terminado.
- Nombrar y marcar los terrenos de almacenamiento de la Empresa para facilitar la metodología de control y registro.

METODOLOGÍA

1. Marcación de lotes previamente identificados para almacenamiento o extracción de tierras:

En la Figura 4 se muestra la propuesta de señalización que permitirá registrar el origen e historial de tierras que ingresan, almacenamiento y abastecimiento al área de preparación, además de controlar el tiempo de maduración de las tierras. La nomenclatura L1, L2, L3...L7, hacen referencia a los diferentes lotes con los que cuenta la Empresa para el almacenamiento de la materia prima.



Figura 4. Imagen de Terrenos de la empresa y propuesta de señalización [15].

Formulario de registro: Se realizará un registro de actividades relacionadas con el ingreso o movimiento de tierras y abastecimiento de la zona de preparación. Se capacitará el personal encargado y se realizará informe de gestión y resultados mensualmente.

		REGISTRO Y CONTROL DE MATERIA PRIMA			Fecha: 05-09-22	
					Versión: 01	
Fecha	Hora	Operación	Origen	Destino	Vehículo	Responsable
05/09/2022	10:50 am	Ingreso de tierra	Envigado	Lote 3	ABC123	Pedro J
06/09/2022	2:45 pm	Traslado de tierra	Lote 4	Preparación	DEF345	Sergio

RECURSOS

- **Talento Humano:** Capacitación y orientación de personal encargado.
- **Económicos:** Costo de materiales para señalización de lotes.

Elaboró:	Julián Alberto García	Cargo: Practicante ingeniería
----------	-----------------------	-------------------------------

La propuesta para el control y registro de materia prima se aprobó sin ningún cambio y se procedió a realizar la señalización para la marcación de los lotes como se muestra en la Figura 5.

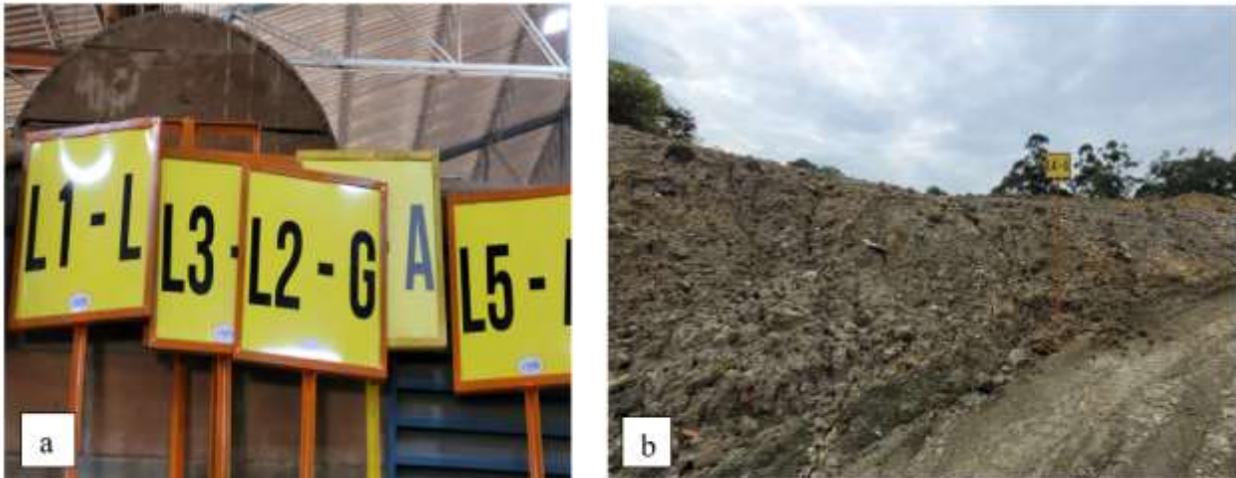


Figura 5. a) Letreros de señalización b) Lote con respectivo letrero de señalización

C. Muestreo

Teniendo en cuenta que las arcillas que ingresan a la Empresa provienen de diferentes fuentes, se realiza una recolección de muestras de los diferentes lotes de almacenamiento, para las arcillas tipo limo, greda y arena. Este muestreo se realizó según la metodología sugerida en la norma ASTM C702, con el fin de tener muestras representativas de todos los lotes de almacenamiento y tipo de arcillas, para los respectivos análisis de laboratorio. Como se muestra en la Figura 6.

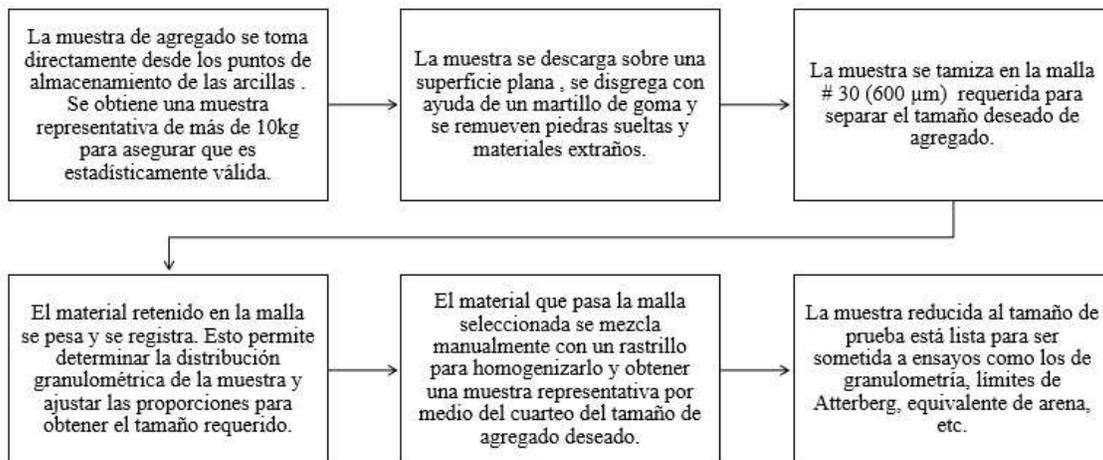


Figura 6. Metodología empleada según norma ASTM C702

D. Caracterización de materia prima

Realizar ensayos de caracterización a la materia prima permitió conocer la composición química para determinar el contenido de material orgánico y los componentes más importantes que pueden influir directamente con la calidad final del producto, además se determinó la composición mineralógica a partir de la cual se identifica la presencia de los minerales que favorecen o no el comportamiento mecánico del producto, finalmente se realizó un análisis granulométrico con el fin de establecer las proporciones adecuadas de arcillas en la preparación de la mezcla.

Es importante aclarar, que este muestreo y caracterización se debe realizar de forma periódica teniendo en cuenta la frecuencia con la que ingresa nuevo material a los lotes de almacenamiento de las diferentes arcillas.

- Análisis químico y mineralógico de la materia prima

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición tanto química como mineralógica ya que influyen directamente en las propiedades del producto final.

La composición química se determinó mediante un ensayo de fluorescencia de rayos X (FRX) y los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados FRX de las arcillas arenilla, limo y greda

Muestra	Pérdida de Ignición	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Arenilla	8,17	47,08	1,17	23,86	8,21	0,08	3,92	3,35	3,25	0,77	0,14
Limo	13,45	39,21	1,61	30,23	14,2	0,05	0,48	0,1	0,29	0,32	0,06
Greda	11,02	45,29	1,25	22,05	10,28	0,15	3,33	2,85	2,18	1,45	0,15

Teniendo en cuenta que según la literatura la composición de las arcillas aptas para la fabricación de cerámicos de construcción tiene un porcentaje de sílice (SiO₂) entre 50-60 %, la alúmina (Al₂O₃) entre 20-30% y los óxidos de hierro (Fe₂O₃) menor al 7 % [16]. Teniendo en

cuenta esto se puede observar que para las tres mezclas el porcentaje de sílice está por debajo, sin embargo, sigue siendo el componente de mayor presencia en las tres muestras y cumplirá con la función de que el ladrillo conserve su forma, evitar la contracción y la deformación. Para el caso de la alúmina, esta se encuentra en el rango reportado lo que permitirá tener una buena plasticidad en la mezcla, los óxidos de hierro se encuentran por encima del rango especificado, lo que resulta favorable ya que estos se encargan de darle color rojo al arder, mejora la impermeabilidad y durabilidad, además de darle dureza al producto final. Las pérdidas por ignición hacen referencia a la presencia de material orgánico y procesos de deshidroxilación y para las tres muestras estas se pueden considerar altas, lo que generara porosidad y fragilidad al ladrillo.

A pesar de que la composición de las tres arcillas difiere de los rangos óptimos no se alejan significativamente, por lo que una mezcla de estas tres permitiría obtener una aproximación más adecuada.

A partir de la composición química obtenida y con la ayuda del software Minlith se obtuvo una aproximación a las fases mineralógicas de las muestras analizadas y los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Aproximación a las posibles fases mineralógicas (% en peso) mediante Minlith de las muestras de Limo, Greda y Arenilla

Limo	Caolinita	Montmorillonita	Feldespatos	Illita	Cuarzo
	58,14	11,25	16,92	4,88	8,81
Greda	Montmorillonita	Caolinita	Illita	Cuarzo	
	46,18	14,67	15,20	4,20	
Arenilla	Gibbsita	Feldespatos	Siderita	Illita	
	47,80	34,28	5,23	4,47	

Se puede observar que para el limo la fase cristalina más predominante es la caolinita, lo que va a permitir obtener un ladrillo con carácter refractario, coloración clara y buena resistencia mecánica. Para el caso de la greda la fase cristalina que predomina es la montmorillonita seguida por la Illita, lo que confiere plasticidad a la mezcla y permitirá un fácil conformado de las piezas,

pero a su vez presentará una gran contracción durante el secado lo cual puede llevar a la formación de grietas. La arenilla está compuesta principalmente por gibbsita y feldespato.

Tanto la gibbsita como el feldespato pueden tener efectos beneficiosos en la fabricación de ladrillos de arcilla, si se emplean en las proporciones adecuadas. La gibbsita es un hidróxido de aluminio que se utiliza comúnmente como aditivo en la producción de ladrillos de arcilla y actúa como un agente de deshidratación, ayudando a eliminar el exceso de agua de la mezcla de arcilla y mejorando la consistencia de la masa, también puede retrasar la contracción y reducir el agrietamiento durante el proceso de secado de los ladrillos, ayuda a reducir la temperatura de cocción necesaria para los ladrillos, lo que puede ser beneficioso en términos de costos energéticos.

El feldespato es un mineral que contiene compuestos de aluminio, silicio y otros elementos. Se utiliza como fundente, lo que significa que ayuda a reducir la temperatura de fusión de los componentes de la arcilla, también puede mejorar la resistencia a altas temperaturas de los ladrillos durante su uso final.

Es importante tener en cuenta que la cantidad y el tipo de gibbsita y feldespato utilizados pueden variar según sus proporciones en las arcillas y los objetivos específicos de la fabricación de ladrillos.

- **Análisis granulométrico**

La distribución granulométrica es una variable importante, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc.). Por otro lado, la distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desgrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeños, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desgrasante o arenosa tiene un tamaño de partícula mucho mayor [15].

El ensayo granulométrico por hidrómetro fue fundamental para estimar la distribución de tamaños de partículas pasantes por el tamiz #200. A partir de esta prueba, fue posible determinar la proporción de limos y arcillas en una muestra de suelo, información de suma importancia para predecir el comportamiento de la mezcla cerámica.

Se realizó un análisis granulométrico por medio de hidrómetro para las arcillas de limo y greda obtenidas por muestreo de los lotes de almacenamiento, con el fin de identificar el contenido de material limo, arcilloso y arenoso, es importante aclarar que este último corresponde al 12.1 % de material retenido en la malla 200, que corresponde al tamaño de grano clasificado como arena.

Como se puede observar en la Figura 7. para la muestra de limo en la distribución granulométrica por hidrómetro, se observa una mayor concentración de partículas correspondiente a la clasificación de arcillas, que según resultados obtenidos (Anexo G). Se obtuvo limo 42 % y Arcillas 58 %. Por lo cual esta muestra de limo seleccionada posee características ligeramente plásticas en la presencia de humedad [17].



Figura 7. Curva granulométrica por hidrómetro para la arcilla tipo limo

En la Figura 8 se puede observar el resultado del análisis granulométrico por hidrómetro de la arcilla Greda en donde la mayor cantidad de partículas se encuentra concentrada en el rango de las arcillas finas con una pequeña fracción correspondiente al tamaño de partícula tipo limo. Que según resultados obtenidos corresponde a 36 % limo, y 64 % arcilla, por lo que se puede clasificar como limo-arcillosa. Anexo (F).



Figura 8. Curva granulométrica por hidrómetro para la arcilla tipo Greda

Ambos resultados de la distribución granulométrica muestran que el material es de textura arcillosa, y alto porcentaje de partículas finas.

Plasticidad

A partir de los límites de Atterberg se determinó el límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (Tabla 3). A partir de estos se clasifica la procesabilidad de la arcilla tipo limo, ubicándolo sobre el diagrama de Casagrande (Figura 9).

Tabla 3. Resultados de los límites de Atterberg para el Limo

Limo	
Límite Plástico (LP)	38
Límite Líquido (LL)	45
Índice de plasticidad (Ip)	7

No es posible obtener información acerca del índice de plasticidad de la Greda, ya que al realizar el límite plástico no fue posible lograr cohesión entre las partículas de arcilla, que, aunque presentan un tamaño de grano pequeño, las partículas no tienden a juntarse ni adherirse y no predominan los efectos electroquímicos superficiales, esto puede estar asociado a la presencia de alto contenido de material orgánico [18].

Según los resultados obtenidos, la arcilla tipo limo se clasifica en la zona de extrusión difícil (Figura 9). Esto toma importancia al momento de formular la mezcla ya que se puede ver afectada la procesabilidad, de debe tener presente que para este tipo de arcilla analizada no se encuentre en mayor proporción en relación a las demás arcillas; en cambio, teniendo en cuenta la baja plasticidad de la arcilla tipo greda, se debe adicionar en mayor cantidad para conseguir una mezcla más consistente.

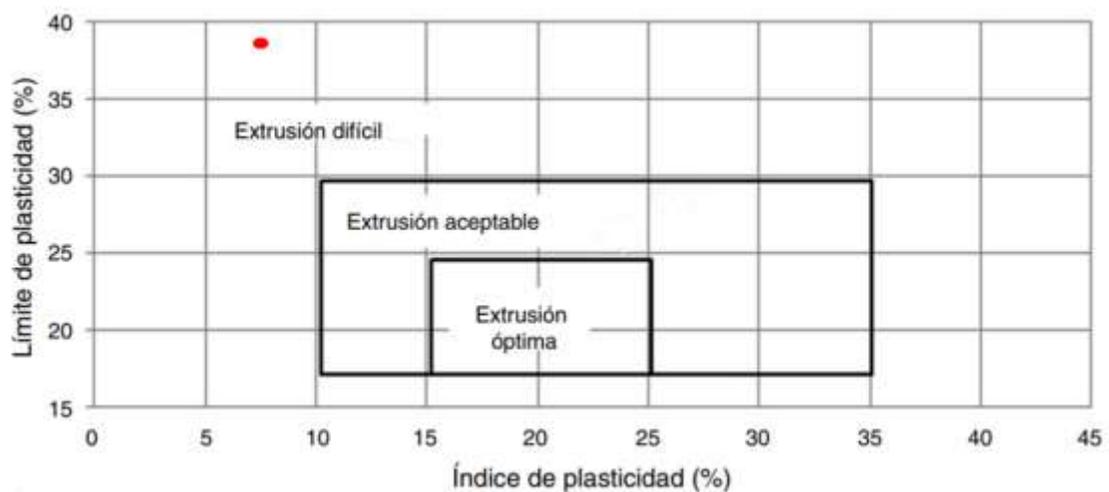


Figura 9. Diagrama de plasticidad Casagrande. Limo (●) [17]

E. Preparación y evaluación de las mezclas

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la caracterización se analizó si las proporciones de las arcillas utilizadas en la Empresa eran o no adecuadas para la fabricación de los ladrillos, para determinar esto se tomaron en cuenta propiedades como la resistencia a la compresión, así como también el grado de porosidad y compactación de la mezcla. El proceso inició fabricando por prensado uniaxial 2 probetas de dimensiones 1,57 x 5 x 10 cm con la mezcla original de la Empresa, la cual se muestra en la Tabla 4, se sometieron a secado por 15 horas a una temperatura de 65°C y luego se llevaron al proceso de cocción empleando la rampa de temperatura que se muestra en la Figura 10. Las probetas obtenidas se muestran en la Figura 11, donde se logra observar que presentan agrietamientos en diferentes direcciones y poros de gran tamaño ambos defectos atribuyen a la alta fragilidad y baja resistencia mecánica lo que se comprobó a través del resultado obtenido para la resistencia a la compresión que fue de 0,84 MPa y para el grado de porosidad fue de 22,8 %. Realizado según la norma para mampostería no estructural NTC 4205 [19].

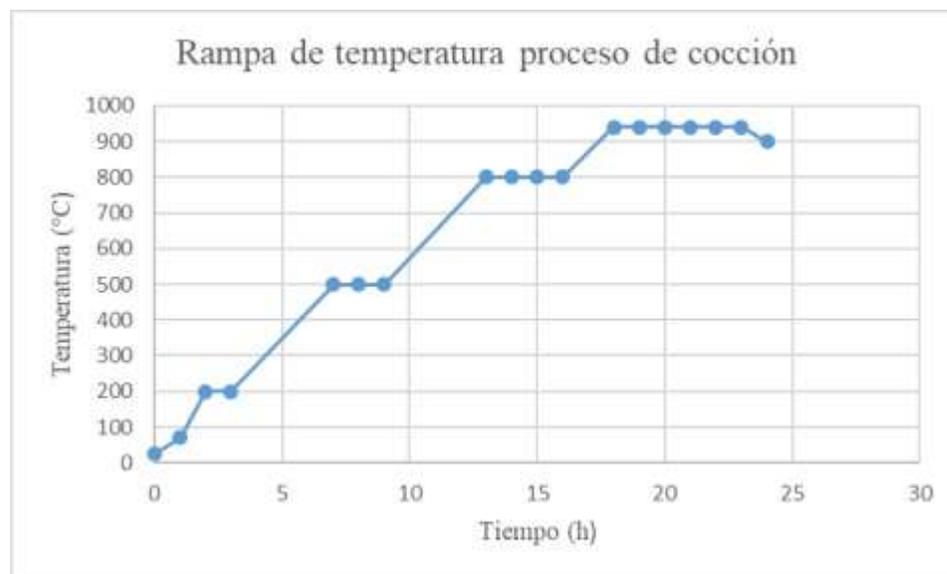


Figura 10. *Rampa de temperatura de cocción de ladrillo.*

Tabla 4. *Proporciones de la formulación original*

FORMULACIÓN ORIGINAL	
ARCILLA	PORCENTAJE
Limo	44,40%
Greda	33,30%
Arenilla	22,30%

Figura 11. *Probetas realizadas con mezcla original.*

Se puede observar en la Tabla 4 que en la mezcla original el limo se encuentra en mayor proporción y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis granulométrico, una pequeña proporción de esta muestra se encuentra distribuida en la sección de la arcilla y la arena, la greda no presentó cohesión durante el análisis de índice de plasticidad, lo que podría generar una mezcla no equilibrada de los componentes necesarios para la fabricación de ladrillos de calidad. También es importante tener en cuenta que la sílice está presente en las tres arcillas, ya que es el principal ingrediente en las arcillas utilizadas para la fabricación de ladrillos, pero el aporte más grande de este componente lo hace la arena, con un 47,08 % de contenido de SiO_2 según análisis FRX, por lo que se convierte en un factor clave, ya que el SiO_2 puede estar presente en la formación de otras fases cristalinas como el feldespato y la caolinita, lo cual se confirma mediante la aproximación a la composición mineralógica,

Los cristales de sílice en exceso libre en la mezcla pueden traer consecuencias no deseadas, como por ejemplo, puede aumentar la contracción durante el secado y la cocción de los ladrillos. Los fenómenos de expansión térmica que se presentan en las diferentes

transformaciones de la sílice durante las temperaturas del proceso de cocción, puede favorecer la aparición de poros, agrietamientos, cambios dimensionales y apariencia de las superficies de los ladrillos, afectando su resistencia y durabilidad, además de formar cristales duros y abrasivos en la superficie de los ladrillos, debido a su alto punto de fusión que se encuentra alrededor de 1710°C, esto puede hacer que se vuelvan más ásperos y menos uniformes en su textura, esto último se observa en las probetas obtenidas (Figura 9). lo que reduce su vida útil y eficacia en aplicaciones de construcción.

Con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad y mayor resistencia mecánica, se realizaron pruebas con diferentes mezclas, variando la proporción en peso cada una de las arcillas como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Proporciones en porcentaje en peso de la formulación de las 3 mezclas propuestas.

Arcilla	Muestras			
	Original	1	2	3
Limo	44,40%	54,50%	36,40%	36,40%
Greda	33,30%	27,30%	45,40%	27,20%
Arenilla	22,20%	18,20%	18,20%	36,40%

F. Elaboración de probetas

La formulación para las probetas se realizó según la propuesta en la Tabla 5. Con el fin de determinar el efecto de cada arcilla en diferentes proporciones, en las propiedades mecánicas del producto final.

Las mezclas obtenidas contenían una humedad promedio del 22 %. Todas las probetas se realizaron bajo las mismas condiciones de tiempos y temperaturas que las fabricadas con la formulación original para poder comparar, las probetas fabricadas con cada mezcla se muestran en la Figura 12. El proceso de cocción se llevó a cabo con la misma rampa de temperatura empleada para la cocción de ladrillos, (Figura 8).



Figura 12. *Probetas realizadas con a) mezcla 1 b) mezcla 2 c) mezcla 3*

Analizando la textura de las probetas obtenidas, se puede observar que las probetas de la mezcla 1 presentan agrietamiento profundo, presencia de partículas de mayor tamaño a nivel superficial y tamaños de poro sobresaliente. Para el caso de las probetas obtenidas con la mezcla 2, se puede observar que presentan una superficie más lisa, tamaño de poro pequeño, no se perciben agrietamientos sobresalientes y presenta color uniforme sobre toda la superficie. Para las probetas obtenidas con la mezcla 3, no se observan agrietamientos, pero si poros de gran tamaño distribuidos por su superficie y presentan variación en la intensidad de su color en algunas zonas.

Se procedió a evaluar la resistencia a la compresión y a determinar el porcentaje de absorción y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resistencia a la compresión y porcentaje de absorción

Resultados		
Muestra	Resistencia a la compresión (MPa)	Absorción
Original	0,84	22,80%
1	0,75	23,20%
2	1,23	18,90%
3	1,03	20,30%

Como se puede observar la mayor resistencia a la compresión la presentaron las probetas de la mezcla 2, con un aumento significativo respecto a la mezcla original, esto indica que las probetas presentaron un buen grado de compactación lo que se asocia a un uso adecuado de las proporciones de arcilla en la mezcla, analizando los porcentajes de absorción obtenidos, se puede observar que el menor porcentaje se obtuvo con las probetas de la mezcla 2 con una disminución notable frente a las demás mezclas incluyendo la original, este resultado está asociado a la porosidad de la probeta la cual es baja debido a su grado de compactación. Estos resultados son coherentes ya que a menor porcentaje de absorción se presenta una mayor resistencia mecánica.

Con base en los resultados obtenidos se propone a la Empresa trabajar con la formulación de la mezcla 2. Esta formulación es coherente según las características analizadas de la arcilla tipo limo y greda.

G. Control en el proceso de extrusión

Durante el proceso de extrusión se cuenta con 2 variables, una es el vacío el cual es constante y propio del equipo y está relacionado directamente con las especificaciones del motor de la máquina extrusora y la otra es la presión de humedad la cual está relacionada con el grado de humedad y dureza de la mezcla y se controla a través de un barómetro como el que se muestra en la Figura 13. La cantidad de humedad en la mezcla es un factor importante en la calidad del ladrillo, ya que puede generar defectos como deformaciones durante la manipulación por parte de los operarios, agrietamientos durante el secado por liberación excesiva de agua y mayores tiempos de secado, lo que implica mayor consumo energético, por otro lado, la falta de humedad puede generar deformaciones durante el proceso de extrusión a causa de poca plasticidad en la mezcla.

Se encuentra que para presiones por encima de los 20 Bar la mezcla presenta mayor dureza, poca plasticidad y presencia de defectos en los tabiques internos del ladrillo, para el caso de presiones inferiores a los 15 Bar se observa una mezcla más fluida y plástica debido al aumento de la humedad y aumento en la velocidad de extrusión, no se observan defectos, pero se dificulta su manipulación por parte del operario para llevarlo a la estantería de secado. Teniendo en cuenta estos resultados se determinó que en el rango de presión de extrusión entre 15 y 20 Bar se observa una mezcla consistente y sin presencia de defectos, por lo tanto, este rango se establece como el adecuado para el proceso de extrusión, por lo que se procede a dar la capacitación adecuada al personal con las indicaciones de como sostener la presión en ese rango a partir de la humedad de la mezcla y se lleva el registro en la tabla que se muestra en la Figura 14 de estas presiones en diferentes tiempos para diferentes referencias durante el tiempo de producción como medida de control.



Figura 13. Barómetro para la presión de humedad.

	CALIDAD	Fecha: 23-10-22
	REPORTE PRESIÓN DE EXTRUSIÓN Y CONTROL DE LIMPIEZA DE ÍMAN BANDA 3	Versión: 01

FECHA	HORA	REFERENCIA	PRESIÓN EXTRUSORA	LIMPIEZA IMÁN
23/10/ 2022	6:18 Am	Tolete 12 rayado	19 bares	no
23/10/ 2022	7:20 Am	Coco 10 rayado	17.5 bares	si

Figura 14. Tabla reporte de la presión de extrusión y control limpieza de imán.

Los tiempos de producción y calidad del ladrillo también se ven afectados por materiales contaminantes como raíces y elementos metálicos procedentes de las tierras que ingresan a la ladrillera, los cuales quedan atrapados en la boquilla, estos elementos en la boquilla generan defectos en los ladrillos conocidos como ranura, un ejemplo de este defecto se observa en la Figura 15. Para evitar esto hay un imán encargado de retener los objetos metálicos antes de llegar a la extrusora (Figura 16) que requiere limpieza periódicamente para evitar que el exceso sea arrastrado nuevamente por la mezcla al pasar por la banda, por lo tanto, se establece un control de limpieza del imán y se lleva a cabo en el formato de la Figura 14.

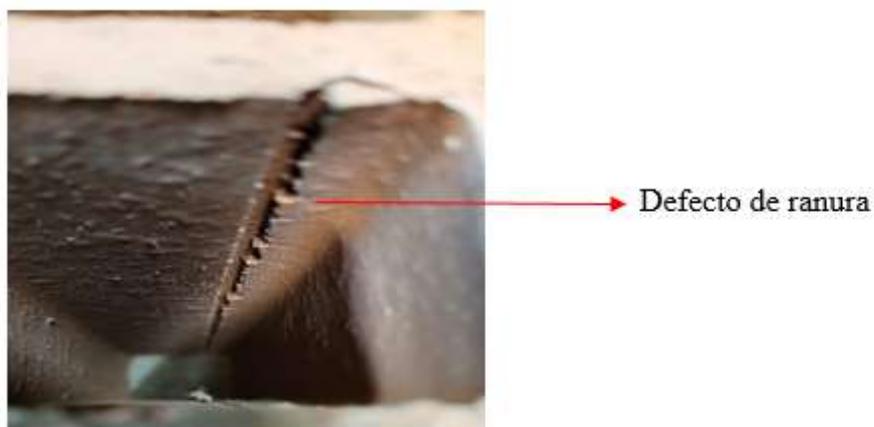


Figura 15. Defecto de ranura por material contaminante

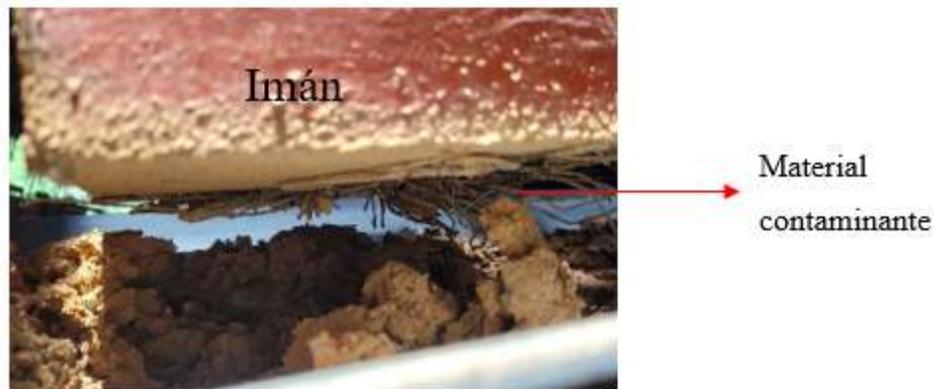


Figura 16. *Imán con material contaminante.*

H. Plan de mejora área de secado

Debido a la demanda de ladrillos, se requiere que los tiempos de producción y secado sean rápidos, por lo cual la Empresa en su metodología de producción solo permite el secado a temperatura ambiente de las estanterías de ladrillos por 24 horas o menos, antes de entrar al secado a una temperatura aproximada entre $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 horas, esta es la etapa del proceso de producción en donde se reporta cerca del 18 % de rotura o agrietamiento de los ladrillos.

La mezcla de arcillas antes de ser extruida contiene una humedad aproximada cerca del 27 %, esto hace que al ladrillo entrar al proceso de secado se exponga a una temperatura en la que el agua o la humedad deben salir rápidamente generando alta porosidad y agrietamientos, además causando altos consumos energéticos por la liberación de humedad dentro del secadero. Se debe tener en cuenta que el aire caliente es menos denso que el aire frío y también que el aire húmedo es menos denso que el aire seco a una temperatura determinada. Sin embargo, cuando el aire se carga de humedad cede calor al agua y se enfría, aumentando su densidad. Esto da como resultado la acumulación de aire húmedo y frío en la parte inferior del secadero y la formación de corrientes de circulación preferencial de aire caliente por la parte superior, por esta razón se presentan mayores porcentajes de rotura en la parte superior de las estanterías como se observa en la Figura 17 [20].



Figura 17. Rotura en los ladrillos ubicados en la parte superior de la estantería.

Controlar los porcentajes de contracción también es un factor importante, por lo cual se realiza un análisis de contracción y pérdida de humedad durante el tiempo de pre-secado a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas, para la referencia Coco 10 rayado y se analizan estanterías con 200 unidades como base de análisis. Los datos obtenidos se reportan en el Anexo 1, al analizar dichos datos se obtiene la Figura 18.



Figura 18. Resultados del pre-secado a temperatura ambiente.

Como se puede observar en la Figura 18 los porcentajes de contracción y porcentajes de ladrillo defectuoso están asociados entre sí, a mayor porcentaje de contracción, disminuye el porcentaje de agrietamiento o rotura, es decir se obtiene menor cantidad de ladrillos defectuosos. Pero por las condiciones ambientales y de ventilación de los cuartos de secado de la Empresa, este proceso se da de manera lenta, lo que hace que el tiempo de pre-secado a temperatura ambiente no sea muy efectivo y los porcentajes de rotura no disminuyan significativamente.

Con el fin de promover la liberación de humedad de una manera más controlada y aumentar los porcentajes de contracción sin que se genere agrietamiento y rotura durante el proceso de secado, se instalaron 4 ventiladores de 42 pulgadas, con el objetivo de acelerar el proceso de secado, pero a temperatura ambiente antes de ingresar al secadero, como se observa en la Figura 19.



Figura 19. Montaje de ventiladores para el proceso de secado a temperatura ambiente.

Para evaluar el efecto de estos ventiladores en el porcentaje de contracción y rotura, se realiza el mismo proceso de toma y análisis de datos como se observa en la Figura 20 información tomada de Anexo B.



Figura 20. Resultados del pre-secado con ventilación.

Como se puede observar, el proceso de ventilación a temperatura ambiente promueve la liberación de la humedad de manera rápida, lo que permite alcanzar un mayor porcentaje de contracción en las mismas 24 horas, el cual inicialmente como se observa en la Figura 15 era de 0,3 % y pasó a 2,4 %. Este aumento es significativo y favorece notablemente la disminución del porcentaje de ladrillo defectuoso que paso del 12 % al 3,0 %. Esto se debe a que la contracción con ventilación a temperatura ambiente permite que el ladrillo se compacte de manera más uniforme y controlada además de promover una liberación de agua de manera espontánea y por efectos de capilaridad y no por efectos de altas temperaturas en donde se ve afectada la porosidad. Debido a los resultados obtenidos la Empresa toma se decisión de instalar 4 ventiladores más e implementar un nuevo sistema de rotación de estanterías para dar ventilación a toda la producción.

I. Plan de mejora proceso de cocción

Durante el proceso de cocción se presentan defectos en el ladrillo como se observa en la Figura 21. por sobre cocido, exceso de temperatura o daños a nivel estructural dentro de los hornos de cocción.



Figura 21. *Defectos en el área de cocción.*

Con el objetivo de prevenir defectos por daños estructurales, se realiza una programación de mantenimientos preventivos periódicos dentro y fuera de los hornos, así como también se capacita al personal para realizar una inspección visual al finalizar cada etapa de cocción con la finalidad de identificar posibles fallos (Figura 22).



Figura 22. Personal en mantenimiento preventivo de hornos / inspección visual.

Con el fin de verificar la calidad del ladrillo después de las mejoras implementadas, se realiza una inspección visual y se determinó la resistencia a la compresión y porcentaje de absorción de muestras tomadas aleatoriamente. Obteniéndose una resistencia a la compresión de 3,0 MPa y un porcentaje de absorción de 18,1 %, Ver anexo C. Este es un resultado muy favorable para la Empresa, ya que estos resultados se encuentran bajo la norma NTC 4017 para mampostería no estructural de perforación horizontal.

VIII. CONCLUSIONES

Establecer espacios para el correcto almacenamiento de la materia prima, permitió controlar adecuadamente los tiempos de maduración, separación según el tipo de arcilla y así abastecer la zona de preparación con una materia prima de mejor calidad.

A partir de las observaciones realizadas, se logró establecer los cambios y mejoras necesarias en cada etapa del proceso productivo, que permitieron elaborar e implementar un plan de mejora que abarco materia prima, procesos operativos e inducciones al personal, logrando obtener un producto final de mejor calidad.

Realizar la caracterización química y mineralógica de las arcillas permitió identificar los principales componentes y su influencia en los defectos de agrietamiento y propiedades mecánicas.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría y aproximación a las fases mineralógicas se logró establecer para este caso de estudio, que la mezcla de limo, greda y arenilla en las proporciones de 36,40 %; 45,40 %; 18,20% respectivamente, presentaron el mejor comportamiento en los resultados de absorción y resistencia a la compresión, logrando así cumplir con las especificaciones de las Normas Técnicas Colombianas NTC-4017 y NTC – 4205. para mampostería.

La implementación del sistema de ventilación en el área de secado permitió controlar los niveles de contracción generando una disminución en los índices de rotura obteniendo como resultado una mejora en el proceso y mejor calidad del producto final.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar la disposición de los ladrillos dentro del horno de cocción, ya que ésta puede estar asociado a los defectos de manchas que se observaron luego del proceso de cocción.
- Se recomienda realizar el muestreo y caracterización de la materia prima, forma periódica teniendo en cuenta la frecuencia con la que ingresa nuevo material a los lotes de almacenamiento de las diferentes arcillas, de forma tal que se asegure que todo el material que ingresa a preparación se encuentre previamente caracterizado.
- Se recomienda evaluar las propiedades mecánicas del producto final cada que se realice cambio de lote de cualquiera de las arcillas almacenadas, con el fin de verificar que cumpla con las condiciones exigidas en las normas NTC-4017 y NTC – 4205.

X. REFERENCIAS

- [1] D. L. Perez, Cañas, "Propuesta de mejoramiento en el sistema productivo de una ladrillera del norte del valle utilizando herramientas de ingeniería industrial", Tesis pregrado, Universidad del Valle, Cali, 2020. [En línea]. Disponible: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/19666/0604385.pdf?sequence=1>
- [2] I. Estevez, "Mejoramiento del proceso productivo y almacenamiento en la empresa ladrillera Curiti LTDA", Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2016. Accedido el 21 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/165487.pdf>
- [3] J. P. E. Santos, Malagón, Cordoba, "Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander", Dyna, vol. 78, n.º 167, julio de 2011. Accedido el 22 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000300006
- [4] "Que es el ladrillo, Tipos, usos, ventajas y propiedades". Arquitectura Pura. <https://www.arquitecturapura.com/construccion/ladrillo-5884/> (accedido el 13 de junio de 2023).
- [5] Fernández, M. (1990) Fabricación y control de calidad de los materiales de arcilla cocida (3 vols.). Medellín, Colombia.
- [6] "Tipos de suelo: arena, limo, arcilla y marga - Arquitectura Pura". Arquitectura Pura. <https://www.arquitecturapura.com/construccion/tipos-de-suelo-8347/> (accedido el 13 de junio de 2023).

[7] R. Galindo. "Accion de calor en la silice libre". Rafael Galindo Ceramista. https://rafagalindoceramica.com/wp-content/uploads/2020/04/Accion_calor_silice.pdf (accedido el 30 de junio de 2023)

[8] J. Barranzuela, "Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región piura", Tesis pregrado, Universidad de Piura, Peru, 2014.

[9] Adrians, P. (2021) Estandarización de procesos: Qué es y su importancia en la digitalización de la Empresa, Impulsa Popular | Banco Popular Dominicano. [En línea] Disponible: <https://impulsapopular.com/gerencia/estandarizacion-de-procesos-que-es-y-su-importancia-en-la-digitalizacion-de-la-empresa/> (Accedido: 02 Nov 2022).

[10] Ingenium | Escuela de Formación Profesional (2022) Importancia de la estandarización de procesos en las industrias, LinkedIn. Disponible <https://es.linkedin.com/pulse/importancia-de-la-estandarizaci%C3%B3n-procesos-en-las-industrias-> (Accedido: 17 Nov 2022).

[11] Práctica estándar para reducir muestras de agregados a tamaño de prueba, ASTM C 702, American Society for Testing and Materials.

[12] Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, INV E 123-13, Normas y especificaciones INVIAS, Colombia, 2013.

[13] Rosen, O.M., Abbyasov, A.A. The Quantitative Mineral Composition of Sedimentary Rocks: Calculation from Chemical Analyses and Assessment of Adequacy (MINLITH Computer Program). *Lithology and Mineral Resources* 38, 252–264 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1023935803751>

[14] Norma Técnica Colombiana (NTC,2005) Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017)

[15] Google Maps. “Ubicación geográfica de la ladrillera el Noral, Medellín, Colombia (Accedido: 25 Nov 2022)

[16] Santos José; Malagón Pedro; Córdoba Elcy (2009) “Caracterización de Arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la Región de barichara, Santander” Universidad Industrial de Santander Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762/39346> (Accedido: 12 Dic 2022).

[17] R. E. M. García, Florez, Rodríguez, "Diseño de Mezclas para la Fabricación de Productos de Mampostería en la Industria Cerámica", Revista Politecnica, vol. 14, n.º 26, p. 19–28, 2018. [En línea].

Disponible: https://www.researchgate.net/publication/331256206_Disenio_de_Mezclas_para_la_Fabricacion_de_Productos_de_Mamposteria_en_la_Industria_Ceramica

[18] Grupo CIPSA. DIFERENCIAS ENTRE SUELOS COHESIVOS Y GRANULARES. Noticias. Disponible: <https://www.cipsa.com.mx/26/noticias/diferencias-entre-suelos-cohesivos-y-granulares/> (Accedido: 17 May 2023).

[19] Norma Técnica Colombiana (NTC,2009) Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos (NTC 4205-2)

[20] Bocagrande, M. (2021) La contracción de secado de los productos cerámicos de construcción base arcilla, Disponible: https://issuu.com/creativosrood/docs/cicdech_178_mayo_18/s/12352053 (Accedido: 17 Ene 2023).

XI. ANEXOS

Anexo A. Datos obtenidos en pre-secado a temperatura ambiente

Tiempo de pre-secado (h)	Volumen (cm)³	Peso (g)	Ladrillos defectuosos	% Contracción	% Defectuosos
0,0	8869,1	7584	42	0,000	21,00%
0,7	8869,1	7584	39	0,000	19,50%
1,3	8869,1	7582	40	0,000	20,00%
2,0	8868,8	7580	38	0,003	19,00%
2,7	8868,6	7578	40	0,006	20,00%
3,3	8868,2	7575	39	0,010	19,50%
4,0	8867,8	7572	38	0,015	19,00%
4,7	8867,3	7568	38	0,020	19,00%
5,3	8866,9	7563	36	0,025	18,00%
6,0	8866,4	7559	34	0,030	17,00%
6,7	8865,8	7556	35	0,037	17,50%
7,3	8865,1	7552	34	0,045	17,00%
8,0	8864,7	7549	33	0,050	16,50%
8,7	8864,1	7545	34	0,056	17,00%
9,3	8863,6	7541	35	0,062	17,50%
10,0	8863	7538	33	0,069	16,50%
10,7	8862,4	7535	32	0,076	16,00%
11,3	8861,7	7531	33	0,083	16,50%
12,0	8861,1	7527	32	0,090	16,00%
12,7	8860,6	7523	32	0,096	16,00%
13,3	8859,9	7519	31	0,104	15,50%
14,0	8859,3	7516	32	0,110	16,00%
14,7	8858,6	7510	30	0,118	15,00%
15,3	8857,8	7503	29	0,127	14,50%
16,0	8857	7498	27	0,136	13,50%
16,7	8856,4	7492	29	0,143	14,50%
17,3	8855,8	7485	27	0,150	13,50%
18,0	8855,1	7479	28	0,158	14,00%
18,7	8854,2	7472	27	0,168	13,50%
19,3	8853,3	7468	26	0,178	13,00%
20,0	8852	7460	25	0,193	12,50%
20,7	8851	7451	26	0,204	13,00%
21,3	8850,1	7442	27	0,214	13,50%
22,0	8849,1	7436	25	0,226	12,50%
22,7	8848,2	7428	23	0,236	11,50%
23,3	8847,1	7419	25	0,248	12,50%
24,0	8845,8	7410	24	0,263	12,00%

Anexo B. Datos obtenidos en oreo con ventilación

Tiempo de Ventilacion (h)	Volumen (cm)³	Peso (g)	Ladrillos defectuosos	% contraccion	% Defectuosos
0,0	8871,3	7595	41	0,000	20,50%
0,7	8860,3	7589	33	0,124	16,50%
1,3	8852,3	7580	26	0,214	13,00%
2,0	8844,6	7571	21	0,301	10,50%
2,7	8848,6	7565	18	0,256	9,00%
3,3	8841,5	7558	15	0,336	7,50%
4,0	8836,3	7551	14	0,395	7,00%
4,7	8829,7	7544	14	0,469	7,00%
5,3	8822,4	7535	13	0,551	6,50%
6,0	8819,7	7527	11	0,582	5,50%
6,7	8812,8	7518	11	0,659	5,50%
7,3	8807,5	7511	9	0,719	4,50%
8,0	8801,7	7504	10	0,785	5,00%
8,7	8794,6	7498	9	0,865	4,50%
9,3	8787,2	7490	10	0,948	5,00%
10,0	8783,1	7485	8	0,994	4,00%
10,7	8775,3	7477	9	1,082	4,50%
11,3	8763,4	7471	10	1,216	5,00%
12,0	8752,6	7463	8	1,338	4,00%
12,7	8741,9	7455	7	1,459	3,50%
13,3	8733,3	7447	8	1,556	4,00%
14,0	8722,7	7440	9	1,675	4,50%
14,7	8714,7	7433	8	1,765	4,00%
15,3	8707,8	7428	7	1,843	3,50%
16,0	8700,9	7423	8	1,921	4,00%
16,7	8695,7	7418	7	1,979	3,50%
17,3	8689,5	7412	6	2,049	3,00%
18,0	8684,2	7406	8	2,109	4,00%
18,7	8680,1	7400	8	2,155	4,00%
19,3	8676,9	7396	6	2,191	3,00%
20,0	8673,5	7392	7	2,230	3,50%
20,7	8670	7389	6	2,269	3,00%
21,3	8667,3	7386	8	2,300	4,00%
22,0	8664,2	7384	6	2,334	3,00%
22,7	8662,7	7381	7	2,351	3,50%
23,3	8660,4	7378	6	2,377	3,00%
24,0	8658,2	7376	7	2,402	3,50%

Anexo C. Resultado ensayo de resistencia a la compresión realizado por la empresa SGS



Informe de Resultados No. ME2301752 Rev. 0 Fecha de Emisión: 2023/01/19
Pag 4 de 4

Resistencia A La Compresión de Bloques y Ladrillos de Arcilla (A)

Método Ensayo : NTC 4017 - 2018 Numeral 7

Especificación Comparativa : --

Item(s) de Ensayo	Unid.	001	002	003	004	005
Largo	mm	381.2	382.1	381.6	382.1	382.5
Ancho	mm	88.8	89.0	90.3	90.2	89.6
Alto	mm	181.8	180.7	181.8	182.2	182.1
Área Vacíos	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Bruta	mm ²	34330	34006	34458	34485	34272
Área Doveses	mm ²	0	0	0	0	0
Área Neta	mm ²	34330	34006	34458	34485	34272
Velocidad Ensayo	N/S	551	551	551	551	551
Carga	N	106423	98617	103374	108903	99368
Promedio Resistencia Neta	kg/cm ²	25				
Resistencia Neta	MPa	3.1	2.9	3.0	3.1	2.9
Promedio Resistencia Neta	MPa	3.0				

Anexo D. Resultado ensayo porcentaje de absorción realizado por la empresa SGS



Informe de Resultados No. ME2306300 Rev. 0 Fecha de Emisión: 2023/02/09
Pag 3 de 4

Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla, Absorción de agua.**(Ensayo de inmersión durante 24h). (A)**

Método Ensayo : NTC 4017 - 2018 Numeral 10

Especificación Comparativa : --

Item(s) de Ensayo	Unid.	001	002	003	004	005
Masa Seca	g	3338.0	3314.0	3333.0	3326.6	3399.0
Masa Saturada	g	3966.0	3936.0	3972.0	3942.0	3926.0
Absorción	%	18.8	18.8	18.2	18.8	15.5
Promedio Absorción	%	18.2				

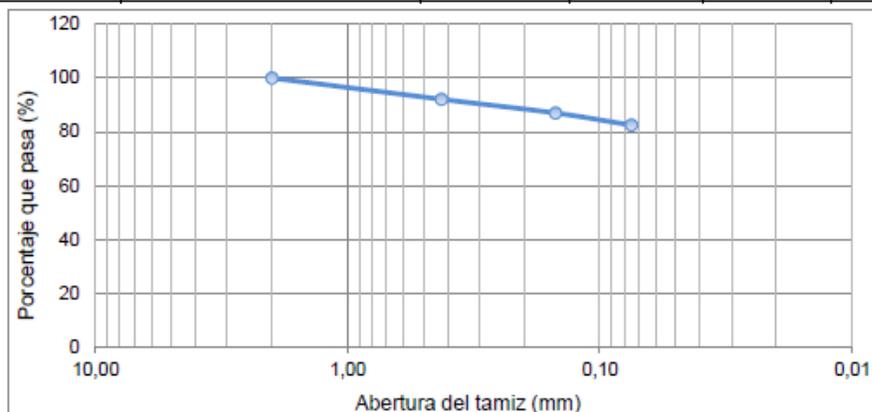
Anexo E. Resultado análisis granulométrico realizado por Universidad de Antioquia

	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS INV E-213 - INV E-214	
	UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	
	LABORATORIO DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS	Página 1 de

Muestra: 1 Fecha: 2023-03-26 Versión: 2013
 Descripción de la muestra: Limo elastico fino amarillo

Masa seca inicial (g)	120,00	Masa seca después de lavado por #200 (g)	2,
-----------------------	--------	--	----

IN V E-213 La diferencia del peso antes de tamizar y después de tamizado no debe ser mayor al 0,3%							0,16	
Datos del ensayo			Verificación del tamizado		Cálculos			
Tamiz	Abertura (mm)	Masa Retenida (g)	Masa reten. (g) individual a 1min	% pasa individual ≤ 1% INV E-213	Retenido % Individual	Retenido % acumulado	% Pasa	
3"	76,200	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,500	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
2"	50,000	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	37,500	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
1"	25,400	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,500	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,500	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
#4	4,750	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
#8	2,360	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
#16	1,180	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
#10	2,000	0	0	0,0	0,00	0,00	100,00	
#40	0,425	9,5	9,5	0,0	7,90	7,90	92,10	
#100	0,150	6,14	6,14	0,0	5,11	13,01	86,99	
#200	0,075	5,44	5,44	0,0	4,53	17,54	82,46	
Fondo individual		0,54	0,54	-----	-----	-----	-----	
Fondo total			99,11	-----	82,46	100,00	0,00	
Sumatoria			120,19	-----	100,00	-----	-----	



Modulo de finura	0,21
------------------	------

OBSERVACIONES: Tabla de clasificacion de la USC. MH

