

### **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA  
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**Estudio de las propiedades mecánicas de los ladrillos de adobe para su uso en  
mampostería mediante un análisis estadístico multivariado**

**José Manuel Pabón Archila**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial**

**Director**

**Mg. Julián Orlando Herrera Ortiz**

**Codirector**

**Mg. Javier Hernández Cáceres**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Facultad de Arquitectura**

**2020**

### **Dedicatoria**

A quien mantuvo la fe en mí, aunque yo mismo llegara a perderla.

De un hijo a quien las palabras le quedan cortas, este logro es por ti mamá.

### **Agradecimientos**

Julián Orlando Herrera Ortiz

Magister

Jairo Hernández Salazar

Técnico de soporte académico A

Álvaro Nova Duarte

Tecnólogo en obra civil

**Contenido**

	Pág.
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción .....	12
1. Definición del problema .....	13
1.1. Descripción Del Problema	13
1.2. Justificación	14
2. Objetivos.....	15
2.1. Objetivo General	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. Marco Referencial.....	15
3.1. Marco Teórico.	15
3.1.1. El adobe como material estructural	15
3.1.2. El adobe como material de construcción y sus características generales	17
3.1.3. Límites de Atterberg	18
3.1.4. Aplicación de técnicas multivariantes.	19
3.2. Marco Conceptual	21
3.2.1. Mampostería.	21
3.2.2. Resistencia a la compresión.	21
3.3. Marco Legal	22

3.3.1. Leyes y decretos	22
3.4. Marco Histórico	27
3.4.1. La tierra como material de construcción.	27
3.4.2. Arquitectura, procesos y culturas constructivas de tierra en Colombia.	28
3.4.3. Procesos y culturas constructivas.	30
3.4.4. El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia.	31
3.5. Estado Del Arte	32
4. Método .....	34
4.1. Etapa 1: Búsqueda y análisis bibliográfico	35
4.2. Etapa 2: Reconocimiento de materiales y equipos de laboratorio.	36
4.3. Etapa 3: Fabricación de muestras	37
4.3.1. Granulometría.	38
4.3.2. Límites de Atterberg.	39
4.3.3. Ensayo de compactación.	42
4.3.4. Gravedades específicas.	42
4.3.5. Peso unitario.	43
4.4. Etapa 4: Evaluación de muestras	47
4.5. Etapa 5: Análisis de resultados.	48
4.6. Etapa 6: Elaboración de informe final.	48
5. Resultados y Discusión .....	48
5.1. Granulometría	49

5.2. Límites de Atterberg	51
5.3. Gravedades específicas y peso unitario	52
5.4. Prueba de compresión	53
5.6.1. Análisis multivariado para los días 15 y 30.	53
5.6.2. Análisis multivariado para el día 30.	58
5.6.3. Análisis del ladrillo de adobe vs el ladrillo de temosa.	61
6. Conclusiones.....	62
7. Referencias Bibliográficas.....	64

**Lista de tablas**

	Pág.
Tabla 1 <i>Resultados de composición del material.</i> .....	50
Tabla 2 <i>Gravedades específicas y peso unitario.</i> .....	52
Tabla 3 <i>Análisis de Varianza para F'c</i> .....	54
Tabla 4 <i>Tabla de valores para prueba de múltiples rangos.</i> .....	57
Tabla 5 <i>Prueba de múltiples rangos para F'c por tamaño de arroz.</i> .....	57
Tabla 6 <i>Análisis de varianza para F'c en el día 30</i> .....	58
Tabla 7 <i>Coef. de regresión para F'c.</i> .....	61

### Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1</i> Diagrama del proceso de fabricación del adobe - Unidad básica del mampuesto. Adaptado de Juan Carlos Rivera .....	16
<i>Figura 2</i> Diagrama de flujo para la metodología, Adaptado de José Manuel Pabón. ....	35
<i>Figura 3</i> Reconocimiento de los materiales y equipos. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	37
<i>Figura 4</i> Prueba Granulométrica. Adaptado de José Manuel Pabón.....	39
<i>Figura 5</i> Ensayo para límite plástico. Adaptado de José Manuel Pabón.....	40
<i>Figura 6</i> Ensayo de Límite Líquido. Adaptado de José Manuel Pabón.....	42
<i>Figura 7</i> Prueba de Gravedades Específicas. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	43
<i>Figura 8</i> Ensayo de peso unitario. Adaptado de José Manuel Pabón.....	45
<i>Figura 9</i> Fabricación de ladrillos de adobe. Adaptado de José Manuel Pabón.....	46
<i>Figura 10</i> Ensayos de compresión. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	47
<i>Figura 11</i> Resultado de ensayo granulométrico. Adaptado de José Manuel Pabón.....	50
<i>Figura 12</i> Diagrama de Pareto para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón.....	55
<i>Figura 13</i> Gráfico de efectos principales para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	55
<i>Figura 14</i> Gráfico de Fisher LSD. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	56
<i>Figura 15</i> Diagrama de Pareto para F'c en el día 30 con dos factores. Adaptado de José Manuel Pabón.....	59
<i>Figura 16.</i> Gráfico efectos principales para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón .....	60
<i>Figura 17</i> Grafica Multi-vari para F'c en el día 30 con dos factores. Adaptado de José Manuel Pabón.....	60
<i>Figura 18</i> Análisis para ladrillos de adobe y temosa. Adaptado de José Manuel Pabón. ....	62

### **Resumen**

Debido al alto crecimiento que ha tenido la industria de la construcción y su impacto nocivo en el medio ambiente, se hizo necesario investigar sobre nuevas técnicas tradicionales de construcción que permitieran mitigar su impacto negativo a través de alternativas como la mampostería con agregados orgánicos dada a su fácil obtención y eficacia en relación con la durabilidad y la resistencia a la compresión. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se logró entender el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas del ladrillo de adobe con adiciones orgánicas de tamo de arroz y adheridos de arena en su fabricación. Por lo anterior, se realizaron las relaciones entre las variables mencionadas que afectan al ladrillo de adobe y su resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos contribuyen al estudio del comportamiento y calidad del ladrillo los cuales están directamente relacionados con su resistencia permitiendo recomendar o no sus funciones a la industria de la construcción.

**Palabras Clave:** Mampostería, Análisis multivariado, Adobe, Resistencia a la compresión, Propiedades Mecánicas.

### **Abstract**

Due to the high growth that the construction industry has had and its harmful impact on the environment, it became necessary to investigate new traditional construction techniques that would mitigate its negative impact through alternatives such as masonry with organic aggregates given its easy to obtain and effective in relation to durability and compressive strength. Therefore, in the present research work it was possible to understand the behavior of the physical-mechanical properties of the adobe brick with organic additions of rice chaff and sand adhesions in its manufacture. Therefore, the relationships between the aforementioned variables that affect adobe brick and its resistance to compression were made. The results obtained contribute to the study of the behavior and quality of the brick, which are directly related to its resistance, allowing its functions to be recommended or not to the construction industry.

**Key Words:** Masonry, Multivariate analysis, Adobe, Compressive strength, Mechanical Properties.

### Introducción

El adobe es el material más antiguo y ampliamente utilizado para la construcción de viviendas. Se estima que un tercio de la población mundial y el 50% de la población de los países en desarrollo todavía viven en edificaciones de tierra [1]. Este tipo de construcción ofrece una alta variedad de beneficios no solo económicos, sino también culturales por su tradición e identidad que se le atribuye. No obstante, su aplicación enfrenta varias limitaciones debido a su comportamiento frágil, su baja resistencia a la tracción y deterioro cuando se expone a la humedad generando daños estructurales graves, colapsos o provocando pérdidas significativas de vidas y bienes [2], creando la necesidad de utilizar nuevas alternativas que permitan aumentar su calidad a través de procedimientos mecánicos, estabilizaciones químicas y aplicación de aditivos.

Pese a que hay diversas alternativas de mejora para los ladrillos de adobe estas representan un aumento importante en el costo del material y en su impacto ambiental, por esta razón se ha venido buscando formas artesanales que propicien un incremento en las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, erosión y compresión en los ladrillos sin generar un alza significativa en sus precios y una reducción respecto a su conducta nociva con el medio ambiente. Por lo anterior se han ido buscando fibras naturales sirven como aditivo en la composición del ladrillo, entre ellos se encontró el tamo de arroz al con que el arroz es el tercer cultivo en importancia en términos de su producción a nivel mundial. Esto lo convierte a su vez en el cultivo que produce el tercer residuo agrícola de origen lignocelulósico<sup>1</sup> más abundante en el planeta, conocido como tamo de arroz. [3]

---

<sup>1</sup> se refiere a la materia seca vegetal (biomasa) [47]

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación pretendió conocer y entender el comportamiento de las propiedades mecánicas de los ladrillos de adobe con adiciones distintas de cantidades de tamo de arroz y arena. Además, la investigación estuvo dirigida a relacionar la conducta del ladrillo de adobe con adiciones con ladrillos comerciales. Los resultados obtenidos contribuyen al estudio de la resistencia a la compresión, el cual está íntimamente relacionado con el tiempo y la cantidad de material orgánico adherido.

## **1. Definición del problema**

### **1.1. Descripción Del Problema**

La tierra, la piedra y la madera fueron los materiales con los que nació la civilización y con los que se desarrollaron las primeras ciudades. Provenientes del norte de África llegaron a América, por medio de los españoles, técnicas constructivas como la tapia pisado o el adobe que en algunos casos se mezclaron con técnicas constructivas ya existentes del nuevo territorio dando como origen de este mestizaje al bahareque. Los comienzos del siglo XX trajeron la modernidad, desplazando estas técnicas constructivas e imponiendo otros materiales como signo de progreso y desarrollo tales como el cemento, el acero y la mampostería moderna. [4]

En la actualidad se desestima el uso del ladrillo de adobe como una técnica constructiva eficiente y capaz de afrontar los nuevos retos de la construcción moderna. Negando ventajas importantes y contrario a lo que se piensa, el Adobe es un material de construcción que presenta varias características atractivas. Es de bajo costo, disponible localmente, reciclable, adaptado a una gran variedad de suelos, presenta buenas propiedades térmicas y acústicas, y se asocia a métodos constructivos simples que requieren un consumo reducido de energía [5] pero a veces estas no son razones suficientes para sea considerado como un material apto e idóneo sino que al

contrario es un material que representa un retroceso a la modernidad en su uso, elaboración e implementación frente a ladrillos ya convencionales.

Por lo anterior, esta investigación aborda el problema de demostrar, medir y definir mediante un estudio de las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos de adobe frente a ensayos de compresión y densidad en seco, siendo estos cotejados con ladrillos modernos que permitan determinar el comportamiento de cada uno. En este sentido se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿qué comportamiento mecánico presenta el ladrillo de adobe en comparación con el ladrillo convencional para su posible uso en construcciones modernas?

## **1.2. Justificación**

Los ladrillos convencionales han venido en auge con la denominada modernidad a partir de finales del siglo XIX e inicios del XX, dejando prácticamente obsoletas las tradicionales técnicas de construcción. El desarrollo de esta investigación llevaría a concluir acerca del comportamiento mecánico de un producto tradicional para la industria de la construcción, además de retomar al adobe como una posible alternativa de material de construcción, con la ventaja de que presenta sostenibilidad ambiental, ya que se encuentra disponible en cualquier lugar donde se desee desarrollar un proyecto constructivo. Lo anterior, se llevará a cabo a partir de un análisis estadístico a las pruebas de laboratorio, que permitirá determinar el comportamiento mecánico de ladrillos de adobe frente a ladrillo convencional. Asimismo, esta investigación busca estudiar una metodología para la elaboración del ladrillo de adobe y el efecto de la materia prima sobre la resistencia mecánica.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo General

Analizar las propiedades mecánicas de los ladrillos de adobe para su uso en mampostería mediante el análisis estadístico multivariado.

### 2.2. Objetivos Específicos

Establecer un diseño experimental que permita establecer las dosificaciones de arena, tamo de arroz y tiempo de secado para la elaboración de los ladrillos.

Determinar el efecto de las dosificaciones frente a la resistencia de la compresión mediante el análisis multivariado.

Relacionar las características mecánicas del ladrillo de adobe en estudio frente a un ladrillo comercial a partir del análisis estadístico inferencial.

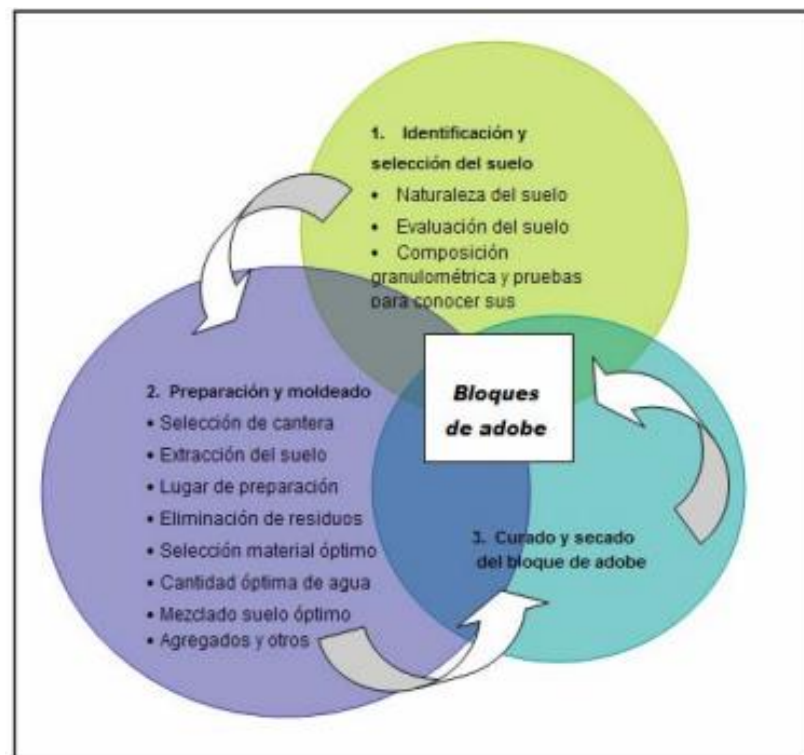
## 3. Marco Referencial

### 3.1. Marco Teórico.

En esta sección se expone el referente teórico el cual sostiene el estudio y las proposiciones que serán usadas directamente en el desarrollo de este. Específicamente, se realiza una aproximación a las nociones de las propiedades del adobe como un material estructural para mampostería y el análisis multivariado, de las cuales resultan las categorías que son objeto de estudio y verificación en las hipótesis.

**3.1.1. El adobe como material estructural.** El sistema constructivo en tierra cruda, también denominado adobe, está constituida básicamente por el acoplamiento de unidades de tierra cruda secada al sol (adobes), aglutinados con barro que hace las veces de mortero de pega. Las unidades básicas de este mampuesto son fabricadas y/o moldeadas en diversos formatos y con variadas composiciones granulométricas. En el diagrama de proceso de fabricación del adobe

(Figura 1) se indican las acciones invariables y cíclicas que se deben llevar a cabo para la fabricación de las unidades, las cuales con el paso del tiempo no han cambiado significativamente si se habla de adobes históricos o modernos debido a que la técnica constructiva en sí misma no se ha modificado, sin embargo si se observa un adelanto y mejora en su composición con la adición de elementos orgánicos e inorgánicos, mediante métodos físicos, físico-químicos o químicos, que buscan mejorar las propiedades mecánicas y su comportamiento ante acciones externas a las que se encuentran sometidas en su gran mayoría estas estructuras. [6] En la Figura 1 se evidencian todas las variables que participan en este proceso, las cuales se ven modificadas de un monumento a otro.



*Figura 1* Diagrama del proceso de fabricación del adobe - Unidad básica del mampuesto.  
Adaptado de Juan Carlos Rivera

Dada la aparente tecnología constructiva que esta guarda, se hace necesario en favor de ofrecer soluciones apropiadas que intervengan en los intereses culturales que poseen este tipo de material con el fin de conocer con mayor exactitud y amplitud las características físicas, mecánicas y químicas del material que lo componen. [6] Para caracterizar en su integridad el material que compone tanto la unidad de mampostería como la obra de fábrica que con éstos se ha edificado, se revisan tres aspectos principales que incluyen las características predominantes en los materiales empleados en ingeniería: físicas, mecánicas y químicas. [6]

**3.1.2. El adobe como material de construcción y sus características generales.** Aparte de las ventajas térmicas con las que cuenta el adobe, también dispone de una ventaja realmente importante y apetecible para las constructoras como es que su materia prima esté presente en el lugar de la construcción permitiendo un ahorro en los costos de transporte. Ventaja apreciable dado el alto volumen de material necesario para construirlas. Aun cuando modernamente se puede usar maquinaria para fabricar adobes también se puede construir de forma primitiva a mano y sin herramientas ni instrumento alguno. Las desventajas del adobe como material de construcción también son bastante conocidas. El adobe es higrófilo<sup>2</sup>, tiende a absorber la humedad atmosférica cuando el aire está saturado de manera que por ello pierde su resistencia a los esfuerzos, aun los de su propio peso. En los trópicos (clima colombiano) después de una lluvia

---

<sup>2</sup> Higrófilo: Dicho de un animal o de una planta: Que exige o prefiere ambientes húmedos.

prolongada por varios días, algunas paredes se desploman sin intervención de ninguna otra fuerza, debido a la humedad del ambiente. [7, p. 2]

Los métodos más primitivos para la selección de tierra como materia prima se llevaban a cabo mediante un estudio del estado de la arena, arcilla o hierba necesarias para el mejoramiento de sus cualidades de modo que permitían una mejor resistencia frente a los distintos cambios climáticos que pueda estar expuesta y un mejor manejo de los adobes; además es necesario implementar diseños donde viviendas con amplios aleros, o con corredores exteriores permitan proteger las paredes, incluso si es necesario realizar unas fundaciones de piedra para así impedir que suba por capilaridad la humedad del suelo, de estas y otras maneras se busca proteger y mejorar las construcciones de adobe. La resistencia a los esfuerzos se ha venido mejorando con estos tratamientos, pero continuara siendo muy baja de no haber otros procedimientos adicionales. [7, p. 3]

Características como la poca elasticidad de la tierra, las deformaciones por esfuerzo difíciles de recobrar y fáciles de deformar hace que se deban construir muros en los que se evite sobrepasar las resistencias normales del adobe a los esfuerzos, así toda la construcción marcha a la perfección. Estos muros tienden a elaborarse muy anchos para que los esfuerzos sean bajos lo que trae con si unas ventajas adicionales: La poca conductividad térmica se encuentra mejorada por el espesor de las paredes, y la seguridad a daños por golpes externos a las paredes también aumenta; pues las paredes de adobe trabajan bien por su masividad. Esta debe ser la condición y característica principal de su diseño. [7, p. 3]

**3.1.3. Límites de Atterberg.** Son ensayos que permiten la obtención de los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con estos ensayos es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification

System, USCS) [8]. Obtener estos límites requiere que la muestra sea moldeada destruyendo su estructura original complementada por una descripción del suelo en sus condiciones naturales.

**3.1.4. Aplicación de técnicas multivariantes.** Las técnicas multivariantes son herramientas que permiten al investigador extraer una gran cantidad de información de datos ya disponibles. Estas técnicas relativamente complejas requieren para su utilización un conocimiento profundo de sus fundamentos y condiciones de aplicabilidad por lo que se cuenta con programas informáticos de manejo sencillo que permitan un mejor aprovechamiento de las técnicas multivariantes como es el SPSS. [9, p. 28]. Para la construcción de un modelo multivariado adecuado se recomienda seguir los siguientes 6 pasos fundamentales para una adecuada elaboración, los pasos son:

**3.1.4.1. Paso 1. Defina el problema que está investigado, sus objetivos y decida la técnica multivariable que piensa utilizar.** No se puede pretender implementar una técnica multivariable sin antes haber realizado una adecuada aproximación teórica al problema que se está abordando. El investigador debe analizar y comprender conceptualmente su objeto de investigación, el cual permita definir los conceptos e identificar las relaciones fundamentales que se pretenden investigar. Primero hay que centrarse en el tema que se investiga, y no en las técnicas que se van a emplear, lo que evitará que dejemos fuera del análisis conceptos importantes. Una vez, y sólo una vez realizado esto, el lector puede seguir los esquemas del epígrafe anterior para seleccionar la técnica más adecuada. [9, p. 29]

**3.1.4.2. Paso 2. Desarrollo del plan de análisis.** Una vez establecido el modelo conceptual, el énfasis se centra en aplicar adecuadamente la técnica elegida, lo que hace referencia fundamentalmente a los tamaños muestrales mínimos que permiten su aplicación, y a asegurarse

de que el procedimiento de recogida de datos (por ejemplo los cuestionarios) que miden las variables con las escalas oportunas (métricas vs. no métricas). [9, p. 29]

**3.1.4.3. Paso 3. Tenga cuidado con las condiciones de aplicabilidad de la técnica elegida.**

Una vez se han recogidos los datos, es necesario conocer e identificar cuáles son las hipótesis y si estas a su vez cumplen con la aplicabilidad de las técnicas multivariadas, si no, hace que carezca de sentido aplicarlas. En las técnicas de dependencia suele ser necesario que los datos cumplan las hipótesis de normalidad, linealidad, independencia del término de error y homocedasticidad<sup>3</sup>. [9, p. 29]

**3.1.4.4. Paso 4. Estime el modelo multivariable y establezca el ajuste global del mismo.**

Aplique la técnica multivariable elegida. Pero fíjese si el nivel de bondad del ajuste es adecuado. Si no es así, deberá re-especificarse el modelo, incorporando o eliminando variables. [9, p. 29]

**3.1.4.5. Paso 5. Interprete los resultados.** “Una vez logre un nivel de ajuste aceptable, interprete el modelo. Fíjese en los efectos de las variables individuales examinando sus coeficientes, cargas factoriales, utilidades.” [9, p. 29]. que al revisarse cuidadosamente se puede llegar a una reinterpretación que puede conducir a nuevas re-especificaciones del modelo ya planteado.

**3.1.4.6. Paso 6. Valide el modelo.** Antes de aceptar los resultados a los que haya llegado, debe aplicar una serie de técnicas de diagnóstico que asegure que estos resultados son generalizables al conjunto de la población. [9, p. 30]

---

<sup>3</sup> La homocedasticidad, es una característica de un modelo de regresión lineal que implica que la varianza de los errores es constante a lo largo del tiempo. [41]

### **3.2. Marco Conceptual**

Esta sección se exponen los conceptos básicos y generales del objeto de estudio como son la Mampostería y Resistencia a la compresión, de tal forma que hay a una mayor comprensión e interpretación del tema de estudio.

**3.2.1. Mampostería.** Material estructural compuesto por bloques, ladrillo de barro u otras unidades de mampostería unidas con mortero. Las unidades o piezas de mampostería son: los ladrillos de arcilla y bloques de concreto. Se considerarán bloques huecos portantes, aquellas piezas cuya sección tenga un área neta mayor o igual que el 50% del área bruta. En ningún caso la altura de las unidades será mayor que  $2/3$  de su longitud, con excepción de las medias piezas utilizadas en los bordes verticales de los muros para obtener el confinamiento. No se admite la reutilización de piezas de mampostería en la ejecución de muros portantes, a menos que se demuestre su aptitud mediante ensayos de laboratorio, especialmente su capacidad de adherencia con morteros. [10]

**3.2.2. Resistencia a la compresión.** La resistencia a la compresión consiste en llevar la muestra o pieza (en este caso en forma de prisma) de ladrillo a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto. Estas pruebas “se usan como control de calidad en la elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), para conocer la calidad de los materiales y su materia prima utilizados en la fabricación de ladrillo y para encontrar la resistencia

a la compresión de la mampostería a partir de fórmulas que relacionan las propiedades de la unidad y los morteros<sup>4</sup> [11, p. 46]

*Ecuación 1*

$$F'_{cu} = \frac{w}{a}$$

Dónde:

$F'_{cu}$  = resistencia a la compresión de ladrillo Pa x 10<sup>4</sup> o ( $\frac{Kgf}{cm^2}$ )

$w$  = carga máxima (de rotura) en N o  $kgf$

$a$  = promedio área bruta de las superficies superior e inferior del espécimen en  $cm^2$ .

### 3.3. Marco Legal

El marco normativo de este proyecto está dado bajo tres criterios sumamente importante que son las normas técnicas colombianas (NTC), los decretos y leyes que rigen la mampostería en Colombia.

#### 3.3.1. Leyes y decretos

**3.3.1.1. Ley 400 de 1997 (agosto 19) Modificada por la Ley 1229 de 2008 (julio 16) por la cual se modifica y adiciona la Ley 400 del 19 de agosto de 1997.** Establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas y de parámetros para la adición, modificación y remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la presente ley, así como las responsabilidades de quienes las

---

<sup>4</sup> Mortero, en su definición más general es toda mezcla de [cemento + arena + agua/o Él puede tener función estructural, o no tenerla [42]

ejercen con el fin de reducir a un mínimo el riesgo de pérdidas humanas y la preservación de lo posible del patrimonio del Estado.

**3.3.1.2. Decreto 960 DEL 2010 (marzo 19).** "Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10" Instituto Nacional de Vías Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras

*3.3.1.2.1. Análisis granulométrico de suelos por tamizado i.n.v. E – 123.* Determina el análisis granulométrico mediante la determinación cuántica de la distribución de los tamaños de partículas de suelo, además permite establecer los porcentajes de suelo que pasa por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo. [12]

*3.3.1.2.2. Determinación del límite líquido de los suelos e – 125.* Tiene como objetivo determinar el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo cuando este se halla en el límite entre el estado líquido y estado plástico. [13]

*3.3.1.2.3. Relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación) e – 124.* Esta norma explica e implementa el proceso de la relación entre la humedad y masa unitaria de los suelos mediante el ensayo de compactación. [14]

### **3.3.1.1. Normativas técnicas colombianas NTC.**

*3.3.1.3.1. Norma técnica colombiana ntc 174. Especificaciones de los agregados para concreto.* Determina los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos y sus proporciones en la adición de una mezcla de agregados de diferente tamaño para uso en concreto, como también su uso en especificaciones de proyecto en donde se define la calidad, tamaño máximo y otros requisitos de gradación específicos. [15]

*3.3.1.3.2. Norma técnica colombiana ntc 176. Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.* Tiene como objetivo

determinar la densidad y la absorción de agregados gruesos a través de densidades aparentes o nominales mediante la inmersión del agregado en agua después de 24 horas, este método no está previsto para ser realizado en agregados livianos. [16]

*3.3.1.3.3. Norma técnica colombiana ntc 4205-1. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 1: mampostería estructural.* Establecen los requisitos y parámetros que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida como unidad de mampostería en muros interiores y exteriores para edificaciones. [17]

*3.3.1.3.4. Norma técnica colombiana ntc 4205-2. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: mampostería no estructural.* Esta norma establece y fija los requisitos y parámetros que deben cumplir los ladrillos de arcilla, utilizados como unidades de mampostería no estructural en muros interiores o muros exteriores que tengan un acabado de protección con enchape u otra mampostería que los proteja de la exposición a la intemperie, de igual manera determina los diferentes tipos de unidades estructurales y no estructurales. [18]

*3.3.1.3.5. Norma técnica colombiana ntc 4205-3. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 3: mampostería de fachada.* Aquí se reúnen los requisitos de las unidades de arcilla cocida utilizadas para muros en ladrillo a la vista interiores o exteriores (fachadas) como su fabricación en unidades no estructurales, así como para mampostería estructural. [19]

*3.3.1.3.6. Norma técnica colombiana ntc 4026. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural.* Establecen los requisitos para las unidades de mampostería perforadas o macizas de concreto, elaboradas con cemento Pórtland,

agua y agregados minerales con la inclusión o no de otros materiales, aptos para elaborar mampostería estructural según su peso, humedad y resistencia a la compresión. [20]

*3.3.1.3.7. Norma técnica colombiana ntc 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.* Esta norma cubre los procedimientos de muestreo y ensayos de unidades de mampostería de arcilla y bloques de arcilla mediante pruebas que incluyen módulo de rotura, resistencia a la compresión, absorción de agua, coeficiente de saturación, tasa inicial de absorción, determinación de la masa, tamaño y expansión por humedad, sin ser estos necesariamente aplicables a todos los tipos de unidades. [21]

*3.3.1.3.8. Norma técnica colombiana ntc 1000. Metrología. Sistema internacional de unidades.* Esta norma tiene por objeto:

- Describir el Sistema Internacional de Unidad entre ellos las unidades del sistema internacional (SI), múltiplos de las unidades del sistema internacional y el reglamento para la escritura de los símbolos de las unidades.
- Recomendar el uso de múltiplos y submúltiplos seleccionados del sistema internacional y dar algunas otras unidades que se pueden utilizar con el sistema internacional de unidades, y el SI
- Definir las unidades básicas del SI. [22]

*3.3.1.3.9. Norma técnica colombiana ntc 6033. Etiquetas ambientales tipo 1. Sello ambiental colombiano (sac). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla.* La presente norma se enmarca en la implementación del Sello Ambiental Colombiano con el propósito general de promover la oferta y demanda de productos y servicios que causen menor impacto en el ambiente, mediante la comunicación de información verificable y exacta, no engañosa, sobre

aspectos ambientales de dichos productos y servicios, para estimular el mejoramiento ambiental continuo impulsado por el mercado.

Dentro de este contexto, los objetivos primordiales del Sello Ambiental Colombiano son:

- Crear una herramienta informativa y comercial para diferenciar los productos que presenten comparativamente un mejor desempeño ambiental.
- Incentivar el crecimiento del mercado nacional e internacional para este tipo de productos.
- Incentivar el crecimiento de la producción de bienes y servicios amigables con el ambiente
- Promover un cambio hacia los productos ambientalmente amigables en las preferencias de compra de los consumidores.
- Facilitar el acceso al mercado y mejorar la imagen de los productos con un mejor desempeño ambiental.
- Promover el uso y desarrollo de procesos, técnicas y tecnologías limpias o sostenibles. Para lograr estos objetivos, los criterios contenidos en esta norma se han desarrollado mediante un proceso que involucra la participación y la concertación con todas las partes interesadas. [23]

**3.3.1.4. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.** Las normas sismo resistentes presentan los requisitos mínimos que deben cumplir para salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un sismo fuerte. No obstante, la defensa de la propiedad es un resultado indirecto de la aplicación de las normas, pues al defender las vidas humanas, se obtiene una protección de la propiedad, como un subproducto de la defensa de la vida.

**3.3.1.4.1. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR- 10. Título D — Mampostería Estructural.** En este apartado se toma en cuenta los requisitos mínimos para el diseño y construcción de las estructuras de mampostería y sus elementos. Estas estructuras no son ajenas en seguridad comparable con otras estructuras elaboradas en otros materiales cuando se

diseñan y construyen de acuerdo con los requisitos del presente Reglamento. Estos requisitos están dirigidos a lograr un comportamiento apropiado de las construcciones en mampostería estructural y su integridad estructural bajo las condiciones de carga vertical permanente o transitoria, bajo condiciones de fuerza lateral, de viento o de sismo y bajo estados ocasionales de fuerzas anormales. [24] las cuales tienen como objetivo la protección a la vida y en lo posible también de los bienes materiales de los usuarios de la edificación. [10]

### **3.4. Marco Histórico**

En este apartado se realiza la demarcación de los hechos pasados tales como la tierra como material de construcción, arquitectura, procesos y culturas constructivas de tierra en Colombia y el uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia que establecen cuáles han sido las diferentes fases por las que han pasado el objeto de estudio en el desarrollo hasta llegar al estado de someterlo a investigación.

**3.4.1. La tierra como material de construcción.** “La tierra es el material de construcción natural más importante y abundante en la mayoría de las regiones del mundo. Este se obtiene frecuentemente directamente en el sitio cuando se excavan los cimientos. En los países industrializados la desmedida explotación de los recursos naturales y los sistemas de producción centralizados intensivos en capital y energía no solo generan desperdicios, sino que contaminan el medio ambiente, incrementando el desempleo. En esos países la tierra ha resurgido como material de construcción” [25] dando paso a lo que hoy denominamos materiales tecnificados<sup>5</sup> como el

---

<sup>5</sup> Introducir procedimientos técnicos modernos en las ramas de producción que no los empleaban.

adobe y que destacan por sus cualidades que buscan dar respuesta a algunas de las problemáticas que hoy afronta el sector de la construcción como lo es la responsabilidad ecológica y la vivienda auto construibles de bajo costo. Esto es debido a que cuenta con 5 propiedades fundamentales que lo caracterizan: “(i) bajo costo de fabricación y gran disponibilidad; (ii) alto ahorro de energía, haciendo uso principalmente de energías renovables; (iii) gran trabajabilidad y propiedades mecánicas óptimas en la construcción; (iv) fácil integración al ecosistema local, empleando los materiales y técnicas locales; y (v) fácil reciclamiento de los excedentes de construcción.” [26]

Crecientemente la demanda de edificaciones económicas y eco amigables con el medio ambiente ha venido en auge lo que lleva a la búsqueda no de nuevas fuentes de obtención de materiales, pero si en el mejoramiento de las ya existente mediante distintos procesos técnicos que permitan un mayor grado eficiencia del material. Entre lazar estas necesidades con el adobe no es nada sencillo debido a que de este solo se tiene un conocimiento empírico lo que dificulta relacionar el conocimiento científico con el etnopedológico<sup>6</sup>

**3.4.2. Arquitectura, procesos y culturas constructivas de tierra en Colombia.** Durante el periodo formativo (500 a.C.) el territorio colombiano presenciaba el surgimiento de importantes culturas indígenas. Una de ellas, la cultura muisca que ocupó la mayor parte de la región andina quienes basaban su cultura material en fabricaciones con materiales perecederos, por lo que no se puede contar con una gran evidencia arqueológica, aparte de algunos cimientos en piedra. Según

---

<sup>6</sup> Se definió como una disciplina híbrida estructurada en la combinación de ciencias naturales y sociales centrada en teorías locales sobre La dinámica del suelo y sus propiedades, involucrando el manejo y percepción de las relaciones suelo-planta. [44]

la descripción de los cronistas, la vivienda era un bohío con cubierta de paja y paredes en bahareque, organizados en pequeños núcleos. [27, p. 1]

Estas tradiciones prehispánicas que hasta el día de hoy se conservan fueran las que dieron el arranque a la cultura de la construcción con tierra en el país, tradiciones que con la llegada de los españoles en el periodo de la colonia fueron innovando con las nuevas tecnologías introducidas y que se evidencia en algunas edificaciones construidas en la zona andina durante este periodo donde se puede establecer el uso y aplicación de técnicas de construcción relacionado con el bahareque, adobe y tapia pisada que con el tiempo se presenta una consolidación y un continuo uso de las técnicas y materiales en los siguientes siglos.

En los siglos XVII y XVIII la tapia pisada se convierte en el material más común siendo utilizado en distintas edificaciones como son los muros de iglesias, casas y haciendas. Estas a su vez presentaban una variación compuesta de adobe y tapia mediante la colocación alternada de un tramo de uno y de la otra. Para las edificaciones domésticas se usaban materiales de menor costo y, para las arquitecturas civiles y religiosas la tierra, se emplea combinada con la piedra y el ladrillo. [27, p. 1] técnica que se mantiene en el siglo XX en algunos de los departamentos del valle del Cauca y Cauca. Para edificaciones con más importancia se desarrolló otro tipo de mampostería, en la cual consiste en levantar muros con mayor espesor que tiene en su interior un relleno de tierra compacta y cada lado del muro conformado por ladrillo o piedra.

A fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX se redescubre el bahareque lo que conlleva a que la arquitectura del bahareque viva un periodo de esplendor en los que se elaboraron edificaciones de varios pisos. Ya lo dice J. E. Robledo: se “descubrió” el bahareque cuando los temblores destruían las casas construidas con tapia pisada (Robledo y Prieto, 1999). Lo que

permitió que el desarrollo de esta cultura constructiva se mantenga en el siglo XX y en el siglo XXI con nuevas formas técnicas para su mejoramiento.

**3.43. Procesos y culturas constructivas.** La arquitectura de tierra en Colombia ostenta especial importancia en los centros culturales y obras de arquitectura monumental construidas con esta técnica por su gran desarrollo específico y su profundo significado contextual que representa para el país. A lo largo de los años las culturas constructivas tradicionales han desarrollado variantes regionales las cuales han venido evolucionando para generar unas excelentes apropiaciones locales que son componentes fundamentales en el desarrollo de las arquitecturas regionales. Una parte de la expresión particular de la arquitectura colombiana se mantiene “viva” en la arquitectura de tierra autóctona regional. [27, p. 3]

En la actualidad las técnicas de construcción con tierra en colombiana se han venido transformando y evolucionando de acuerdo con ciertas condiciones locales, dando una expresión particular y característica de la arquitectura colombiana. Por ejemplo, en los altiplanos el predominio tecnológico estuvo en el adobe y la tapia pisada; en la zona indígena con la influencia de los guámbianos<sup>7</sup> se implementaba el uso del adobe sin llevar fibras vegetales; en el altiplano de los Santanderes la utilización de la tapia pisada, igual que en el macizo antioqueño y a lo largo de las riberas de los ríos Magdalena y Cauca se desarrolla el bahareque. Estos materiales acabaron en desuso por estigmas sociales como lo afirma Rivero Bolaños “Los materiales locales, las técnicas

---

<sup>7</sup> Guámbianos son un pueblo americano que habita en el sur de Colombia en el departamento del Cauca. Su Resguardo Mayor está en el municipio de Silvia y habitan también en otros lugares cercanos, en la vertiente occidental de la Cordillera Central de los Andes colombianos. [45]

de bahareque, tapia pisada y adobe entraron en desuso no porque desde la ciencia o la academia se demostrara su ineficiencia, sino porque al no estar enmarcadas dentro del sistema fueron asociadas con la pobreza y el atraso” [28, p. 1]

**3.4.4. El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia.** Hasta comienzos del siglo XX en Colombia los desarrollos habitacionales se elaboraron mediante el bahareque de origen precolombino adoptado por obreros, campesinos y pobladores de escasos recursos económicos como sistemas de edificación para sus vivienda elaboradas con materiales locales y métodos artesanales, mientras que el adobe, la tapia pisada, la mampostería de ladrillo y la de piedra sentadas en mortero de cal fueron utilizados en la construcción de viviendas de terratenientes, edificios de importancia civil e iglesias. Entre el periodo de 1920 y 1940 Colombia emprende un cambio que la dirige hacia modernidad pasando de ser una nación rural a una en plena urbanización que acarreó consigo nuevos paradigmas de progreso en el desarrollo urbano y habitacional donde se encontraban el cemento y el acero. Estos materiales provenientes de procesos industriales se insertaron fácilmente y de manera rotunda en una sociedad en transformación gracias a que hacían parte de un sistema conformado por el mercado, la academia, la ciencia y las políticas públicas. [28, p. 1]

Como indica Santiago Bolaños “Nunca nadie ha demostrado que la tierra como material de construcción no sirve o que sus sistemas constructivos son inseguros. Simplemente entraron en desuso por asumir el paradigma de la sociedad moderna.” [28, p. 1] con la implementación del cemento, el acero y demás materiales de procesos industriales que responden de manera más eficiente a la solución de problemas habitacionales en contextos urbanos como la eficacia y economía en la construcción de viviendas. El único material que ofrecía esos beneficios lo era el cemento.

### 3.5. Estado Del Arte

K. Díaz & J. Ríos [4] analizaron y determinaron mediante la aplicación de cargas dinámicas los comportamientos físicos y mecánicos de los distintos materiales empleados en la construcción de estructuras de tapia pisada definiendo así dos alternativas de rehabilitación en modelos de edificación típica en donde concluyen que las edificaciones de adobe y tapia pisada poseen una baja resistencia a la tracción, poca restricción en los extremos superiores de los muros y una pérdida de elementos de cubierta.

García Ubaque, García Vaca y Vaca Bohórquez [29]. analizaron las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y absorción de humedad de ladrillos fabricados con mezclas de arcilla y lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante el procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 4017 correspondiente al volumen de agua recogida por una unidad, durante la inmersión a condiciones prescritas en relación con el peso seco inicial de la misma y con la resistencia mínima a la compresión de acuerdo con la NTC; estos estudios concluyeron que la adición de lodos, en fracciones menores a 10 % en peso a la arcilla utilizada en el proceso ladrillero, no reduce la resistencia mecánica de los ladrillos fabricados en estas condiciones. En los porcentajes de mezcla 95-5 y 90-10, se presenta un ligero aumento en la resistencia a la compresión, mientras que en la proporción 80-20 este aumento es menor, y en la proporción 60-40 la resistencia se reduce significativamente incluso por debajo del nivel mínimo establecido por la norma.

Piscal Arévalo, Afanador García y Medina [30] determinaron la función de probabilidad de la resistencia a la compresión mediante ensayos en las unidades de ladrillos macizos de arcilla con el propósito de detectar y estimar la probabilidad de falla a esfuerzos de trabajo ante los requerimientos sísmicos de la NTC 4017 para los ladrillos producidos en la ciudad en donde se

evidencian los procesos de selección y preparación de la muestra, además de un proceso de modelación matemático que permite observar el estado de esfuerzos en compresión al que está expuesto el ladrillo; concluyendo que la resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla cocidos fabricados de forma manual en Ocaña son insuficientes para ser usados en edificaciones incumpliendo con exigencias a nivel nacional (NTC2000) al contar con una resistencia a la compresión promedio de un 17.11 % del valor esperado para 5 unidades.

Roux Gutiérrez y Olivares Santiago [31] presentaron el refuerzo de los ladrillos de adobe con distintos porcentajes de fibra de coco y adición de cemento portland al 6%. desarrollando así un plan experimental en muestras de muros con diferentes clases de ladrillos y distintas uniones y orientaciones para analizar su comportamiento frente a las condiciones climáticas de la región, concluyendo que, a través de pruebas físicas a la fibra de coco, se puede confirmar que esta presenta buenas características para ser utilizada como material de refuerzo en ladrillos de adobe y que su adición idónea de fibra de coco debe ser del 1%. Presenta mejores características que las demás poblaciones, excepto en su permeabilidad, que es mayor

Innocent Kafodyaa, F. Okontaa y Panos Kloukinasc [32] estudiaron las propiedades mecánicas para la construcción de mampostería de adobe reforzado con fibras de sisal para el diseño de infraestructura resistente y sostenible de bajo costo. El estudio se llevó a cabo a partir de unas series de pruebas de laboratorio donde se determinó la resistencia al corte la resistencia a la tracción a la tracción y la resistencia a la compresión de los elementos de mampostería. El desempeño estructural de la mampostería se evaluó mediante compresión uniaxial y pruebas de corte de compresión diagonal en carteras y paneles de pared. Se realizó un análisis elástico lineal de elementos finitos para evaluar la condición del estado de tensión de los paneles de pared reforzados y no reforzados cargados. Pruebas que concluyeron en un aumento en significativo en

los diferentes ensayos tales como el incremento de un 31% de la resistencia a la tracción y un 25% a la resistencia a la compresión.

T. Li Piani, J. Weerheijm, M. Peroni, L. Koene, D. Krabbenborg, G. Solomos y L.J. Sluys [33] llevaron un estudio experimental y numérico dirigido a evaluar el rendimiento del material de los ladrillos de adobe tradicionales en compresión para una amplia gama de tasas de deformación inducida, desde estática hasta impacto de alta velocidad. Probaron dos tipos de ladrillos con la misma composición mineralógica, pero con diferente presencia en contenido orgánico, donde las pruebas revelaron que la tasa de resistencia aumenta más en el adobe completamente seco al aire y en mezclas que no contienen fibras. Esto se interpreta como que el agua induce un fenómeno viscoso Inter capilar que fortalece los enlaces entre partículas en la matriz proporcionalmente a la velocidad de carga.

#### **4. Método**

La metodología para llevar a cabo el cumplimiento y desarrollo de los objetivos propuestos será la siguiente. Ver figura 2:

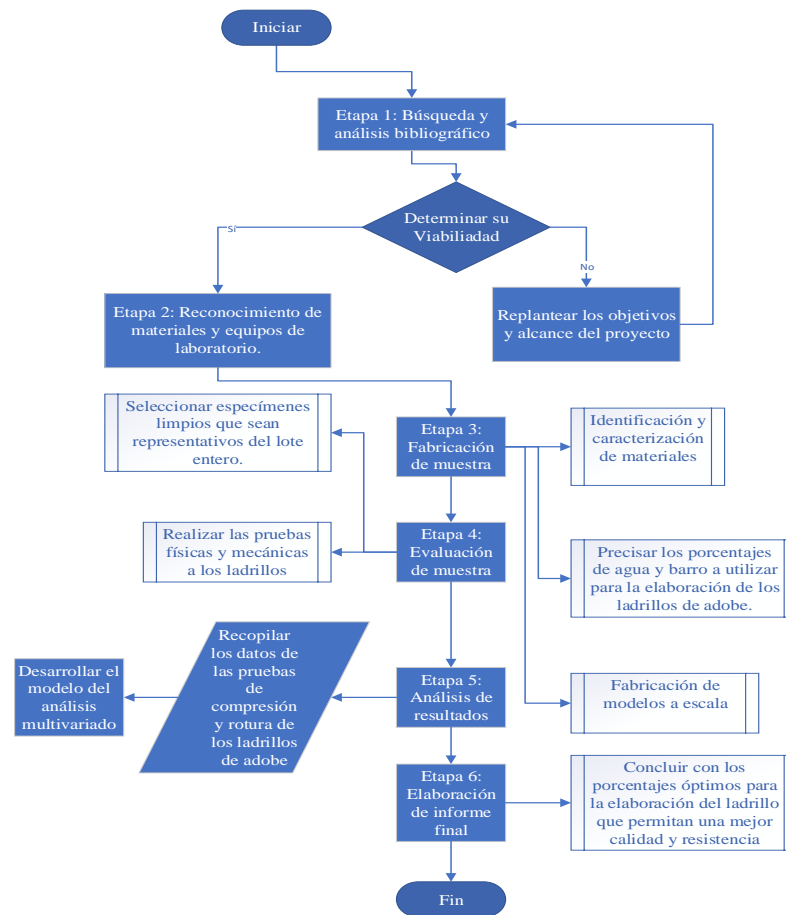


Figura 2 Diagrama de flujo para la metodología, Adaptado de José Manuel Pabón.

#### 4.1. Etapa 1: Búsqueda y análisis bibliográfico

En esta etapa se realizó una consulta y revisión de las diversas fuentes bibliográficas tales como: artículos, revistas científicas, libros, normas técnicas, decretos, leyes, y trabajos de grados, con el fin de establecer el marco referencial. Así mismo se construyó el estado del arte a partir de publicaciones de diferentes avances científicos que fueron usados para la interpretación y análisis de resultados.

#### 4.2. Etapa 2: Reconocimiento de materiales y equipos de laboratorio.

Se reconocieron los materiales y equipos necesarios para la fabricación, caracterización y estudios de los ensayos de compresión del material a escala en el Laboratorios de Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. Los materiales y equipos usados fueron los siguientes. Ver figura 3.



a. Arcilla recolectada



b. Tamo de arroz



c. Picnómetro.



d. Balanza digital.



e. Prensa hidráulica.



f. Vasija de evaporación de porcelana.



g. Horno de temperatura uniforme.



h. Barril de tamices.



i. Martillo de operación manual.



j. Molde de acero con collar de extensión.



k. Cazuela de bronce.

*Figura 3* Reconocimiento de los materiales y equipos. Adaptado de José Manuel Pabón.

### 4.3. Etapa 3: Fabricación de muestras

En esta etapa se llevarán a cabo las siguientes actividades:

Actividad 1: Identificación y caracterización de materiales: Durante esta etapa se llevó a cabo los estudios de Granulometría según la norma del instituto de vías (INVE) 123 para

determinar la composición del material y su humedad, Límites de Atterberg según el INVE 125-126 para definir el índice de plasticidad y la clasificación del material y Ensayos de Compactación INVE 142 para hallar humedad óptima y densidad máxima para el material arcilloso correspondiente; Estudios de Gravedades Específicas y Peso Unitario para el agregado fino (arena) correspondientes a las normas NTC 92 y NTC 237. A continuación, se describen los procesos:

**4.3.1. Granulometría.** Para el ensayo de granulometría se utilizó el material tal como se obtuvo de su lugar de recolección, luego en el laboratorio de caracterización fue secado a temperatura ambiente a través de un ventilador; del material seco se tomó una muestra de 900 gramos con la que se realizó la separación de los finos mediante un lavado manual; después de estar totalmente lavado el material éste fue llevado al horno donde se dejó secar alrededor de dos horas para luego ser pesado nuevamente. Con este procedimiento se halló el porcentaje de humedad higroscópica<sup>8</sup> del material. Ver Figura 4.



a. Secado del material a la intemperie.



b. 900 gramos del material inicial.

---

<sup>8</sup> La humedad higroscópica se considera como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. [39]



c. Muestra lavada para separación de finos.



d. Muestra seca en el horno.

*Figura 4* Prueba Granulométrica. Adaptado de José Manuel Pabón.

Luego de haberse hallado la humedad del material, con la porción de muestra seca se realizó la prueba de tamizado por medio de un barril de tamiz con 8 tamices de distintas aperturas en milímetros encajados uno sobre el otro que filtran las partículas del material de mayor a menos grosor.

El procedimiento de tamizado es realizado insertando la muestra en el primer tamiz del barril, donde en seguida se realizaron movimientos circulares permitiendo que las partículas pasen de un tamiz a otro, seguidamente se levantó tamiz por tamiz y se pesó los residuos retenidos del material encontrados dentro de las mallas, las cuales nos permiten detectar la composición del material utilizado.

**4.3.2. Límites de Atterberg.** Para los límites de Atterberg se realizan dos pruebas correspondientes al límite plástico y límite líquido.

Límite plástico: se tomó una muestra de 20 gramos del material inicial seco a la intemperie para luego ser pasado por un tamiz #40 donde se filtraron las partículas de mayor grosor, posteriormente se amasó el material de forma elipsoides con 2 mililitros de agua, luego, se pasó el

material sobre una superficie lisa y se ejerció una presión sobre el para formar cilindros de un diámetro aproximado de 3.2mm (1/8"). Ver figura 5.



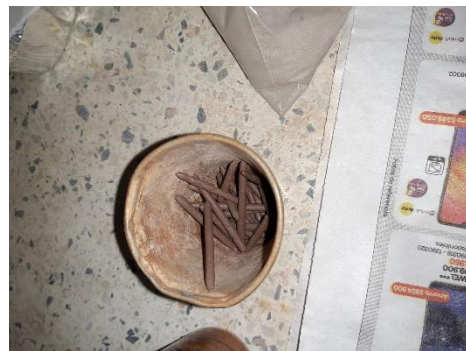
a. 20 gramos del material inicial.



b. Tamiz #40.



c. Material amasado.



d. Cilindros aprox. 3mm.



e. Material seco.

*Figura 5* Ensayo para límite plástico. Adaptado de José Manuel Pabón.

**Límite Líquido:** Se tomó una muestra de 100 gramos del material original seco a la intemperie para ser tamizado luego por un tamiz #40 y amasado en una vasija de evaporación con 15 mililitros de agua destilada, seguidamente se colocó el material en la cazuela de bronce donde se realiza una división con el ranurador a lo largo del diámetro, a continuación, se procedió a girar la manija generando entre 30-35 golpes a la cápsula, cuando el material cierre, se retira la parte en donde se unió para luego ser pesada y puesta al horno. Repitiéndose este proceso 3 veces más y con 2 mililitros de agua destilada extra entre cada proceso. Ver figura 6.



a. Material a la intemperie.



b. Filtrado de partículas a través del tamiz #40.



c. Amasado en vasija de evaporación.



d. Cazuela de bronce.



e. Material que se unió para ser pesado y secado.

*Figura 6* Ensayo de Límite Líquido. Adaptado de José Manuel Pabón

**4.3.3. Ensayo de compactación.** Para este ensayo se tomó una cantidad de 3 kilogramos del material principal expuesto a la intemperie y se tamizó sobre un tamiz #4 descartando el material grueso retenido en la malla del tamiz, luego se insertó el material en el molde de 10 cm de diámetro a través de 3 capas aproximadamente iguales con 25 golpes entre cada una de ellas mediante un martillo de operación manual hasta llegar al ras del molde, después de la compactación se retiró el collar de extensión y se enrasó cuidadosamente la parte superior que sobresale de este para luego ser pesado y determinar su peso húmedo; de los residuos del material sobresaliente del molde se tomó dos muestras las cuales fueron puestas en taras distintas para luego ser pesadas y llevadas al horno a una temperatura de 110° Celsius durante 12 horas para determinar su contenido de agua. Se repitió este proceso 3 veces más aumentando la humedad del suelo entre 1 o 2 puntos de porcentaje respecto al agua entre cada procedimiento.

**4.3.4. Gravedades específicas.** La prueba inicia con la selección de 500 gramos del material árido de estudio que es envasado dentro de un picnómetro el cual es saturado con agua destilada hasta llegar a su marca de aforo. Se gira el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire, si se presentan una espuma en la parte superior de material saturado esta es retirada con la

punta de un papel absorbiendo dichas impurezas, luego se pesa el material para posteriormente ser llevado al horno para ser secado y volverse a pesar. Ver figura 7.



a. Peso picnómetro + Agua.



b. Muestra en condición saturado superficial en seco en el aire.



c. Peso de la muestra+ picnómetro hasta la marca, en el aire.



d. Muestra secada al horno.

*Figura 7* Prueba de Gravedades Específicas. Adaptado de José Manuel Pabón.

**4.3.5. Peso unitario.** Para la prueba de peso unitario primero se tuvo que llevar acabo la calibración del medidor por medio de su peso más el de un vidrio, luego el molde pasó a ser llenado con agua y nuevamente pesado con el vidrio para hacia calibrar y determinar su volumen para las pruebas.

Para la prueba de agregado en condición saturada y seca superficialmente (S.S.S.)<sup>9</sup> se llenó el molde anteriormente pesado y calibrado hasta su altura máxima permitiendo que el material rebose para luego ser enrasada evitando compactar el material dentro del molde, posterior a esto se lleva el material para ser pesado.

Para la determinar el peso del material S.S.S compacto se volvió a tomar el molde vacío y se llenó a través de 3 capas aproximadamente iguales del material compactándolo con 25 golpes entre cada capa con una varilla de apisonamiento<sup>10</sup> sin que en la primera capa la varilla toque el fondo del molde, posteriormente este es llevado a la balanza para ser pesado. Ver figura 8.



a. Peso medidor + vidrio.



b. Calibración del molde con agua.

---

<sup>9</sup> Es la relación entre el peso en el aire del volumen de la porción impermeable del agregado a una determinada temperatura y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura. [46]

<sup>10</sup> Una varilla de acero lisa, redonda y recta de 16 mm de diámetro y de 600 mm de longitud aproximadamente, con uno de sus extremos redondeado en la punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla [38]



c. Material S.S.S suelto.



d. Material S.S.S compactado.

*Figura 8* Ensayo de peso unitario. Adaptado de José Manuel Pabón

Actividad 2: Diseño experimental: Se elaboró un diseño de experimentos para determinar y evidenciar como los factores (arena, tamo de arroz y días), variables controladas (agua, arcilla y temperatura) y la variable de respuesta (resistencia a la compresión) afectan a los ladrillos de adobe y su aceptación o no a la hipótesis nula. Además, se plantearon las dosificaciones necesarias para la fabricación de los ladrillos en las que realizaron tres distintas clases de ladrillos con diferentes proporciones de arena correspondientes a 4, 8 y 16 kg. De cada clase se elaboraron tres subclases con distinta cantidad de tamo de arroz correspondiente a 0.02, 0.08 y .013 Kg de tamo de arroz con los que se elaboraron la población total de ladrillos a una temperatura ambiente promedio de 25 grados Celsius correspondiente al municipio de Girón, Santander.

Actividad 3: Fabricación: Se fabricaron 54 ladrillos de adobe con una cantidad de 120 kg de arcilla debidamente picada y 36 kg de agua los cuales fueron saturados por un lapso de tiempo de 24 horas. Al pasar las 24 horas el material fue amasado manualmente hasta que este tuviera una buena plasticidad, seguidamente se tomaron tres cantidades iguales de todo el material y se le añadió a cada una de ellas la correspondiente cantidad de arena y tamo de arroz. Al estar listo el material arcilloso con sus agregados (tamo y arena) este es llevado a una gaveta (molde) prefabricada en acero con dimensiones estándar para ladrillos convencionales de 24 cm de largo

por 12 cm de alto donde se introdujo sobre hasta llenar la gaveta, el exceso de material se quitó mediante una regleta que se pasó por encima del molde del ladrillo donde se fabricó el material a escala. El proceso de fabricación terminó luego de que los ladrillo obtuvieran un tiempo de secado de 15 y 30 días. Ver figura 9.



a. Arcilla recolectada.



b. Material saturado con 36 kg de agua.



c. Arcilla amasada después de 24 horas.



d. Agregado de tamo de arroz.



e. Elaboración y moldado del ladrillo.



f. Ladrillos totalmente terminados y en proceso de secado.

*Figura 9* Fabricación de ladrillos de adobe. Adaptado de José Manuel Pabón

#### 4.4. Etapa 4: Evaluación de muestras

Durante esta etapa se realizaron los ensayos de compresión según lo establecido en la norma NTC 4026 para unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural. Las muestras de ladrillos de adobe secos con distinta dosificación de tamo de arroz y arena en periodos de tiempos de 15 y 30 días posterior a su fabricación se evaluaron mediante la aplicación de una carga axial de compresión a lo largo del área del ladrillo hasta que este presentara los primeros signos de rotura como grietas profundas en el material. Igualmente se realizaron los ensayos de compresión con carga axial para los ladrillos convencionales (Temosa) hasta presentar los signos correspondientes de rotura con grietas profundas.



a. Muestras secas.



b. Prueba de compresión.



c. Rotura del material.

*Figura 10* Ensayos de compresión. Adaptado de José Manuel Pabón.

#### 4.5. Etapa 5: Análisis de resultados.

Durante esta etapa se recopilaron y analizaron los resultados del objeto de estudio con apoyo de herramientas tecnológicas como Statgraphics Centurión XVI y Excel. Además, se llevó a cabo comparaciones con investigaciones previas posibilitando una mejor y clara comprensión de los resultados obtenidos que fueron objeto de estudio. Con lo que se llevó el planteamiento de la hipótesis de la investigación presentada en la ecuación 2 en la que recae en el comportamiento de los factores del tiempo, arena y tamo de arroz sobre la resistencia de la compresión.

*Ecuación 2*

$$H_0: \mu_0 = \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_0 \neq \mu_{10} = \mu_{15} = \mu_{20}$$

Donde:

$H_0$ : Todas las proporciones son iguales

$H_1$ : Al menos una proporción es diferente

#### 4.6. Etapa 6: Elaboración de informe final.

Se desarrolla la entrega final del documento con los datos de investigación y conclusiones.

### 5. Resultados y Discusión

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante la investigación, concernientes al estudio de la composición y estructura del adobe a través de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación, gravedades específicas, y peso unitario. También se obtuvieron los resultados de las propiedades mecánicas del material a escala mediante el ensayo de resistencia a la compresión. Los resultados de las distintas pruebas son:

### 5.1. Granulometría

Con el fin de determinar los tamaños de las partículas de suelo se llevó a cabo la prueba de granulometría donde se determinó el porcentaje de humedad higroscópica del agregado y su composición respecto a gravas, arenas y finos.

Humedad higroscópica:

*Ecuación 3*

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = \frac{w - w_1}{w_1} * 100$$

Donde:

$w$  = Peso de suelo secado al aire

$w_1$  = Peso de suelo secado en el horno

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = \frac{900 - 784.1}{784.1} * 100$$

$$\% \text{ Humedad higroscópica} = 14.78\%$$

El resultado de humedad higroscópica indico que el material posee mayor cantidad de contenido de agua en las partículas del suelo cuando este es secado al aire debido a que se presenta un equilibrio con el vapor de agua atmosférico, además muestra el porcentaje de agua que entra en los poros del suelo que corresponde a un 15% del material total.

Composición del material:

Corresponde a los porcentajes de agregados de gravas, arenas y finos que hacen parte del material de estudio. Los resultados obtenidos fueron los siguientes Ver tabla 1. Donde las gravas corresponden a la sumatorias de los porcentajes retenidos parciales de las mallas 3/8" y No 4, las arenas corresponden a la sumatoria de los porcentajes retenidos parciales desde la malla No10

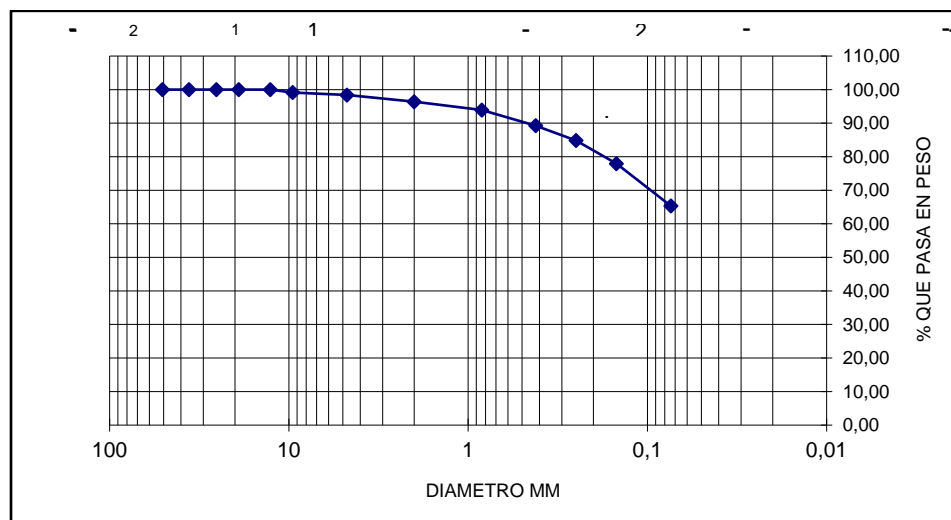
hasta la malla No200 y por ultimo los finos que corresponden al porcentaje que pasa por la malla N° 200

Tabla 1 *Resultados de composición del material.*

MATERIAL	CANTIDAD (%)
GRAVAS	1.60
ARENAS	33.07
FINOS	65.33

Nota. Corresponde a los porcentajes de la composición del suelo en estudio mediante el sistema de clasificación de suelos, adaptado de José Manuel Pabón.

En la Figura 11 se presenta los siguientes resultados del ensayo de granulometría donde se observó un comportamiento proporcional respecto al diámetro de la malla, en donde a mayor diámetro mayor es la cantidad de material que pasa formando así una tendencia creciente.



comportamiento del material arcilloso presentó un comportamiento similar respecto a las pruebas granulométricas y de límites de Atterberg que se llevaron a cabo en este estudio.

## 5.2. Límites de Atterberg

Los límites plásticos y líquidos se calcularon a través del peso del agua de la muestra y su suelo seco en el horno. Véase ecuación 3 y 4. Para el índice de plasticidad se calculó el promedio total del contenido de agua en los límites plásticos y líquidos y se restaron como indican la ecuación 5.

*Ecuación 4*

$$\text{Limite plastico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

$$\text{Limite plastico} = \frac{1}{6.6} \times 100$$

$$\text{Limite plastico} = 15.15\%$$

*Ecuación 5*

$$\text{Limite liquido} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en el horno}} \times 100$$

$$\text{Limite plastico} = \frac{2.5}{11.2} \times 100$$

$$\text{Limite plastico} = 22.32\%$$

*Ecuación 6*

$$\text{Indice de plasticidad} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

$$\text{Indice de plasticidad} = 26\% - 15\%$$

$$\text{Indice de plasticidad} = 11\%$$

Con lo correspondiente a estas pruebas se obtuvo la clasificación del suelo perteneciente a un material CL (arcilla inorgánica de baja a media plasticidad) al evidenciarse que su límite líquido es menor al 50 % y su índice de plasticidad mayor al 7%.

### 5.3. Gravedades específicas y peso unitario

De acuerdo con calcular los vacíos entre las partículas y su densidad en agregados finos se llevó a cabo los estudios de gravedades específicas y peso unitario que permitieran la obtención del porcentaje de absorción y de vacíos como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2 *Gravedades específicas y peso unitario.*

GRAVEDADES ESPECIFICAS		GRAVEDADES ESPECIFICAS				
	A FINO		A FINO			
<b>REAL</b>	2,737	Peso unitario suelto	1318,10 Kg/m <sup>3</sup>			
<b>APARENTE</b>	2,481	Peso unitario compacto	1471,48 Kg/m <sup>3</sup>			
<b>APARENTE SSS</b>	2,545	Absorción %	5%			
		Porcentaje de vacío	42%			
<b>MATERIA ORGANICA FINO # 1</b>		NORMAS N T C - 77 - 127 - 92 - 237				
A. FINO			% Retenido acumulado	% Que pasa		
		Tamiz	Peso retenido	% Retenido		
		4	0,6	0,06	0,06	99,94
		8	111,3	11,13	11,19	88,81
		16	201,3	20,13	31,32	68,68
		30	248,8	24,88	56,20	43,80
		50	276,2	27,62	83,82	16,18
		100	116,6	11,66	95,48	4,52
		FONDO	41,7	4,17	100	0,35
		TOTAL	996,5	100		
	Peso muestra				1000gr	

Nota. En la tabla se expone las cantidades retenidas en los diferentes tamices, además los valores necesarios correspondientes a las gravedades específicas, adaptado de José Manuel Pabón.

Estos datos permitieron concluir que el tipo de material corresponde a una arena limosa al obtener una gravedad específica real entre los valores de 2,67-2,70, además se observó que el material posee un gran espacio entre sus partículas y un bajo nivel de absorción.

#### **5.4. Prueba de compresión**

Se obtuvieron los resultados de las pruebas a la resistencia a la compresión para los días 15 y 30 posteriores a la fabricación del ladrillo realizándosele tres estudios multivariados, el primero correspondiente al análisis del rendimiento del ladrillo en los días 15 y 30, el segundo únicamente en el día 30 determinando la importancia de los factores en la variable dependiente y por último el análisis del ladrillo de adobe óptimo vs el ladrillo de temosa.

**5.6.1. Análisis multivariado para los días 15 y 30.** Se observó mediante el análisis de varianza. Ver tabla 2. que dos factores tratamientos<sup>11</sup> (A: Tiempo y B: Arena) son significativos para la variable de respuesta (Resistencia a la compresión) con un Valor-P cada uno del 0.0 de error aleatorio, mientras que el factor C (Tamaño de arroz) se determinó como insustancial y no significativo al mostrar un Valor-P mayor al  $\alpha$  del 5%.

---

<sup>11</sup> Son aquellas fuentes cuyo efecto sobre la respuesta es de particular interés para el experimentador

Tabla 3 *Análisis de Varianza para F'c*

Fuente	Suma de Cuadrados	de G. l	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Tiempo	44,9105	1	44,9105	702,49	0,0000
B: Arena	2,38136	1	2,38136	37,25	0,0000
C: Tamo de arroz	0,0389404	1	0,0389404	0,61	0,4392
AB	0,00378225	1	0,00378225	0,06	0,8089
AC	0,001156	1	0,001156	0,02	0,8936
BB	0,613364	1	0,613364	9,59	0,0034
BC	0,093875	1	0,093875	1,47	0,2319
CC	0,396033	1	0,396033	6,19	0,0166
Error total	2,87687	45	0,0639304		
Total (corr.)	51,3159	53			

Nota. Tabla diseñada en Statgraphics Centurión XVI, adaptado de José Manuel Pabón.

R-cuadrada = 94,3938 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,3972 porciento

Error estándar del est. = 0,252845

Error absoluto medio = 0,173147

Estadístico Durbin-Watson = 1,90327 (P=0,3602)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0462443

Los datos obtenidos de la tabla ANOVA (análisis de varianza) se ratificaron a través de un diagrama de Pareto evidenciado en la figura 12, donde se observó la importancia de los factores respecto a la variable dependiente mediante el nivel de significancia.

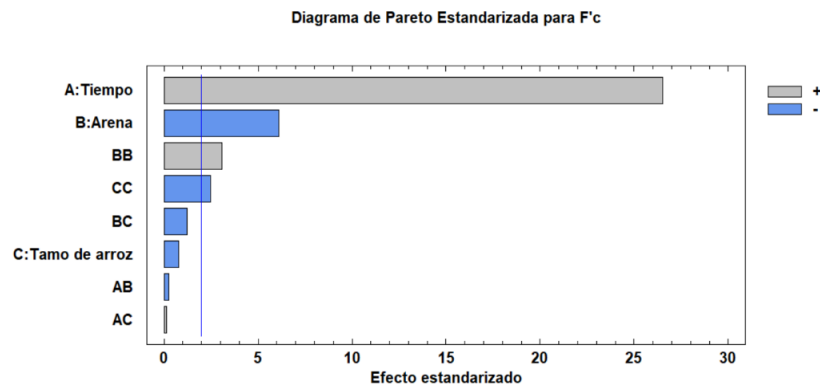


Figura 12 Diagrama de Pareto para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón.

La figura 13, no solo indico la relevancia del tiempo de secado en la fabricación del ladrillo y cómo este afecto de manera positiva su resistencia, sino que aclara de forma precisa la importancia de los demás factores y tratamientos como características esenciales de la variable de respuesta. Aunque factores como la arena mostraran una significancia importante su efecto en la resistencia a la compresión representa un valor negativo infiriendo que a mayor cantidad de arena disminuye la compresión del ladrillo.

Se realizó un gráfico de efectos principales. Ver figura 13, el cual determinó los comportamientos de los diversos factores en función de su variable dependiente.

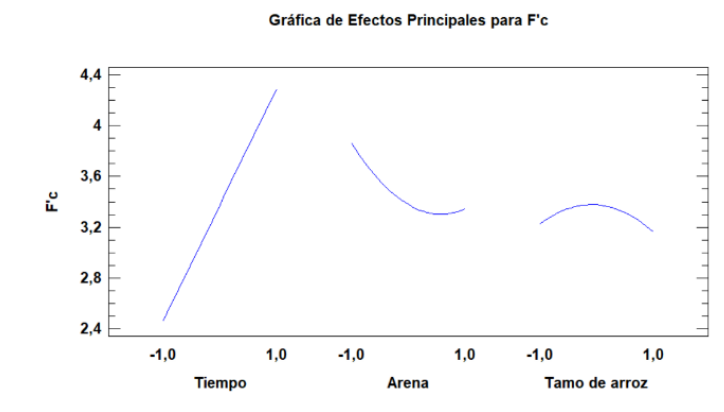
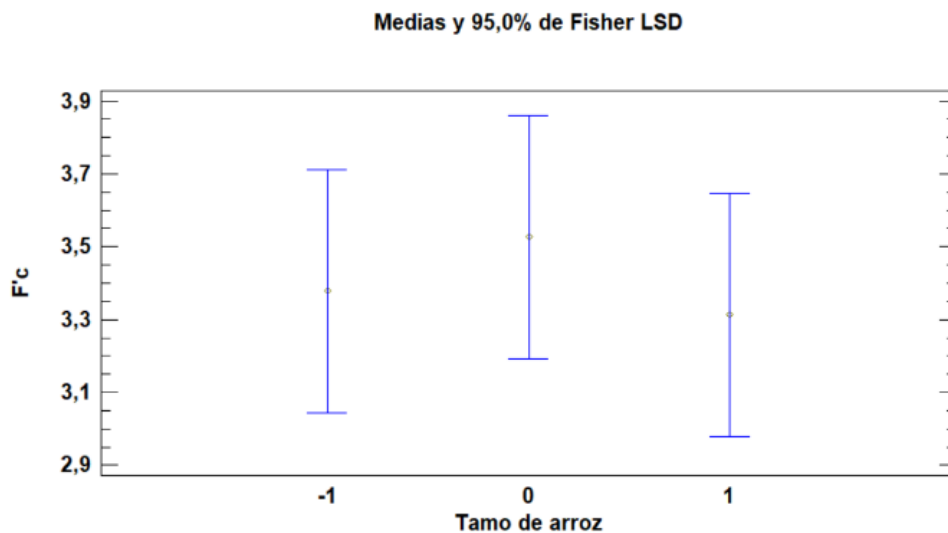


Figura 13 Grafico de efectos principales para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón.

Entre los comportamientos de los factores que se observaron en el gráfico de efectos principales se reafirmó que el tiempo a un periodo mayor de 15 días y la arena en una cantidad menor o igual a 4 Kg de adición manifestaron un aumento representativo en las propiedades mecánicas del ladrillo de adobe. Reforzando así los análisis previos planteados por el diagrama de Pareto. Asimismo, para el tratamiento tamo de arroz se realizó el método de Contraste de la Mínima Diferencia Significativa (Fisher LSD) con la finalidad de crear intervalos de confianza que permitiera la estimación puntual óptima del tratamiento. Mediante el gráfico de Fisher LSD en la figura 14 se demostró que el tamo de arroz presentó un mejor comportamiento frente a la resistencia a la compresión cuando este tuvo una cantidad de 0.08 Kg.



*Figura 14* Grafico de Fisher LSD. Adaptado de José Manuel Pabón.

A pesar de que, en la figura 14 se logró observar que los subgrupos 1 (0.13kg), 0 (0.08kg) y -1 (0.02kg) se traslaparon entre sí, no se puede asegurar que exista una significancia entre sus medias, por lo que se lleva a cabo la prueba de múltiples rangos para determinar y corroborar su relación. Ver tabla 4.

Tabla 4 *Tabla de valores para prueba de múltiples rangos.*

Valor	Significado
<b>1</b>	Cantidad de tamo de arroz correspondiente a 0.13 kg
<b>-1</b>	Cantidad de tamo de arroz correspondiente a 0.08 kg
<b>0</b>	Cantidad de tamo de arroz correspondiente a 0.02 kg

Nota. Los valores corresponden a las cantidades del tamo de arroz con que se elaboraron los ladrillos de adobe, adaptado de José Manuel Pabón.

Tabla 5 *Prueba de múltiples rangos para  $F'c$  por tamo de arroz.*

Tamo de arroz	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
<b>1</b>	18	3,31289	0,235427	X
<b>-1</b>	18	3,37867	0,235427	X
<b>0</b>	18	3,52744	0,235427	X

Nota. Tabla elabora en Statgraphics Centurión XVI y adaptado de José Manuel Pabón.

Según los datos obtenidos de la tabla 4 se constató mediante los grupos homogéneos que las medias de los subgrupos del factor tamo de arroz correspondientes a 1, 0 y -1 son constantes, por lo que los efectos del tratamiento siguen sin ser significativo para la resistencia a la compresión. Esto se interpretó mediante la posición de las “X” en los grupos homogéneos, donde una formación idéntica entre ellas representa una homogeneidad en las medias.

Por último, se llevó a cabo el planteamiento del modelo de regresión múltiple mediante la obtención de los coeficientes y estimados de la resistencia a la compresión determinado así su grado de dependencia el que a mayor grado mayor efectividad entre la variable respuesta y un conjunto de variables explicativas permitiendo el desarrollo de la fórmula de regresión múltiple. Ver ecuación 6.

*Ecuación 7 Regresión múltiple*

$$F'c = 3,37672 + 0,911963 * \text{Tiempo} - 0,257194 * \text{Arena} - 0,0328889$$

$$* \text{Tamo de arroz} - 0,01025 * \text{Tiempo} * \text{Arena} + 0,00566667 * \text{Tiempo}$$

$$* \text{Tamo de arroz} + 0,226083 * \text{Arena}^2 - 0,0625417 * \text{Arena}$$

$$* \text{Tamo de arroz} - 0,181667 * \text{Tamo de arroz}^2$$

Con base en los resultados obtenidos se determinó analizar los datos correspondientes al día 30 en los siguientes análisis multivariados, puesto que para el factor A al día 30 de secado, el ladrillo de adobe alcanzó su máximo valor de resistencia de la compresión.

**5.6.2. Análisis multivariado para el día 30.** Para el estudio del día 30 se realizó un análisis de varianza con el que se determinó la importancia entre los Factores A y B (A: Arena y B: Tamo), en el que solo A resultó significativo para la variable dependiente al haber obtenido un Valor- P del 0.0002 respecto al  $\alpha$  del 5% representado en la tabla 5 (ANOVA). Lo anterior indicó que al requerirse una acción correctiva en la composición del ladrillo esta se tendrá que llevar a cabo en la cantidad de arena y no en la de tamo de arroz. A su vez, se graficó un diagrama de Pareto (figura 15) en el que se permitió observar la significancia de los factores y su orden de prioridad en la variable dependiente.

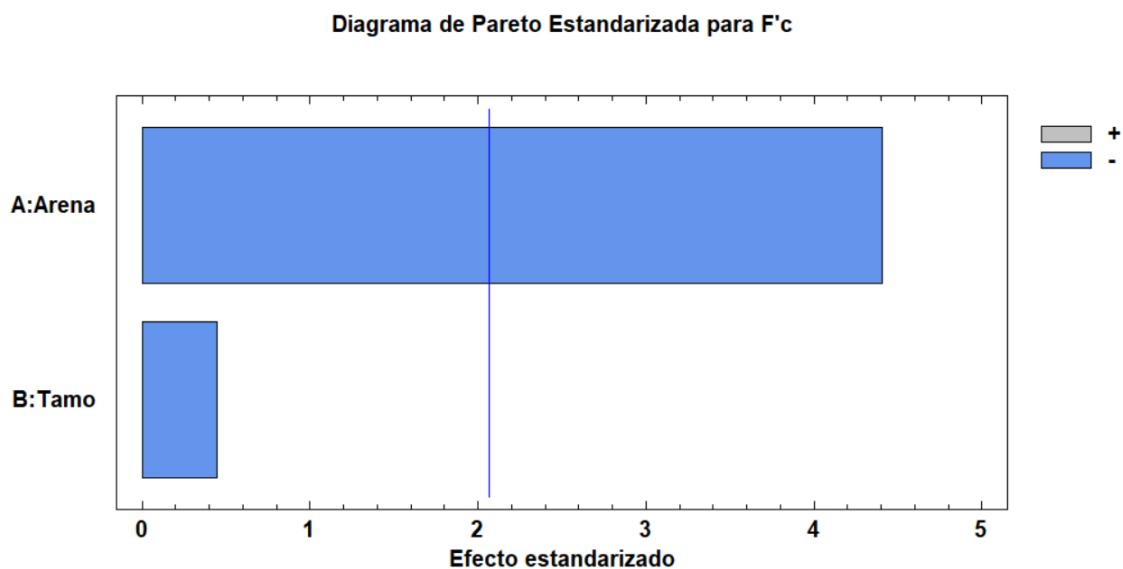
Tabla 6 *Análisis de varianza para F'c en el día 30*

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>G. l</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Arena	1,28748	1	1,28748	19,41	0,0002
B: Tamo	0,0133389	1	0,0133389	0,20	0,6579
Error total	1,59218	24	0,0663408		
Total (corr.)	2,893	26			

Nota. Tabla elaborada en Statgraphics Centurión XVI en donde se indica los niveles de significancia de las variables independientes, adaptado de José Manuel Pabón.

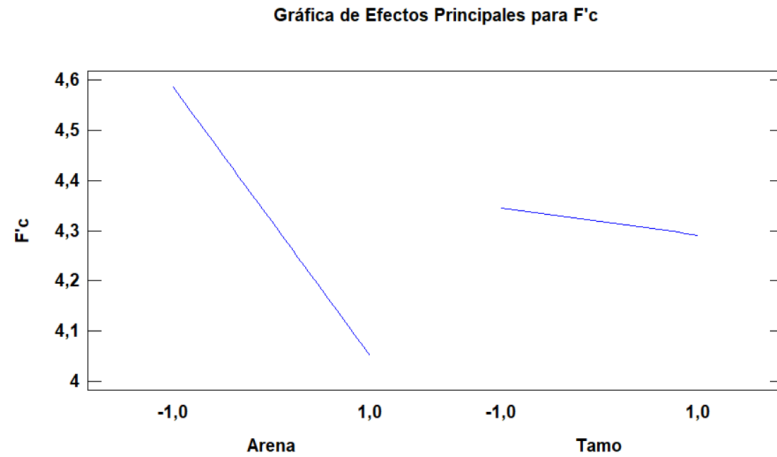
R-cuadrada = 44,9643 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 40,378 por ciento  
Error estándar del est. = 0,257567  
Error absoluto medio = 0,185844  
Estadístico Durbin-Watson = 1,98302 (P=0,4823)  
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,00747214

El diagrama de Pareto representado en la figura 15 corrobora la importancia del Factor A respecto a la variable dependiente, pero a su vez, se identifica que ninguno de los factores en relación a la resistencia a la compresión presenta una reacción positiva, indicando que se requieren medidas correctivas en las variables independientes.



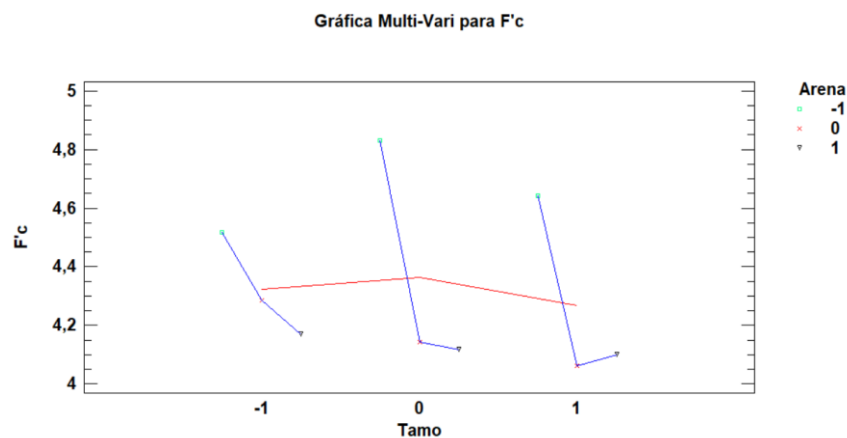
*Figura 15* Diagrama de Pareto para F'c en el día 30 con dos factores. Adaptado de José Manuel Pabón.

Con el propósito de entender el comportamiento que tuvo el ladrillo de adobe frente a la resistencia a la compresión se efectuó un gráfico de efectos principales (Figura 16) entre las dos variables (Arena y Tamo). En la figura 16 se observa que se presentó una evolución decreciente en los dos factores ratificando el uso medidas correctivas para mejorar la resistencia del ladrillo.



*Figura 16.* Gráfico efectos principales para F'c. Adaptado de José Manuel Pabón

Igualmente, a manera de sustentar el gráfico de efectos principales y dar una mejor interpretación al comportamiento de los distintos componentes respecto a la propiedad mecánica de salida (F'c) se desarrolló una gráfica Multi-Vari (Figura 17) con las dos variables independientes y sus respectivas sus clases observando una mejora cuando la arena se encontró en menor cantidad (-1) y el tamo de arroz en cantidades normales (0).



*Figura 17* Grafica Multi-vari para F'c en el día 30 con dos factores. Adaptado de José Manuel Pabón.

Por último, se obtuvo la tabla de coeficientes de regresión para la variable dependiente (resistencia a la compresión) expuesta en la tabla 6, con la que se planteó el modelo de la ecuación de regresión lineal (ecuación 7) con el objetivo de predecir valores de una variable a partir de sus características permitiendo un análisis de su comportamiento o estado.

Tabla 7 *Coef. de regresión para F'c.*

Coeficiente	Estimado
Constante	4,3183
A: Arena	-0,267444
B: Tamo	-0,0272222

Nota. Tabla elabora en Statgraphics Centurión XVI donde se observan los coeficientes de regresión necesarios para la ecuación de regresión lineal y adaptado de José Manuel Pabón.

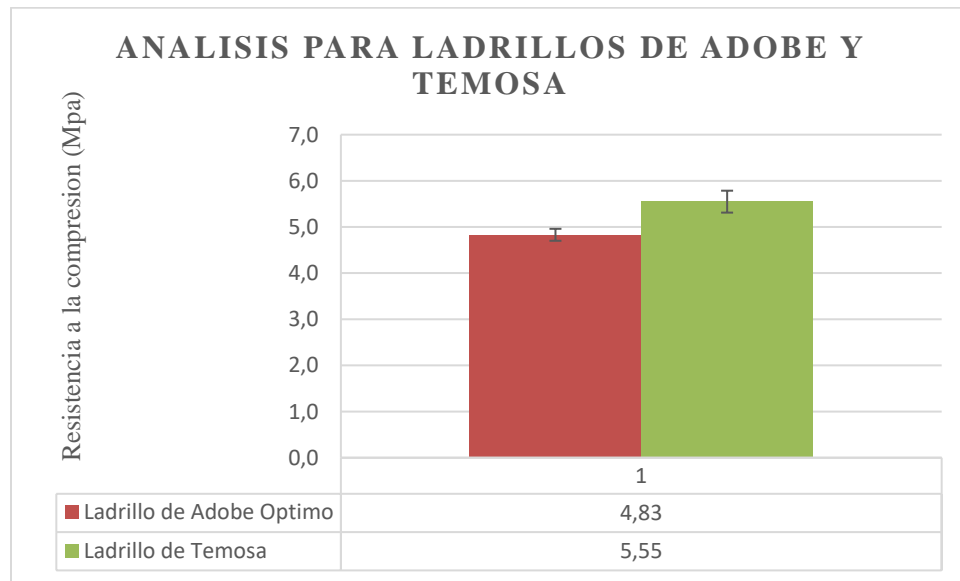
*Ecuación 8*

$$F'c = 4.3183 - 0.2674444 * Arena - 0.0272222 * Tamo$$

Con base en los resultados obtenidos se evidencio que ladrillos de adobe son idóneos para el desarrollo de un análisis estadístico contiguo con ladrillos convencionales con el fin de reconocer su comportamiento mecánico para determinar cuál presenta una mayor resistencia a la compresión.

**5.6.3. Análisis del ladrillo de adobe vs el ladrillo de temosa.** Con base en los resultados obtenidos y análisis multivariado, para el desarrollo de esta parte de la investigación se comparó la resistencia a la compresión del ladrillo de adobe del día 30 con el ladrillo comercial Temosa.

Con el fin de interpretar los datos obtenidos se elaboró un diagrama de barras, figura 17 donde se observó un dominio del ladrillo de temosas frente propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión.



*Figura 18* Análisis para ladrillos de adobe y temosa. Adaptado de José Manuel Pabón.

## 6. Conclusiones

Se definieron tres dosificaciones en las cantidades de agregado de arena y tamo de arroz para la elaboración del ladrillo de adobe que corresponde a los valores de 4, 8 y 16 kg para arena y 0.02, 0.08 y 0.13 Kg para de tamo de arroz.

Se concluye que adiciones mayores a 4 Kg de arena en la fabricación del ladrillo de adobe desarrollan en él una disminución considerable de la resistencia a la compresión, además se determinó que la adición de tamo de arroz no representa un cambio relevante en la resistencia del ladrillo.

De acuerdo con el análisis estadístico de los resultados obtenidos, la trascendencia del tiempo de secado en el ladrillo de adobe posterior a los 15 días de su fabricación contribuye de manera importante a mejorar su resistencia aumentando sus propiedades mecánicas al estar en un estado de mayor rigidez y compactación.

El estudio final entre los ladrillos de adobe y temosa demuestran que todavía el ladrillo artesanal (Adobe) carece de formas efectivas que mejoren sus propiedades mecánicas sin la necesidad de aditivos químicos, esto debido a que se evidencio una ineficiencia en la resistencia a la compresión con adiciones de compuestos orgánicos (tamo de arroz), no obstante el ladrillo de adobe presenta una ventaja tanto económica y ecológica frente a los ladrillos comerciales (Temosa) al presentarse incluso en el lugar de la obra reduciendo el costo del transporte del material.

Basado en los resultados obtenidos de las resistencias mecánicas se concluyó que el ladrillo de adobe elaborado con dosificaciones de 4,8 y 16 kg de arena y 0.02, 0.08 y 0.13 Kg de tambo de arroz no cumple con los requisitos mínimos para unidades de mampostería estructural establecido por las normas técnicas colombianas en su apartado 4026, no obstante, el ladrillo de adobe en estudio presento propiedades mecánicas que indicaron una aplicabilidad en unidades para mampostería no estructural como gramoquines, bardas y losetas de revestimientos para cubiertas planas que se contemplan en la norma NTC 4076.

## 7. Referencias Bibliográficas

- [1] H. Houben y h. Guillard, earth construction : a comprehensive guide, london: rugby, 1994.
- [2] I. Mohammad shariful y i. Kazuyoshi, «earthquake resistance of adobe reinforced by low cost traditional material,» *journal of nature disaster science*, vol. 32, pp. 1-21, 2010.
- [3] C. A. Cruz ramirez, l. F. Gomez ramirez y d. Uribe velez, «manejo biológico del tamo de arroz bajo diferentes relaciones c:n empleando co-inóculos microbianos y promotores de crecimiento vegetal,» *revista colombiana de biotecnología*, vol. Xix, pp. 47-62, 2017.
- [4] K. A. Diaz y l. J. Rios , *alternativas de rehabilitación de adobe y tapia pisada*, bogota: universidad de los andes, 2005.
- [5] D. Silveira, h. Varum, a. Costa, t. Martins, t. Pereira y j. Almeida, «construction and building materials,» *elsevier*, pp. 1-9, 2012.
- [6] J. C. Rivera torres, «el adobe y otros materialesde sistemas constructivos en tierra cruda:,» *apuntes 25*, vol. 2, pp. 164-181, 2012.
- [7] I. G. Pons, «la tierra como material de construccion,» san salvador, 2001.
- [8] U-Cursos, «U-Cursos,» [En línea]. Available: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/GL5201/1/material\\_docente/bajar?Id\\_material=396219](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/GL5201/1/material_docente/bajar?Id_material=396219). [Último acceso: 6 Marzo 2020].

- [9] J. Aldas manzano y e. Uriel jimenez, análisis multivariante aplicado con r, madrid: paraninfo, 2017.
- [10] Reglamento nacional de contruccion rnc, *norma minima de diseño y construccion de mamposteria*, managua, 2013.
- [11] N. Afanador garcía, g. Guerrero gómez y r. Monroy sepúlveda, «propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mamposterí,» *ciencia e ingeniería neogranadin*, vol. 22, pp. 43-58, 2012.
- [12] Instituto nacional de vías, *analisis granulometrico de suelos por tamizado e - 123*, bogota: invias.
- [13] Instituto nacional de vías, *determinacion del limite liquido e-125*, bogota: invias.
- [14] Instituto nacional de vías, *relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos (ensayo modificado de compactación) e-142*, bogota: invias.
- [15] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *especificaciones de los agregados para concreto*, bogotá: icontec, 2000.
- [16] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso*, bogotá: icontec, 1995.
- [17] Instituto colombiano de normas técnicas y certificació, *unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 1: mampostería estructural*, bogotá: icontec, 2009.

- [18] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 2: mampostería no estructural*, bogotá: icontec, 2009.
- [19] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Parte 3: mampostería de fachada*, bogotá: icontec, 2009.
- [20] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *ingeniería civil y arquitectura. unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto*, bogota: icontec, 1997.
- [21] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla*, bogota: icontec, 2005.
- [22] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *metrología. Sistema internacional de unidades*, bogota: icontec, 2004.
- [23] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, *etiquetas ambientales tipo 1. Sello ambiental colombiano (sac). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla*, bogota: icontec, 2013.
- [24] Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, *reglamento colombiano de construcción sismo resistente*, bogota: asociación colombiana de ingeniería sísmica, 2010.

- [25] F. Gatti, «arquitectura y construcción en tierra,» universidad politécnica de catalunya, barcelona, 2012.
- [26] J. Gama-castro, t. Cruz y cruz, t. Pi-puig, h. Cabadas báez, r. Alcalá martínez, c. Jasso castañeda, j. Díaz ortega, s. Sánchez perez, f. López aguilar y r. Vilanova de allende, «arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica,» agosto 2012. [en línea]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1405-33222012000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1405-33222012000200003).
- [27] C. E. Sánchez gama, «la arquitectura de tierra en colombia, procesos y culturas constructivas,» *apuntes*, vol. 20, p. 242, 2007.
- [28] S. Rivero bolaños, «el uso masivo de la tierra como material de construcción en colombia,» *apuntes*, vol. 20, pp. 354-363, 2007.
- [29] C. A. Garcia, m. C. Garcia y m. L. Vaca, «resistencia mecánica de ladrillos preparados,» *colciencias-inamco*, pp. 68-81, 2013.
- [30] C. Piscal arévalo, n. Afanador garcía y s. Medina, «resistencia a la compresión de ladrillos en el municipio de ocaña,» *ingenio*, pp. 12-17, 2011.
- [31] R. S. Roux gutiérrez y m. Olivares santiago, «utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en tampico,» *infontes de la construcción*, pp. 39-50, 2002.

- [32] I. Kafodya, f. Okonta y p. Kloukinasc, «role of fiber inclusion in adobe masonry construction,» *journal of building engineering*, vol. 26, n° 100905, noviembre 2019.
- [33] T. Li piani, j. Weerheijm, m. Peroni, l. Koene, d. Krabbenborg, g. Solomos y l. Sluys, «dynamic behaviour of adobe bricks in compression: the role of fibres,» *construction and building materials*, vol. 230, n° 117038, pp. 1-18, 2020.
- [34] A. C. Sole, instrumentación industrial, mexico: alfaomega, 2006.
- [35] A. Rezi and m. Allam,, «techniques in array processing by means of transformations,» de *control and dynamic systems vol. 69*, san diego, academic press, 1995, pp. 133-180.
- [36] E. P. Wigner, «theory of traveling wave optical laser,» *phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-a646, 2005.
- [37] L. L. A. H. Miao, «a specification based approach to testing polymorphic attributes,» de *formal methods and software engineering: proceedings of the 6th international conference on formal engineering methods, icfem 2004*, seattle, wa, usa,, november 8-12.
- [38] Instituto colombiano de normas tecnicas y certificacion , *determinacion de la masa unitario y los vacios entre particulas de agregados*, bogota: icontec, 1995.
- [39] Instituto nacional de vías, *analisis granulometrico de suelos por tamizado*, bogota.

- [40] Real Academia Española, «Diccionario de la lengua española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/higr%C3%b3filo>. [Último acceso: 27 Febrero 2020].
- [41] Economipedia, [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/homocedasticidad.html>. [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [42] R. Salamanca corre, «la tecnología de los morteros,» *ciencia e ingeniería neogranadina*, pp. 41-48, 2001.
- [43] Real academia español, [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/?Id=ziqidnx>. [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [44] A. Leônia de araujo, â. G. Chaves, r. Espíndola y t. Osório, «etnopedologia: uma abordagem das etnociências sobre as relações entre as,» *ciência rural*, pp. 854-860, 2013.
- [45] Wikipedia, «Misak,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Misak>. [Último acceso: 01 Marzo 2020].
- [46] Vías, instituto nacional de, «gravedad específica y absorción de agregados gruesos,» [en línea]. Available: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/facultades/fic/ingcivil/especificaciones\\_normas\\_inv-07/normas/norma%20inv%20e-223-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/facultades/fic/ingcivil/especificaciones_normas_inv-07/normas/norma%20inv%20e-223-07.pdf). [último acceso: 05 marzo 2020].
- [47] Wikipedia la enciclopedia libre, «wikipedia la enciclopedia libre,» [en línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/biomasa\\_lignocelul%C3%B3sica](https://es.wikipedia.org/wiki/biomasa_lignocelul%C3%B3sica). [último acceso: 16 marzo 2020].

