

Adobe Reforzado con Fibras de Coco, Cascarilla de Arroz, Paja, Ceniza Volante,
Arcilla Cocida y su Aplicación a la Construcción.

Leidy Paola Bautista Dávila

Universidad de Boyacá
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Arquitectura
Tunja
2022

Adobe Reforzado con Fibras de Coco, Cascarilla de Arroz, Paja, Ceniza Volante, Arcilla
Cocida y su Aplicación a la Construcción.

Leidy Paola Bautista Dávila

Trabajo de Grado para optar el título de
Arquitecto

Director
Camilo Alberto Forero Pineda
Arquitecto

Universidad de Boyacá
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Arquitectura
Tunja
2022

Nota de aceptación

Firma presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 13 de junio de 2022

“Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo”.

(Universidad de Boyacá, Acuerdo 658 del 30 de marzo de 2017, Artículo décimo primero).

Dedico este trabajo de grado en primera medida a Dios, por otorgarme unos padres maravillosos, quienes me han apoyado, han creído siempre en mí, dándome un ejemplo de humildad. Honestidad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo. A mis padres, a mis hermanos y amigos les dedico el presente trabajo, por alentarme a seguir adelante a pesar de las adversidades que se presentaron en el transcurso de la carrera y haber logrado este éxito académico.

Leidy Paola

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a mi tutor el arquitecto Camilo Alberto Forero Pineda, quien compartió sus conocimientos y fue quien me orientó en cada una de las etapas de este proyecto de gado.

Finalmente, quiero agradecer a las directivas de la facultad y a la Universidad de Boyacá por brindar todas las herramientas necesarias para mi formación profesional y personal. También por realizar el acompañamiento y asesoría en el proceso de investigación, que sin duda no hubiese podido llegar sin tan valiosa ayuda.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	22
1. Estado del arte.....	24
1.1. Revisión documental.....	24
2. Descripción del problema.....	29
2.1. Planteamiento del problema.....	29
2.2. Sistematización del problema.....	29
3. Metodología.....	31
3.1. Diseño metodológico.....	31
3.1.1. Tipo y diseño de investigación.....	31
3.2. Estructura metodológica.....	34
3.3. Hipótesis de investigación.....	34
3.3.1. Hipótesis general.....	34
3.3.1.1. Hipótesis específicas.....	35
3.3.2. Fuentes de información.....	36
3.3.3. Técnicas y herramientas de recolección de información.....	36
3.3.4. Técnicas para la evaluación de resultados.....	37
3.3.5. Impacto ambiental.....	37
3.3.6. Presupuesto.....	37
3.3.7. Cronograma.....	39
4. Justificación.....	40
5. Objetivos.....	42
5.1. Objetivo general.....	42
5.2. Objetivos específicos.....	42
6. Antecedentes.....	43
6.1. Materia prima (nombre técnico, tipo y zonas de cultivo, periodos de extracción).....	44
7. Marco de referencia.....	46
7.1. Definición del adobe.....	46
7.2. Proceso de fabricación del adobe.....	48

7.3. Ensayos de control realizados	49
7.3.2. Ensayo de corte.....	50
7.3.3. Ensayo de sedimentación.....	50
7.4. Ensayos de campo con adobes.....	52
7.5. Tamaño de los adobes	52
7.5.5. Propiedades mecánicas de los adobes	53
7.5.6. Dimensiones del adobe según diferentes autores	55
7.6. Adobe estabilizado	56
7.6.1. Tipos de estabilización.....	56
7.7. Aglomerantes utilizados.....	58
7.7.1. La fibra de coco.....	58
7.7.2. La cascarilla de arroz.....	59
7.7.3. La paja	60
7.7.4. Ceniza de carbón mineral o cenizas volantes.....	61
7.7.5. Tiesto molido o chamote.....	62
7.8. Ensayos para evaluar las propiedades del adobe estabilizado.....	63
7.8.1. Resistencia a la compresión.....	63
7.8.2. Resistencia a la flexión.....	64
7.8.3. Absorción de agua.....	64
8. Marco normativo	65
8.1 norma técnica internacional	65
8.1.1. Norma e.080 diseño y construcción con tierra reforzada	65
8.1.1.1. Disposiciones generales.....	65
8.1.1.2. Consideraciones generales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada.....	66
8.1.1.3. Construcción de edificaciones de adobe reforzado	67
8.2. Norma técnica colombiana ntc 4017. “métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”.....	69
8.2.1. Módulo de rotura (ensayo de flexión).....	69
8.2.1.2. Procedimiento.....	69
8.2.1.4 cálculos e informes.....	70
8.2.2. Resistencia a la compresión	71
8.2.2.2. Refrentado de las unidades.....	72
8.2.2.3. Procedimiento.....	73

8.2.3. Absorción de agua.....	74
8.2.3.1 exactitud de los pesajes	74
8.2.3.3 ensayo de inmersión durante 24 h.	75
8.2.3.3.2 cálculos e informes.....	75
Elaboración de adobe en campo: experiencia en el municipio de ráquira.....	76
9. Marco geográfico	76
9.1. Calidad y selección de suelo: pruebas de campo	79
9.1.1. Prueba del rollo o prueba de plasticidad.	79
9.2. Elaboración de abobe reforzado con paja al 5%.	81
9.2.1. Equipos y materiales	81
9.2.2. Procedimiento	81
9.2.3 fabricación de moldes.....	82
9.2.4. Pulverización arcilla cocinada o chamote.	83
9.2.5. Recolección de ceniza de carbón o ceniza volante.....	84
9.3 preparación del barro.....	84
9.3.1. Mezclado.	85
9.3.2. Dormido.	85
9.3.3. Moldeo.	86
9.3.4. Secado	87
9.3. Elaboración de abobe reforzado con fibra de coco al 5%.....	88
9.4.1 equipos y materiales	88
9.4.2. Procedimiento.	88
9.4.3. Mezclado.	89
9.4.4. Dormido.	89
9.3.5. Moldeo.	90
9.4.6. Secado.	90
9.4. Elaboración de abobe reforzado con cascarilla de arroz 5%.....	91
9.5.1. Equipos y materiales	91
9.5.2. Procedimiento.	92
9.5.2.3. Moldeo.	93
9.5.2.4. Secado.	93
9.5. Elaboración de abobe reforzado con cascarilla de arroz y fibra de coco al 5%.....	94
9.6.1. Equipos y materiales.	94

9.6.2. Procedimiento.	95
9.6.2.2. Dormido.	95
10. Ensayos de laboratorio.	97
10.1. Ensayo de compresión.....	97
10.2. Ensayo de flexión.	99
10.3. Ensayo de absorción.	101
10.4. Entrevista con expertos en fabricación de adobe.	102
10.5. Resultados y análisis de datos.	103
10.6. Propiedades mecánicas y comportamiento a condiciones del adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes.	103
10.6.1. Resultados de ensayo de compresión	103
10.6.2. Resultados de ensayo de absorción.	107
10.6.3. Resultados de ensayo de flexión.	111
10.7 impacto del adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes ámbitos económicos, ambientales y constructivos	115
10.8. Impacto social y económico de la elaboración y construcción con adobe.	116
10.9. Impacto ambiental de la elaboración y construcción con adobe.	117
10.10. Impacto en la industria con la elaboración y construcción con adobe.	118
11. Conclusiones	119
12. Recomendaciones.....	120
Bibliografía.....	121
Anexos.....	123

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Presupuesto planteado del proyecto de investigación.	38
Tabla 2. Cronograma del proyecto de investigación a desarrollar.	39
Tabla 3. Objetivos de desarrollo sostenible con los que se articula la investigación.	41
Tabla 4. Dimensiones del adobe.....	56
Tabla 5. Empresas que fabrican adobes	79
Tabla 6. Resultados prueba de compresión de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.....	99
Tabla 7. Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.....	101
Tabla 8. Resultados prueba de absorción de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.....	102
Tabla 9. Resultados prueba de compresión de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.....	104
Tabla 10. Resultados prueba de absorción de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.....	108
Tabla 11. Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción	112

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ruta del proceso de investigación experimental, fuente: elaboración propia.	33
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso desarrollado para la fabricación del adobe	49
Figura 3. Diseño de gavera, fuente: elaboración propia.	53
Figura 4. Formas de los adobes en la antigüedad.	55
Figura 5. Fibras de coco obtenidas, fuente: elaboración propia.	59
Figura 6. Cascarilla de arroz, fuente: elaboración propia.	60
Figura 7. Fibras de paja utilizada en adobes tradicionales, fuente: elaboración propia	61
Figura 8. Combustión del carbón, fuente: elaboración propia.	62
Figura 9. Pulverizar arcilla cocinada o chamote, fuente: elaboración propia.....	63
Figura 10. Diagrama del montaje módulo de rotura.....	70
Figura 11. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la formula del módulo de rotura. .	71
Figura 12.ubicación del municipio de ráquira de empresas fabricantes de adobe tradicional	77
Figura 13. Ubicación del barrio de los chapitas del municipio de ráquira.	78
Figura 14. Ubicación del barrio de las antiguo hospital del municipio de ráquira.	78
Figura 15. Resultados de la prueba del rollo	80
Figura 16. Resultados de la prueba de bola.	80
Figura 17. Ubicación de la zona de donde se tomaron las pruebas y la extracción de la tierra para la elaboración de adobes.	82
Figura 18. Extracción de materiales en el suelo escogido, fuente: elaboración propia.	82
Figura 19. Gavera en madera, fuente: elaboración propia.....	83
Figura 20. Pulverización de artesanías dañadas, fuente: elaboración propia.	83
Figura 21. Recolección de ceniza de carbón o ceniza volante, fuente: elaboración propia.	84
Figura 22. Preparación de barro.	85
Figura 23. Mezcla de barro con paja y para una masa más homogénea.....	85
Figura 24. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.....	86
Figura 25. Moldeo de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.	87
Figura 26. Secado de los bloques de adobe. Fuente: elaboración propia.	87

Figura 27. Mezcla de barro con fibras de coco, fuente: elaboración propia.....	89
Figura 28. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.....	89
Figura 29. moldeo de adobes reforzados con fibra de coco, fuente: elaboración propia.	90
Figura 30. Secado de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.....	91
Figura 31. Mezcla de barro con cascarilla de arroz, fuente: elaboración propia.....	92
Figura 32. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.....	93
Figura 33. Moldeo de adobes reforzados con fibra de coco, fuente: elaboración propia.	93
Figura 34. Secado de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.....	94
Figura 35. Mezcla de barro con cascarilla de arroz y fibra de coco.....	95
Figura 36. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.....	96
Figura 37. Moldeo de adobes reforzados con fibra de coco.....	96
Figura 38. Secado de los bloques de adobe.....	97
Figura 39. Prueba de compresión de adobe de ejemplo.....	98
Figura 40. Prueba de flexión de adobe de ejemplo.....	100
Figura 41. Fotografía de entrada.....	104
Figura 42. Fotografía de rotura.....	105
Figura 43. Fotografía de entrada.....	105
Figura 44. Fotografía de rotura.....	105
Figura 45. Fotografía de entrada.....	106
Figura 46. Fotografía de rotura.....	106
Figura 47. Fotografía de entrada.....	106
Figura 48. Fotografía de rotura.....	107
Figura 49. Fotografía de entrada.....	108
Figura 50. Fotografía de absorción.....	109
Figura 51. Fotografía de entrada.....	109
Figura 52. Fotografía de absorción.....	110
Figura 53. Fotografía de entrada.....	110
Figura 54. Fotografía de absorción.....	110
Figura 55. Fotografía de entrada.....	111
Figura 56. Fotografía de absorción.....	111
Figura 57. Fotografía de entrada.....	112

Figura 58. Fotografía de rotura.....	113
Figura 59. Fotografía de entrada.....	113
Figura 60. Fotografía de rotura.....	114
Figura 61. Fotografía de entrada.....	114
Figura 62. Fotografía de rotura.....	114
Figura 63. Fotografía de entrada.....	115
Figura 64. Fotografía de rotura.....	115

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Propuesta de anteproyecto.	124
Anexo B. Localización del área de trabajo y toma de muestras.	133
Anexo C. Pruebas de campo para la caracterización del material.	134
Anexo D. Extracción de tierra y recolección de materiales reciclados.	135
Anexo E. Proceso de elaboración de adobes.	136
Anexo F. Cotización.	138
Anexo G. Ensayo de Compresión de adobe reforzado.	139
Anexo H. Ensayo de Flexión y absorción de adobe reforzado.	140

Glosario

Adobe Estabilizado: *este término hace referencia al adobe o ladrillo de tierra cruda al cual se le incorpora materiales diferentes a los que se utilizan en la fabricación tradicional, a fin de mejorar su resistencia a la compresión y la estabilidad de la masa cuando el material es sometido a la presencia de humedad.*

Adobe tradicional: *masa de barro, mezclada frecuentemente con paja y a veces con guijos, moldeada de forma prismática, como ladrillos y de tamaño variable.*

Agglomerante: *sustancia que amalgama y da consistencia a morteros y hormigones. Para el caso de la fabricación de adobes, se hace referencia al material que mejora las condiciones de cohesión entre los materiales.*

Cascarilla de Arroz: *cubierta exterior de la semilla del arroz, la cual se ha venido utilizando en la construcción en la elaboración de hormigón aligerado gracias a su alta resistencia y baja densidad, capacidad de aislamiento acústico y bajo precio.*

Ceniza volante: *son los residuos que se generan luego de la combustión del carbón. También conocida como carbonilla.*

Chamote: *término coloquial con el cual se conoce el producto obtenido luego de triturar o pulverizar elementos de alfarería (artesanías cocidas o arcilla calcinada), cuyo color es grisáceo o naranja.*

Estabilizar: *es la acción a través de la cual se mejora la resistencia mecánica de un material al incorporarle otro.*

Fibra de coco: *fibras rígidas y gruesas de color marrón procedentes de la corteza externa de la fruta de la palma que da origen a su nombre.*

Gavera: molde para hacer tejas o ladrillos.

Guijo: canto rodado de pequeñas proporciones que se utiliza en la elaboración de masas o mezclas para dar consistencia a las mismas.

Meteorización: acción abrasiva de origen físico y químico producida por la acción de los diferentes agentes atmosféricos y por la actividad orgánica que como resultado produce la desintegración o descomposición de las rocas en el lugar que se encuentran.

Paja: fibra vegetal que proviene del trigo, la cebada o el centeno, que dentro de la construcción se utiliza en la realización de adobes y bahareque como material coadyuvante en la cohesión de las arcillas y las arenas.

Reforzado: término que se aplica al estado final de un material de una estructura o elemento estructural que ha tenido la adición de un segundo elemento, sustancia u otro material que ha aumentado o mejorado la resistencia del primero, su rigidez o ambas propiedades de manera simultánea.

Resumen

Bautista Dávila, Leidy Paola

Adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, arcilla cocida y su aplicación en la construcción / Leidy Paola Bautista Dávila. - - Tunja: Universidad de Boyacá, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, 2022.

140 h.: il. + 1 CD ROM. - - (Trabajos de Grado UB, Arquitectura; n°.)

Trabajos de Grado (Arquitectura). - - Universidad de Boyacá, 2022.

El presente trabajo plantea el análisis de las propiedades mecánicas de adobes elaborados con diferentes materiales estabilizantes, los cuales pueden ser de origen vegetal como lo son la fibra de coco, la cascarilla de arroz, así como elementos considerados residuos dentro de la fabricación de artesanías de arcilla cocida como lo son las cenizas volantes, provenientes de la calcinación o combustión del carbón y el denominado chamote. Con el uso de estos dos últimos materiales además se propone una alternativa para la reutilización de materiales residuales o de desecho, provenientes de la industria alfarera que, por un manejo no adecuado, impactan negativamente al medio ambiente y representan además un problema dentro de las actividades cotidianas en diferentes fábricas o talleres de artesanías en el municipio de Ráquira.

Es por lo anterior que, durante el proceso de la investigación fue necesario desarrollar varios tipos de mezclas utilizando las fibras naturales en unos casos y en otros los residuos de los talleres artesanos, para buscar una proporción ideal de uso en la mezcla que conforma cada una de las muestras de adobe, para poder determinar la cantidad óptima del material que no comprometa la resistencia e integridad del bloque y que permita la disminución de materiales nocivos para el medio ambiente, brindando un material novedoso y útil en el campo de la construcción. Es así que, dentro de las fases que se plantearon dentro del trabajo, la experimentación fue un factor importante, a través del cual se pudo determinar cuáles fueron las mejoras en cuanto a resistencia mecánica, absorción que cada uno de los materiales le brindaron al adobe al ser sometidos a esfuerzos de compresión o flexo-compresión, inmersión, comparándolo con resultados obtenidos de pruebas similares realizadas en adobes tradicionales, es decir aquellos que dentro de sus mezclas incorporan fibras de paja. Es importante resaltar que, los adobes con las adiciones de fibras de coco, cascarilla de arroz, cenizas y arcillas cocidas, fueron elaborados de manera tradicional, siguiendo las sugerencias de proporciones básicas de elementos como la arcillas, limos y arenas, que se encontraron en la literatura especializada que se consultó. Dicha información fue la base para el diseño de las mezclas y de las proporciones de aditivos aquí utilizadas.

En consecuencia, se planteó una metodología experimental teniendo como referencia los estándares que se fijan en las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 4017, 5324, la norma peruana E.080 como principales referentes las cuales abordan pruebas correspondientes a la calidad y resistencia de bloques de arcilla. Así mismo, se siguieron los parámetros allí establecidos para el desarrollo de las pruebas de esfuerzo, registrando los resultados en diferentes matrices clasificando la información de acuerdo al tipo de mezcla establecido en cada

una de las probetas. Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas fueron comparados con los resultados encontrados en la literatura consultada correspondiente a pruebas aplicadas en adobes tradicionales, lo cual permitió determinar si hubo mejoras en la resistencia tanto mecánicamente como en la reducción del coeficiente de absorción.

Por último, se deja establecido que es necesario poder hacer variaciones en las mezclas aumentando el tamaño de la granulometría de las arenas sin que esto afecte la cohesión de los materiales y se presenten daños durante la etapa de fraguado o al momento de la puesta en obra del material. También se concluyó que el uso de fibras naturales y materiales aglomerantes mejoran la capacidad de absorción del bloque lo que redundaría en la resistencia del mismo cuando es sometido a esfuerzos de compresión y flexo-compresión en un estado de saturación luego de la inmersión en agua. Así mismo se determinó que a través del uso de materiales reciclados, se puede reducir de manera significativa el impacto generado al medio ambiente, brindando una alternativa de material para la construcción coherente con la actividad económica del municipio, motivando la autoconstrucción y apropiación de las técnicas de construcción con tierra cruda.

Palabras Clave: Adobe, estabilizado, cascarilla de arroz, fibra de coco, cenizas volantes, chamote.

Abstract

Bautista Dávila, Leidy Paola.

Adobe reinforced with coconut fibers, rice husk, straw, fly ash, baked clay and its application in construction / Leidy Paola Bautista Dávila. - Tunja: University of Boyacá, Faculty of Architecture, Design and Urbanism, 2022.

140 h.: illus. + 1 CD ROM. - (Degree Works UB, Architecture; no.).

Degree Works (Architect). - University of Boyacá, 2022.

The present work proposes the analysis of the mechanical properties of adobes elaborated with different stabilizing materials, which can be of vegetal origin such as coconut fiber, rice husk, as well as elements considered residues within the manufacture of baked clay handicrafts such as fly ashes, coming from the calcination or combustion of coal and the so-called chamote. With the use of these last two materials, an alternative is also proposed for the reuse of residual or waste materials from the pottery industry that, due to inadequate management, have a negative impact on the environment and also represent a problem in the daily activities in different factories or handicraft workshops in the municipality of Ráquira.

For this reason, during the research process it was necessary to develop several types of mixtures using natural fibers in some cases and in others the residues of the artisan workshops, to find an ideal proportion of use in the mixture that makes up each of the adobe samples, in order to determine the optimal amount of material that does not compromise the strength and integrity of the block and that allows the reduction of materials harmful to the environment, providing a new and useful material in the field of construction. Thus, within the phases of the work, experimentation was an important factor, through which it was possible to determine which were the improvements in terms of mechanical resistance and absorption that each of the materials provided to the adobe when subjected to compressive or flexo-compressive stresses and immersion, comparing it with results obtained from similar tests carried out on traditional adobes, that is, those that incorporate straw fibers in their mixtures. It is important to emphasize that the adobes with the additions of coconut fibers, rice husks, ashes and baked clays were made in the traditional way, following the suggestions of basic proportions of elements such as clays, silts and sands, which were found in the specialized literature that was consulted. This information was the basis for the design of the mixes and the proportions of additives used here.

Consequently, an experimental methodology was proposed taking as reference the standards set in the Colombian Technical Norms (NTC) 4017, 5324, and the Peruvian norm E.080 as main references, which address tests corresponding to the quality and resistance of clay blocks. Likewise, the parameters established therein were followed for the development of the stress tests, recording the results in different matrices, classifying the information according to the type of mix established in each of the specimens. The results obtained in each of the tests were compared with the results found in the consulted literature corresponding to tests applied to traditional adobe, which allowed determining if there were improvements in resistance both mechanically and in the reduction of the absorption coefficient.

Finally, it was established that it is necessary to be able to make variations in the mixes by increasing the grain size of the sands without affecting the cohesion of the materials and without causing damage during the setting stage or at the time of placing the material. It was also concluded that the use of natural fibers and agglomerating materials improve the absorption capacity of the block, which results in its resistance when it is subjected to compressive and flexo-compressive stresses in a saturated state after immersion in water. It was also determined that through the use of recycled materials, the impact on the environment can be significantly reduced, providing an alternative construction material consistent with the economic activity of the municipality, motivating self-construction and appropriation of construction techniques with raw earth.

Key words: Adobe, stabilized, rice husk, coconut fiber, fly ash, chamote.

Introducción

El trabajo expuesto a continuación tiene como objeto presentar el análisis de las propiedades mecánicas del adobe tradicional y de igual manera las del adobe reforzado.

Una propuesta que pretende recuperar el sistema tradicional de construcción con adobe, innovando en el tema, adicionándole a este sistema una mezcla de fibra de coco, cascarilla de arroz, chamote y ceniza volante reforzándolo, respetando siempre la dinámica del diseño en el adobe; pues la intención es que resalte aún más y siga teniendo el mismo diseño, el cual será mejorado en sus cualidades físicas y mecánicas, sin perder la condición de bloques hechos de barro o arcilla sin coser, para llegar a este concepto se le debe adicionar a la mezcla de fabricación del adobe un porcentaje de fibras naturales y aglomerantes, esta mezcla se prepara con tres materiales a 4 materiales, tierra o arcilla seleccionada, arcilla cocinada, ceniza, y los tres componentes seleccionados como lo son los diferentes estabilizantes, esta mezcla sirve para hacer adobes de forma convencional con gavera a mano o compactándolo con máquina de prensar de adobes en este mejoramiento adquirimos una resistencia mayor a la fractura conservando su elasticidad relativa.

De esta manera el proyecto responde a la necesidad de encontrar materiales que brinden resistencia a la fractura y humedad, debido a que son los problemas que más afectan este tipo de construcciones en tierra. Asimismo, se pretende retomar la construcción de viviendas en adobe para rescatar un proceso constructivo que ha sido tradicional en Boyacá pues se utilizaría este tipo de vivienda en el sector rural y zonas donde culturalmente se ha construido con adobe, puede ser una alternativa para los sectores más alejados de zona urbana, y que mejor que recuperando un saber que se ha ido perdiendo, como es la construcción en adobe y a su vez ayudar a mejorar la contaminación que encontramos en el municipio de Ráquira con los desechos de las artesanías que no sirven y así reducir en futuro la contaminación que producen los escombros después de hacerle alguna modificación alguna construcción.

Todo lo anterior a través de una metodología realizada es de tipo científico, aplican estudios cuantitativos, cualitativos y mixtos; El enfoque de la investigación es mixto, siendo que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos de la investigación para responder a un planteamiento. Por lo tanto, vamos a encontrar un flujo de aceptación y participación significativo por parte de la comunidad hacia el proyecto, pues dadas las

condiciones del mismo, este requiere de un aporte constante de aquellos que se vinculen a las actividades propuestas.

Este estudio se realizó en el municipio de Ráquira – Colombia, ya que es un terreno apropiado para la selección y extracción de los materiales necesarios en la elaboración de adobe tradicional. Pero, para el objeto de este estudio se tiene en cuenta un componente de las fibras naturales y aglomerantes, aun no estudiado dentro de la construcción en Colombia: la ceniza volante y el chamote. En este sentido, se realizarán bloques de adobe reforzados con fibras naturales al 5% (fibra de coco, cascarilla de arroz y paja), comparando su desempeño y resistencia. Resaltando que el autor cuenta con las bases, conocimiento y experiencia de dicho proceso, y, que la proporción del 5% de fibras naturales del refuerzo, se determinó en los diferentes estabilizantes.

Se conforma este documento de tres capítulos, en el primero se expone el estado del arte, descripción del problema, metodología aplicada, segundo se desarrollan la justificación, objetivos antecedentes, marco de referencia, marco normativo que se va utilizar, en tercer lugar, se agrupan, recolectan los datos, procesa y analiza los resultados para concluir el proyecto y dar recomendaciones de parte del investigador. Para la obtención de estos datos, se evaluaron tres tipos de ensayo y resistencia de los especímenes muestra para determinar la viabilidad y continuidad del ejercicio, estos fueron: compresión, absorción y flexión.

Con lo anterior, se busca verificar la resistencia de los bloques, para conocer si es factible afirmar que las fibras naturales y aglomerantes, al cual se ha denominado adobe reforzado es superior en las pruebas de resistencia con respecto al material base que son la fibra de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante y chamote con el fin de, a futuro podrían contar con un adobe mucho más resistente para las viviendas que se construyan con bajos recursos.

1. Estado del Arte

1.1. Revisión Documental

Para el desarrollo de la presente investigación, fue necesario en primera medida, hacer una revisión documental encaminada a recopilar la información correspondiente al desarrollo de la técnica de fabricación del adobe tradicional, teniendo en cuenta principalmente la descripción de los procesos utilizados en la selección y preparación de los materiales, así como las diferentes etapas del procedimiento de fabricación del bloque, las proporciones de materiales utilizados, la granulometría y las recomendaciones para el proceso de fraguado y almacenamiento. Todo esto se hizo con el fin de establecer una base estándar en la fabricación de las muestras, con la adición de fibras de coco en unas, en otras la cascarilla de arroz, en otras la ceniza volante y en otras por último el chamote.

Posteriormente, una vez entendido y apropiado el proceso productivo, y la técnica constructiva, nuevamente se hace una pesquisa documental esta vez enfocada hacia el tema de la estabilización de la mezcla, y se pudo constatar que hay estudios que revelan el uso de fibras vegetales, cenizas y materiales triturados como el concreto, el ladrillo producto de la demolición. Dentro de esta consulta, también se encontró un documento en el cual se hablaba del uso de fibra de vidrio, cuyos autores señalan que, *“El uso del adobe como material de construcción, es una de las técnicas más antiguas (8.000 a.C.), además trata de una técnica simple y accesible. Sin embargo, este material presenta deficiencia sísmica por su elevado peso y baja resistencia, por lo que se vuelve necesaria la búsqueda de componentes adicionales para mejorar sus propiedades; es así como se optó por utilizar la fibra de vidrio, ya que es un material rígido, fuerte y resulta ser uno de los materiales más versátiles que se conocen actualmente.”* (Chuya Sumba & Ayala Zumba, 2018). Dentro del documento se pudo apreciar además la comparación entre los parámetros mecánicos y físicos que se consideraron en las diferentes pruebas realizadas y los desempeños de los adobes que les habían sido incorporadas las fibras de vidrio, al momento de ser sometidos a esfuerzos de compresión y compresión diagonal. En la descripción de los ensayos realizados, se pudo encontrar que la fibra de vidrio aumentó la capacidad de resistencia de los bloques respecto a los tradicionales, resultando un material viable para la mejora de la resistencia. (Chuya Sumba & Ayala Zumba, 2018, pág. 11).

Así mismo se encontró un documento en el cual se describía la utilización de la fibra de coco, en un adobe cuya mezcla llevaba contenido de cemento Pórtland. Según (Roux Gutiérrez & Olivares Santiago, 2002), se puede observar que la fibra de coco se caracteriza como alternativa viable para ser utilizada como material de refuerzo en la fabricación de adobe. Por tal razón, una vez que realizaron las pruebas químicas a la fibra de coco, se concluyó que presentan buenas características para su utilización en estos materiales, y se determinó que el porcentaje de fibra de coco para adicionar es del 1%, proporción que presentó mejor desempeño frente a esfuerzos, así como reducción en la permeabilidad del material.

En un siguiente momento, la información anterior se pudo complementar con la investigación que se desarrolló en la Universidad César Vallejo del Perú, en donde (Ticona Apaza, 2020) evaluó de manera comparativa la eficacia del adobe reforzado con fibras de coco durante las pruebas de compresión, tracción, flexión y absorción, en relación a los adobes tradicionales. Para el diseño de mezclas utilizó diferentes proporciones de este aditivo en porcentajes de 0,5%, 1% y 2% de la masa de cada una de las muestras. De esta manera, se esperaba mejorar de manera significativa las características físicas y mecánicas ante las mencionadas pruebas.

Por otra parte, también se hizo necesario conocer qué otras técnicas constructivas con tierra cruda se estaban llevando a cabo en la actualidad, buscando alternativas de uso de este material y se encontró que, a pesar del desuso que estas técnicas, entre otras consideradas como vernáculos, se continúan desarrollando en algunos lugares no solo del territorio nacional, sino también en el ámbito internacional. La diferencia es que ahora, se tiene mayores consideraciones con el manejo del material, lo que ha permitido su estudio y redescubrimiento, para buscar nuevas oportunidades dentro del mercado de la construcción. Esto ha contribuido a que los estigmas imputados a estas técnicas cada vez se diluyan más y surjan sus bondades. Así mismo, se ha logrado también mejorar muchos aspectos de la técnica constructiva, y de la producción y se han incorporado nuevos materiales en búsqueda de mejorar la vida útil del material. Tal es el caso del estudio que presentan los autores (Arteaga Medina, Medina, & Gutiérrez Junco, 2011), en donde reafirman el uso de Bloques de Tierra Comprimida (BTC), como una técnica derivada de las vernáculos y un aporte al mejoramiento del Adobe tradicional, es decir, el BTC es presentado como un adobe mejorado, aunque su proceso de fabricación es completamente diferente al del adobe tradicional.

Esta nueva y creciente conciencia frente al uso de la tierra cruda como material de construcción, ha permitido su apropiación en el ambiente académico, en donde se ha logrado estudiar el material de una manera modesta y muchas veces algo indecisa. Sin embargo, se evidencia ese tinte romántico y de añoranza por el material antiguo o de nuestros ancestros, el cual no ha sido olvidado ni sacado de la memoria colectiva, ya que es evidente que en muchas iniciativas de investigación apunten al rescate de estos materiales, y tradiciones constructivas, a través de la reinterpretación de sus técnicas y de sus consecuentes mejoras. Tal es el caso que plantea (Barrera Ríos, Tunja) en su trabajo de grado titulado *“Proceso para el mejoramiento del adobe”*. Allí el autor enuncia cómo se debe mejorar a través de la estabilización el adobe con lo cual se logra, además, construir mejores viviendas. En este sentido, centra la reactivación la reactivación de una arquitectura en adobe a través del desarrollo y cualificación de la mano de obra y de los materiales de construcción que resultan muy económicos, motivando la auto construcción gracias a que esta técnica permite elaborar al beneficiario sus propios adobes para construir su propia vivienda. Allí sugiere también que estas técnicas deberán garantizar tratamientos de seguridad que aproximen al sistema constructivo al cumplimiento de los estándares estipulados en la norma sismo-resistente actual, con lo que se ha podido incorporar sistemas de reforzamiento, similares a los del Título E de dicha norma. Es por esto que ahora se habla de muros de adobe reforzado.

Ahora, como es bien sabido, las técnicas de construcción con tierra cruda iniciaron un ocaso al momento de la masificación del uso ladrillo en los años 30, situación que se fortalece entre la década de los 50's y los 60's por la influencia de los arquitectos del momento, lo que llevó a la adopción en el sector popular y por ende en el sector rural de este material, impactando el paisaje cultural de una manera directa. Es por esto, que (Barrera Ríos, Tunja) referencia que el proyecto de vivienda en adobe mejorado, presenta una propuesta sólida y alternativa en el tema de construcción de viviendas en tierra, dado que el material principal que se pretende utilizar compite con los precios del mercado de los materiales convencionales, no genera altos costos y brinda calidad y mejores beneficios además de excelente acabado, ya sea a la vista o pañetado. Esto permitirá rescatar un sistema tradicional, *“pues la idea es mostrar como retomar este tipo de material y mejorarlo para construir viviendas y así recuperar parte de una cultura que se ha ido abandonando, al construir con adobe mejorado, sin incurrir la tecnología y/o materiales que afecten o impacten el medio ambiente”*.

Otro estudio consultado demostró el uso de suelo de una región en la cual la tierra es rica en componentes derivados de cenizas volcánicas, lo cual brinda unas condiciones de material muy similares a las mezclas usadas en la antigüedad para la construcción, incluso con la adición de elementos tales como boñiga, paja, arena fina y cal para obtener una mezcla consistente para la fabricación de los adobes. En este orden de ideas, (Esguerra Rubio, 2013) en su investigación titulada *“Adobe de suelo derivado de cenizas volcánicas: una alternativa constructiva”*, propone la obtención de una mezcla de óptimas condiciones para la fabricación de adobes, comparándolo con los resultados que sugiere la norma técnica para ladrillos no estructurales. Es importante tener en cuenta que, si bien a través de este documento se busca brindar una alternativa de material producto del uso de suelos derivados de orígenes volcánicos, la información que se presenta resulta poco pertinente dado que se establece a comparación entre dos productos de fabricación diferentes, es decir, el adobe tiene un proceso de fabricación diferente al del ladrillo no estructural, el cual es fabricado por extrusión y no por moldeado directo. Esta diferencia en la fabricación impacta directamente en la resistencia del bloque, dado que el nivel de compactación de la mezcla es mayor en la extrusión por la acción mecánica del sinfín que empuja la mezcla a través de la boquilla. Sin embargo, se para el presente estudio, se tuvo en cuenta el procedimiento que utilizó el autor en la elaboración de seis mezclas con diferentes proporciones.

Finalmente, se hizo una búsqueda de documentos relacionados con el uso de la cascarilla de arroz implementada en prototipos de adobe, con el propósito de conocer sus beneficios. (Huaranca Quito & Vasquez Ramírez, 2020) manifiestan que *“La cascarilla de arroz es un subproducto obtenido del proceso industrial del grano de arroz... es de consistencia frágil, rugosa, y su color varía del pardo rojizo a la púrpura oscura, Por su apariencia cóncava y consistencia liviana es fácilmente volátil...”*. Estas características permiten que la cascarilla sea un elemento que ayude a la cohesión de los materiales, sobre todo cuando se trata de arcillas. Sin embargo, la lista de usos es más amplia, teniendo en cuenta que en muchos casos es utilizada en la producción de aglomerados, o como un material aislante en construcción, incluso su volatilidad, su compactación y porosidad, pueden generar materiales aligerados. Los resultados obtenidos reflejan que *“la adición de esta fibra natural en el adobe brinda mayor resistencia comparadas a las que tradicionalmente se realizan, ya sea con paja u otro agregado”*. Los resultados obtenidos claramente establecen una mejoría en la resistencia de los adobes a la

flexión y a la compresión y se logra superar los esfuerzos mínimos admisibles en la norma E-080. Diseño y construcción con tierra reforzada del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.

También se encontraron algunas referencias de reutilización de materiales o reciclaje de materiales en la fabricación de muros, pisos y enlucidos. Tal es el caso que describe la antigua técnica del *Opus Signinum* la cual se define como “*Pavimento o recubrimiento de pared de época romana formando por una mezcla impermeable de cal, arena y fragmentos de cerámica, a veces con decoración de teselas*¹. Si bien, se hace referencia a que ha sido llamada de esta forma desde el latín y que tiene su equivalente en italiano como el *cocciopesto*. No obstante, estudios recientes han revelado que esta técnica no tiene su origen en Italia, sino que fue heredada por los romanos por parte de los fenicios, pero que fue divulgada a través de los libros y escritos de Vitruvio.

El pueblo semita utilizó esta técnica constructiva para la elaboración de vías, caminos y algunos edificios. Según (Rosso & Angostinelli, 2020, pág. 1), el *cocciopesto* se define como “*Genere di pavimentazione e di rivestimento delle pareti usato dagli antichi per proteggere i muri dall’umidità: il cocciopesto era costituito da una miscela compatta di frammenti di materiale fittile, generalmente ricavato da rottomi di tegole e di anfore, unito con calce grassa;*”. Sin duda esta técnica ya es un referente para el desarrollo del presente trabajo, teniendo en cuenta que esta mezcla era utilizada en zonas de alta humedad como los baños termales y acueductos u obras hidráulicas por ambas culturas.

¹ Las teselas según la el diccionario de la RAE son cada una de las piezas con que se forma un mosaico.

2. Descripción del Problema

Durante las etapas del proceso de fabricación de piezas de alfarería, a lo largo de los años se ha evidenciado que se generan grandes cantidades de elementos de desecho que impactan de manera significativa al medio ambiente. Cerca de una tonelada de elementos de arcilla son desechados cada quince (15) días. Esta cifra corresponde a un 10% aproximadamente de una jornada de producción de 5 toneladas de artesanías. Ahora, estos elementos no solamente provienen de los residuos de arcillas cocidas de elementos dañados, o defectuosos que han sido descartados, sino también aquellos que se derivan de la combustión del carbón, como es el caso de las cenizas volantes o carbonilla.

Esta situación ha revelado que, tanto las microempresas como las empresas más robustas se vean afectadas por las diferentes disposiciones y acciones que adelantan las autoridades ambientales, dado que no hay un plan de manejo de residuos, lo que en la mayoría de casos redundaría en el cierre de los talleres y áreas productoras o en la imposición de multas de elevadas cuantías además de los altos costos para la implementación de las acciones correctivas. La falta de planificación para el manejo y disposición de estos residuos, resultan atractivos para el planteamiento de la reutilización en la fabricación de adobes, buscando así una alternativa para la disminución del impacto generado, a través de la reutilización del material con el desarrollo de una operación productiva que resulta coherente con la actividad alfarera en los diferentes talleres del municipio de Ráquira.

2.1. Planteamiento del Problema

¿Qué beneficios y mejoras podrá aportar la implementación de fibras de coco, la cascarilla de arroz y materiales reciclados como cenizas volantes y residuos de arcillas cocidas a los adobes?

2.2. Sistematización del Problema

Con el presente proyecto se busca abordar 4 preguntas, las cuales surgen de investigar la conveniencia e idoneidad de utilizar el adobe reforzado con fibra naturales, y la adición de

materiales reciclables, como una alternativa económica, de bajo impacto ambiental que puede ser replicable como modelo de gestión de residuos tanto en la región como en el resto del país.

Estas son:

- ¿Qué propiedades mecánicas tiene el adobe reforzado con fibra de coco, cascarilla de arroz, arcilla cocida pulverizada y ceniza volante?

- ¿Cómo es el comportamiento del adobe reforzado con fibra de coco, cascarilla de arroz, arcilla cocida pulverizada y ceniza volante a las condiciones climáticas que sufre constantemente el país?

- ¿Qué impactos ambientales, económicos y constructivos genera la implementación de adobe reforzado con fibra de coco, cascarilla de arroz, arcilla cocida pulverizada y ceniza volante en la actualidad?

- ¿Cómo se comporta el adobe con fibra de coco, cascarilla de arroz, arcilla cocida pulverizada y ceniza volante en ensayos de laboratorio ante resistencias físicas y mecánicas?

3. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se hizo el planteamiento de la siguiente metodología, en donde se establecieron cada una de las fases a desarrollar, así como la definición del desarrollo de las probetas para las diferentes pruebas, lo que constituye un trabajo experimental basado en las recomendaciones de estudios similares y el tanteo propio siguiendo los parámetros y estándares según la normativa vigente.

3.1. Diseño Metodológico

Línea de investigación: Innovación en Hábitat, Patrimonio y Diseño.

Sub-línea de investigación: Patrimonio y Cultura.

3.1.1. Tipo y diseño de investigación.

Para este proyecto, la metodología realizada es de tipo experimental, en donde se aplicaron estudios cuantitativos, cualitativos y mixtos. Este último definió el enfoque de la investigación lo que conllevó a la recolección de información correspondiente a la producción de adobes de forma tradicional, como a las experiencias en el uso de aditivos y otros materiales para la producción del ladrillo crudo.

Es importante resaltar que a lo largo del desarrollo de la investigación se hará referencia a la tal, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos de la investigación para responder a un planteamiento. Por lo tanto, vamos a encontrar un flujo de aceptación y participación significativo por parte de la comunidad hacia el proyecto, pues dadas las condiciones del mismo, este requiere de un aporte constante de aquellos que se vinculen a las actividades propuestas. Según Hernández, Fernández & Baptista (2014, p. 4), el enfoque cuantitativo está basado obras como las de Auguste Comte y Émile Durkheim. La investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo, y que este se genera a partir de un proceso deductivo en el que, a través de la medicación numérica y el análisis estadístico inferencial, se prueban hipótesis previamente formuladas. Este enfoque se comúnmente se asocia con prácticas y normas de las

ciencias naturales y del positivismo. Este enfoque basa su investigación en casos “tipo”, con la intención de obtener resultados que permitan hacer generalizaciones (Bryman, 2004, p. 19).

El análisis cualitativo, en contraste, está basado en el pensamiento de autores como Max Weber. Es inductivo, lo que implica que “utiliza la recolección de datos para finar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (Hernández, Fernández & Baptista, 2014, p. 7). A diferencia de la investigación cuantitativa, que se basa en una hipótesis, la cualitativa suele partir de una pregunta de investigación, que deberá formularse en concordancia con la metodología que se pretende utilizar. Este enfoque busca explorar la complejidad de factores que rodean a un fenómeno y la variedad de perspectivas y significados que tiene para los implicados (Creswell, 2003, p. 129).

La investigación cualitativa considera que la realidad se modifica constantemente, y que el investigador, al interpretar la realidad, obtendrá resultados subjetivos. (Bryman, 2004:20). A diferencia de la investigación cualitativa, que basa sus resultados en datos numéricos, la investigación cualitativa se realiza a través de diferentes tipos de datos, tales como entrevistas, observación, documentos, imágenes, audios, entre otros. Por lo tanto, el método “mixto”, que integra ambos enfoques, argumentando que al probar una teoría a través de dos métodos pueden obtenerse resultados más confiables. Este enfoque aún es polémico, pero su desarrollo ha sido importante en los últimos años (Hernández, Méndez & Mendoza, 2014).

Adicionalmente, al tener en cuenta que este proyecto tiene una serie de procesos tanto secuenciales como probatorios el enfoque de esta investigación es también cuantitativo, al tener como punto de partida una idea que expone objetivos y plantea preguntas investigativas una vez se delimita esta misma, conduciendo a la búsqueda literaria para validación de alcances previos y contextualización de una perspectiva teórica. Se formulan las hipótesis al caso y establecen sus variables determinadas a raíz de las preguntas, las cuales tienen que ser probadas para que se puedan medir las variables en un contexto determinado para analizar las mediciones que se obtengan con el uso de métodos estadísticos apropiados para el proyecto. Por último, se extraen una serie de conclusiones que responden a los objetivos y la hipótesis del documento. El alcance de la investigación del tipo descriptivo, esta presto a medir las propiedades físicas y mecánicas del adobe estabilizado con fibras naturales específicamente con fibra de coco, cascarilla de arroz y paja, aglomerantes específicamente con ceniza volante y arcilla cocida pulverizada y se describirán las distintas variaciones que estas propiedades puedan tener al aplicar dichas dosis.

De igual manera esto será evaluado a través de los ensayos de laboratorio, a fin de conocer si estas fibras y aglomerantes hacen variar las propiedades del adobe, de manera que se pueda saber si es posible obtener adobes estabilizados a partir de este nuevo método. De acuerdo con Hernández et al. (2014), este alcance busca reunir y medir información de forma conjunta o independiente respecto a las variables o los conceptos a las que se refieren, ya que, desde la perspectiva científica, describir es medir, así en un estudio descriptivo se eligen una serie de variables y se mide cada una de ellas, de esa manera se podrá describir lo que se investiga.

El presente trabajo de grado en su diseño metodológico es experimental, ya que manipula intencionalmente las variables independientes, para evaluar las consecuencias que dicha manipulación pueda tener en los resultados que arrojen los ensayos que se le van hacer en el laboratorio. Donde, para el presente estudio se busca medir la influencia del uso de las fibras naturales y aglomerantes sobre las propiedades mecánicas y físicas del adobe estabilizado, igualmente con dichos resultados de las pruebas realizadas se ejecuta una comparativa entre el adobe tradicional o grupo de control, es decir, con 0% de fibra natural y sin aglomerantes, contra el estabilizado objeto de esta investigación con fibras naturales y aglomerantes (5% de fibra de coco, 5% de cascarilla de arroz y 5% entre cascarilla de arroz y fibra de coco) o grupo experimental, proporción que fue escogida por los ensayos previos donde demostraron ser más efectivos. Se justifica que los ensayos o pruebas de laboratorio a realizar, estarán sujetos al avance del proyecto y si este requiere incluirse o prescindir de ensayos para sus pruebas de resistencia.

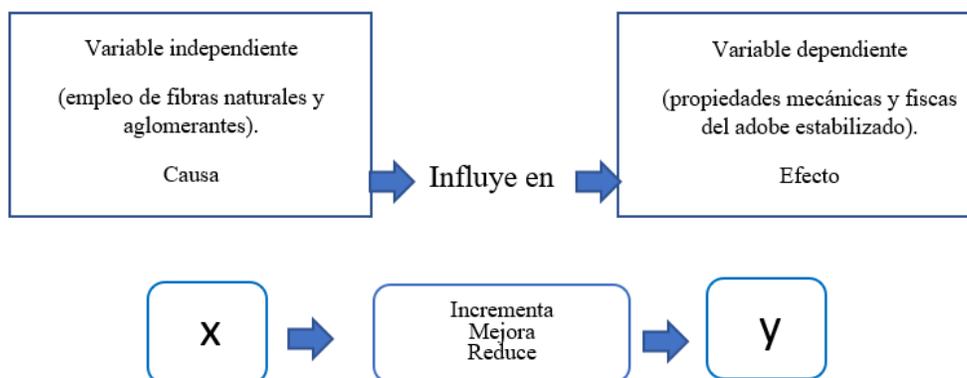


Figura 1. Ruta del proceso de investigación experimental, fuente: elaboración propia.

3.2. Estructura Metodológica

La investigación es realizada en sus inicios con la selección del suelo, que este sea apropiado para la realización del adobe mediante la realización de las pruebas granulométricas al mismo, para posteriormente realizar el ensayo de los materiales que se usarán para la fibra natural, aglomerantes y estabilización, para posteriormente elaborar las muestras de las unidades de adobe estabilizado con fibras naturales y aglomerantes reciclados del municipio de Ráquira. Estos especímenes, se dividen en dos grupos, el grupo de control y el grupo experimental como se especificó anteriormente, en donde, uno de estos contiene 0% de fibras y 0% de aglomerantes y el segundo un 5% de fibras naturales (cascarilla de arroz, fibra de coco y paja) las fibras de coco y la paja se cortaron entre 3 a 5 cm y aglomerantes reciclado del municipio de Ráquira (ceniza volante y arcilla cocida pulverizada). Estos modelos serán sometidos a ensayos de laboratorio de compresión, resistencia de flexión y de absorción de agua. De acuerdo a la norma E-080. Los ensayos a realizarse requieren de entidades competentes para la realización de los mismos, por esto, el investigador adelantó las respectivas cotizaciones, pero solo confirmaron una sola cotización, esta se expone en el anexo 1 del presente. Con la evaluación de los resultados producto de los ensayos realizados a los grupos de muestras, se realiza una comparación de los mismos, con esto último se culmina todo el proceso para continuamente exponer un análisis de los mismos y concluir con puntos a favor o en contra del adobe estabilizado con fibras naturales, en comparación con el adobe tradicional, lo que para efectos del presente apartado permite exponer hipótesis a la investigación del presente proyecto.

3.3. Hipótesis de investigación

3.3.1. Hipótesis general.

La fabricación de adobes con fibras naturales y adición de materiales reciclados mejoran las características físicas y mecánicas del bloque de tierra cruda en comparación al adobe tradicional.

3.3.1.1. Hipótesis específicas.

a. Las unidades de adobe estabilizadas con fibras naturales y aglomerantes poseen mayor resistencia a la compresión que el adobe tradicional.

b. Las unidades de adobe estabilizadas con fibras naturales y aglomerantes poseen mayor resistencia a la absorción que el adobe tradicional.

c. Las unidades de adobe estabilizadas con fibras naturales y aglomerantes poseen mayor resistencia en la prueba de muretes que el adobe tradicional.

3.3.1.1.2. Población y muestra. Teniendo en cuenta que la investigación tiene una orientación mixta, desde enfoque cuantitativo se tomara como población a los especímenes necesarios para la elaboración de adobe tradicional y reforzados descritos en el manual de construcción de edificaciones antisísmicas de adobe (Ministerio de Vivienda del Perú, 2010).

Basándose en aspectos de la norma técnica E0.80 esto permitirá que se entienda cómo se define la población o universo al conjunto que tienen especificaciones y características definidas en común para el estudio según el planteamiento del problema (Hernández, Méndez y Mendoza, 2014), para el presente proyecto corresponde a 24 especímenes que se realizaran en total para los ensayos y pruebas que se han propuesto. Por su parte, el enfoque cualitativo la población está dada por las empresas o personas naturales que actualmente para el municipio de Ráquira elaboran bloques de adobe, sea esto, mediante método tradicional de elaboración puesto que no involucran nuevos mecanismos aún; por ello, no se aplica formula muestra a esta sección, en estos casos no es indispensable segmentar la población, al tenerse presente que en ambos enfoques el tipo de muestra a utilizar es muestra no probabilística o dirigida, la cual es subconjunto de la población, ya que la elección de los elementos no está sujeta a la probabilidad y depende de determinadas características propias del estudio y objetivos del mismo. En ese orden de ideas, el procedimiento para elegir la muestra no es mecánico, no se basa en formulas probabilísticas ni representación estadística de un universo determinado, más bien son criterios propios de la investigación dependientes del planteamiento del problema, los objetivos y el aporte que pretende dar dicho proyecto. En efecto, la presente muestra coincidirá con el número de elementos de la población ya que los especímenes no serán seleccionados aleatoriamente del grupo y todos estos serán empleados para los diferentes ensayos de laboratorio.

3.3.2. Fuentes de información

3.3.2.1 Fuentes primarias. En la realización del proyecto y para la obtención de resultados se realizó la consulta a fuentes documentales con información cercana, nuevas y originales; fruto del trabajo intelectual para un tema específico, en este caso son las siguientes:

- A. Entrevistas con expertos en la fabricación de adobe en el sector.
- B. Libros actuales y sobre el tema.
- C. Ensayos/Pruebas de laboratorio: a los especímenes elaborados en adobe reforzados con fibras naturales, ceniza y arcilla cocida.
- D. Trabajo de grado y monografías.
- E. Informes y documentos.
- F. Bases de datos institucionales: las cuales sirven de apoyo para la consulta de varios de los anteriores documentos, entre estas: Google Academics, SciELO, Dialnet y eBook Academic.

3.3.3. Técnicas y herramientas de recolección de información.

Las técnicas para la recolección de la información primaria aplicadas para este proyecto son, en una primera instancia las pruebas realizadas a las unidades de adobe reforzado con fibra naturales y aglomerantes, realizadas en establecimientos especializados y dedicados a la realización de dichos ensayos, el reporte otorgado, producto de la prueba permite conocer las condiciones y resistencias de los grupos de muestras para su análisis posterior. En Segundo lugar, la investigación requiere aplicar entrevistas a expertos en la fabricación de bloques de adobe, de ellos, se requiere extraer la información suficiente para prevenir errores en la fabricación y tomar como propia la experiencia de estos mismos, dichas entrevistas no serán informales, sino, estructuradas con el ánimo de obtener la información apropiada para la investigación y no saturar al entrevistado.

3.3.4. Técnicas para la evaluación de resultados.

La técnica a utilizar para ambos casos es la recolección de datos, que genere resultados de fiabilidad, validez. En efecto, en una primera instancia, para los resultados obtenidos fruto de las pruebas de laboratorio a las cuales son sometidos los grupos de muestras de unidades de adobe reforzadas con fibras naturales y aglomerantes, es apropiado realizar la evolución de resultados mediante la técnica de organización de la información recibida por cada uno de los grupos de muestra y realizar una matriz de comparación con las demás unidades de adobe, a fin de identificar cual es más resistente, lo que se podría denominar como comparación de la información.

En cuanto a las entrevistas realizadas, posterior organizar los datos como primera etapa de análisis. Después lo que se debe hacer es analices delicado, agrupar los comentarios, interpretarlos y, por último, organizar un mapa mental o matriz de ideas o conceptos y técnicas existentes y divergentes con los demás entrevistados. De igual manera, es apropiado que, al hacer el análisis sistemático de las transcripciones, sean agrupados los comentarios, interpretar estos mismos y obtener las conclusiones del caso.

3.3.5. Impacto ambiental

Teniendo presente que el proyecto objeto de esta investigación busca generar una alternativa sostenible para el municipio de Ráquira, así mismo requiere que su proceso exploratorio y de campo sean congruentes al objetivo del mismo. Por lo tanto, se busca un beneficio sostenible y ecológico para estos materiales desechados y a su vez se han productivos en otro tipo de manufactura.

3.3.6. Presupuesto

3.3.6.1 Aspecto administrativo. El proyecto para su ejecución requiere de una serie de apoyos y logística para desarrollar a cabalidad la propuesta aquí planteada, entre estos se encuentran:

Recursos institucionales: Uniboyacá.

Recursos humanos: se cuenta con el apoyo del director de trabajo de grado, Arq Camilo Alberto Forero Pineda; el autor-investigador del presente documento, alumna Leidy Paola Bautista Dávila; los posibles entrevistados para el proceso de elaboración del adobe, los señores: Pastor Valero, Moisés Mendieta, Agustín Bautista, quienes cuentan con sus talleres-fábricas y el conocimiento y experiencia en la elaboración de dichas unidades para elaboración de adobes para la construcción de hornos y para construcción de viviendas; por último el apoyo del laboratorio de pruebas y ensayos en servicios de ingeniería limitada Recursos materiales: Para la elaboración de esta investigación se requirió del uso de computador portátil, el cual permite el acceso a información de carácter global, así como continuo contacto con el laboratorio para obtener los resultados de las muestras; por otro lado, celular para contacto permanente con director de trabajo de grado al igual que documentación (voz y video) de las entrevistas a realizarse con los expertos en el tema.

3.3.6.2. Aspecto financiero. Los gastos e inversiones que implican la ejecución de este proyecto investigativo están discriminados a continuación y se aclara que, dentro de estos, todos han corrido por cuenta del investigador, sin acudir a fuentes de financiación.

Tabla 1

Presupuesto planteado del proyecto de investigación.

RUBROS	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
HONORARIOS	\$ 1.000.000,00	\$ 35.000,00	\$ 350.000,00	\$ 35.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 35.000,00	\$ 350.000,00	\$ 35.000,00	\$ 1.000.000,00	\$ 350.000,00
SERVICIOS TECNICOS SALDADOR CAMPO LABORATORIOS										
SOFTWARE	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
MATERIALES Y SUMINISTROS	\$ 80.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 40.000,00	\$ 60.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
SERVICIOS ACOMODACIONES IMPRESOS Y PUBLICACIONES MATERIALES BIBLIOGRAFICO										
SUBTOTAL	\$ 1.350.000,00	\$ 35.000,00	\$ 375.000,00	\$ 35.000,00	\$ 1.125.000,00	\$ 35.000,00	\$ 1.050.000,00	\$ 35.000,00	\$ 1.350.000,00	\$ 375.000,00
TOTAL	\$ 1.780.000,00									

Fuente: elaboración propia

4. Justificación

El planteamiento del proyecto contempla la elaboración de prototipos de adobe con una mezcla cuyos materiales se basan en los del tradicional reemplazando la paja por fibras de coco y cascarilla de arroz, a la cual se le adicionan materiales reciclados como las cenizas volantes y residuos de arcilla cocida, lo cual representa una alternativa para mitigar el impacto generado por los residuos producidos en los talleres alfareros, lo que conlleva al planteamiento de un manejo y aprovechamiento de estos materiales, brindando además la opción de elaborar un ladrillo que no requiera de cocción (crudo), en consecuencia a la actividad artesanal del municipio de Ráquira. Con este material, se busca motivar la producción en cada uno de los talleres y fábricas de artesanías, en donde se espera que cada usuario pueda acceder a un material de buena calidad y disponga del mismo a través de procesos de autoconstrucción para el mejoramiento de viviendas o su comercialización, convirtiéndose así en una nueva fuente de ingresos.

Así mismo, este proyecto pretende establecer las pautas bajo las cuales cualquier persona pueda desarrollar las habilidades, destrezas y procedimiento para el manejo de los desechos obtenidos en sus talleres, así como fomentar el conocimiento y manejo de las técnicas de construcción con tierra cruda y fortalecer la apropiación de construcciones más limpias y con mejores condiciones ambientales y de confort, lo que ayudará en la conservación de los saberes ancestrales y mantendrá latente las diferentes técnicas constructivas. Todo esto se articularán con lo establecido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), buscando además mejorar las condiciones de habitabilidad, fuentes de ingresos económicos, producciones industriales más limpias y la formación de nueva mano de obra con nuevas oportunidades de trabajo.

Finalmente, esta investigación pretende ser además una muestra piloto a través de la cual se pueda dar cumplimiento a los requerimientos establecidos por las entidades ambientales, buscando minimizar el impacto negativo económico producto de las multas y cierres de talleres lo que claramente constituye tres ejes estructurantes fundamentales articulados con los ODS: el crecimiento económico, la inclusión social, la generación de nuevos empleos y la protección del medio ambiente.

Tabla 3

Objetivos de desarrollo sostenible con los que se articula la investigación.



Fuente: elaboración propia ajustada al proyecto, basada en ONU (2015).

Teniendo presente que la investigación se enmarca dentro de las metas establecidas en los ODS, se hace necesario la experimentación a fin de validar la pertinencia del uso de los materiales aquí propuestos y de las metas planteadas para el desarrollo de un modelo de gestión, reutilización y aprovechamiento de residuos en el municipio de Ráquira. Esta última fase no se contempla dentro del alcance del presente estudio.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Elaborar un prototipo de adobe estabilizado con cascarilla de arroz, fibras de coco y paja con materiales reciclados producto de los desechos producidos en los talleres artesanos del municipio de Ráquira, Boyacá, como una alternativa para la mitigación del impacto ambiental.

5.2. Objetivos Específicos

Analizar la variación en la resistencia de adobes con adición de arcilla cocida pulverizada, ceniza volante con cascarilla de arroz, fibra de coco y paja de acuerdo a los estándares de las normas técnicas vigentes.

Evaluar el comportamiento del adobe en cuanto a la plasticidad de la mezcla en diferentes proporciones de adición de desechos de artesanías y ceniza volante con relación a las condiciones climáticas locales.

Determinar el nivel de reducción del impacto generado por la adopción de reutilización de materiales de desecho en los talleres y fábricas de producción alfarera.

Realizar ensayos para determinar el comportamiento mecánico y físico de los adobes con adición de diferentes materiales, estableciendo la comparación con adobes de fabricación tradicional.

6. Antecedentes

La técnica constructiva del adobe tiene su origen cerca de los ríos Tigris y Éufrates según los yacimientos encontrados que datan del ix milenio a.C. en el territorio que definía y enmarcaba a la antigua Mesopotamia. Desde entonces se tienen registros del proceso de fabricación de los bloques a partir del moldeado directo de los mismos y puestos a secar al sol² como lo menciona (De Hoz Onrubia, Maldonado Ramos, & Vela Cossio, 2003, págs. 57-60). Dicha técnica se difundió por África y Europa en donde perdura hasta el siglo XVIII. Sin embargo y como es de esperarse, esta técnica a recibido diferentes nombres dentro de los cuales se destacan el recibido en Roma como *Later Crudus*, el cual era utilizado en la elaboración de paredes, las cuales eran posteriormente revocadas con pañete de cal. También aparece referenciado en la biblia como un ladrillo fabricado con mezcla de barro y paja el cual era producido siglos después por los egipcios.

Siglos después la tradición llega a la península Ibérica y gracias a los viajes realizados al nuevo continente, logra atravesar las fronteas oceánicas llegando a nuestro territorio cerca del año 1536, según registros de los relatos españoles. De lo anterior se tiene que, la tradición de la técnica logra subsistir al paso del tiempo, a la transferencia entre diferentes culturas, siendo los únicos cambios registrados en los “ingredientes” utilizados para la preparación de la mezcla y en algunos casos las formas y tamaños de las gaveras utilizadas. Paulatinamente se han ido eliminando aquellos materiales provenientes de animales como la sangre, la leche, el excremento, convirtiéndose en un proceso más aséptico en nuestros días. Así mismo, el redescubrimiento de la técnica ha llevado a la reutilización de materiales como la cal, el cual había sido desplazado por el uso masivo del cemento durante los años 30 y 60's. En este punto es importante hacer énfasis en los estudios realizados en la actualidad, los cuales han encontrado que la incorporación de ciertos materiales a la mezcla mejora la resistencia mecánica del bloque disminuyendo la plasticidad y consecuentemente las retracciones y disminuciones volumétricas que puede llegar a sufrir el bloque durante su periodo de fraguado. Esto se conoce también como estabilización, así como lo describe (Moreira Portillo, 2017, pág. 11): “*La estabilización propiamente dicha consiste en realizar una mejora al suelo con el fin de aumentar su*

² Cuando se habla de dejar secar al sol, se hace referencia al secado al aire libre, dado que según se describen en libros antiguos, los productores de adobe sabían que el contacto directo con la radiación solar, generaba daños en el adobe por la pérdida excesiva de agua.

resistencia, disminuir la plasticidad y las contracciones volumétricas para que este pueda ser utilizado en las diferentes obras ingenieriles. En este sentido, la fabricación de bloque y/o ladrillos de adobes con cascarilla de arroz aglomerada con cemento, cal adjuntando arena. En nuestro país se han efectuado algunos ensayos no sistemáticos, sin dejar referencias de interés. Por tanto, el tratamiento y estabilización con Cal, Cemento y arena con la cascarilla de arroz ambos en este tipo de suelo es una solución muy interesante desde los puntos de vistas económicos y técnicos”.

6.1. Materia Prima (Nombre Técnico, Tipo y Zonas de Cultivo, Periodos de Extracción).

Uno de los principales componentes de la mezcla para la elaboración de adobes son las arcillas, elementos que son constituyentes en la mayoría de rocas sedimentarias, conformados por partículas diminutas, generalmente de tamaño inferior a dos micras, cuyos minerales están constituidos principalmente por aluminosilicatos de origen secundario. Este material es muy fácil de encontrar en el municipio de Ráquira, en donde se puede encontrar un número considerable de depósitos de arcilla, con una amplia gama de colores que van desde el blanco hacia los tonos rojos y café.

Lo que se conoce como “Arcilla” es al material natural proveniente de rocas sedimentarias blandas que al contacto con el agua logran un estado de plasticidad lo que facilita el moldeo, a diferencia de su estado seco, el cual presenta un estado rígido. Este término también hace referencia a un grupo de minerales y no a un único elemento dado que, su estructura molecular más básica está compuesta por Hidrosilicatos de Aluminio ($Al_2 SiO_5$), procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como por ejemplo el granito. También se pueden encontrar algunos tipos de arcillas con sustitución total o parcial del aluminio por magnesio o hierro, lo que se puede evidenciar por su color.

Las partículas de arcilla son de tamaño muy fino y se pueden clasificar en grupos definidos como, por ejemplo, el contenido mineral (Pirofilita, Talco, Vermiculita, y micas) y caolinita y serpentina. El grupo de los aluminosilicatos amorfos y para cristalinos con sus representantes principales, alófana e imogolita, pese a su estructura poco definida, se incluyen dentro de los minerales de arcilla. “Mineralogía de Arcillas” es la ciencia que estudia la

formación y propiedades de los minerales arcillosos, además de su identificación según criterios químicos, físicos y genéticos (S.A, abril 2008).

La caracterización de la arcilla depende de la complejidad y proporción de los componentes que la constituyen, lo cual revela la importancia de su identificación y estimación. La arcilla no es una sustancia única, es una fracción heterogénea constituida por aluminosilicatos cristalinos o amorfos definidos como minerales propios de una arcilla, y minerales no arcillosos o acompañantes incluyendo silicatos, óxidos, geles, y otros. Muchas veces una pequeña cantidad de un mineral puede influir fuertemente sobre las propiedades, por lo tanto, la caracterización debe ser completa. Una correcta identificación debe preservar las características que exhiben los minerales en su estado natural y tratar de evitar reacciones que puedan modificarla. La identificación de un mineral depende de alguna característica fundamental que sea siempre la misma, independiente del modo de encontrarse o de la naturaleza del medio ambiente. Los métodos desarrollados que hacen uso para la producción de cerámica artesanal, de una propiedad particular o clase de propiedades físicas, pueden sintetizarse como: Plasticidad, Contracción, Absorción, Refratariedad. (S.A, Abril 2008).

7. Marco de Referencia

A continuación, se exponen los conceptos y lineamientos teóricos que competen al trabajo que se está adelantando, dentro de estos temas que sean tratados en cuanto a los materiales y procedimientos para la elaboración de las unidades de adobe, se cuenta con registro fotográfico de las evoluciones que, desde ya, el investigador viene realizando en materia de producción del mismo.

7.1. Definición del Adobe

Desde tiempos ancestrales las edificaciones se han elaborado principalmente, con el adobe tradicional formado de lodo: barro y arena, mezclado a veces con paja y secado al sol, el cual, ha sido usado para la construcción de viviendas tanto de las ciudades como de las zonas rurales. En la actualidad es prioritario utilizar material constructivo como el adobe de calidad, cuya principal ventaja es su bajo costo, aunado a beneficios térmicos y aislantes que difícilmente tienen otros materiales. La construcción de vivienda generalmente se realiza con materiales dispendiosos y generalmente, contaminantes ambientales en su fabricación. He aquí las principales cualidades del adobe como estrategia de sustentabilidad.

Las ventajas del adobe:

- Bajo costo.
- Permite realizar formas suaves y redondeadas.
- Permite un bajo consumo energético por sus cualidades aislantes.
- Resulta fácil de modificar en futuras reformas de muros y muy versátil para las instalaciones de tuberías y red eléctrica.
- No deja entrar los ruidos externos.
- Material sustentable que permite la economía circular.

Si a estas ventajas del adobe tradicional, se incrementan sus cualidades termo físicas, económicas y culturales, se puede obtener un material amigable con la naturaleza y también con los usos y costumbres humanos de muchas comunidades rurales, principalmente. El adobe ha sido un material de construcción milenario, según Mchenry (2008), diversas culturas tienen registro de ello. La utilización de ladrillos en formas de mayor complejidad también presupone

mayor planeación y ciertos estándares de medida, tal vez la misma vara medidora o “regla” del constructor.

Existen ejemplos egipcios del 2500 a.C. que muestran un alto grado de sofisticación... En el libro del Éxodo 5:7, se habla de la utilización de la paja y de la responsabilidad de su abastecimiento. En medio oriente, los milenios de civilización y las presiones de población crearon nuevas demandas de tierra y de asentamientos en ambientes más inclementes y áridos... Las formas de mampostería abovedada que se supone que fueron desarrolladas en medio oriente antes del periodo dinástico egipcio se extendieron hasta el norte de África y luego hacia las ciudades romanas. Más tarde, las invasiones moras en España diseminaron el uso de estas formas ahí. Y a su vez, fueron exportadas hacia el hemisferio occidental por los exploradores españoles (Mchenry, 2008: 18-19).

Asimismo, este autor comenta que los exploradores españoles encontraron en el suroeste de Estados Unidos pueblos de adobe en 1540, y hacia 1590 los colonos del sur llevaron la tecnología del adobe a un área con un largo historial de construcción con tierra. La utilización del ladrillo de adobe, que los indios Pueblo no conocían excepto en formas rudimentarias llegó a establecer estándares durante varios siglos.

El adobe artesanal es ampliamente utilizado por la abundancia de sus componentes, su bajo costo, y la excelente protección que brinda ante condiciones climáticas adversas. Su proceso de fabricación consiste en elegir una zona cercana al predio de construcción para excavar y extraer tierra, la cual se combina con pasto seco y agua hasta lograr una consistencia pastosa. “La mezcla es vertida en moldes de madera y se deja secar al aire libre. La compactación manual o en prensas, o el empleo de estabilizantes o cementantes en la pasta son poco comunes” (Arroyo y otros, 2013: 169). El adobe reforzado con fibras vegetales además de aportar las ventajas ya mencionadas, también podría apoyar al trabajo de artesanos mexicanos. Ya que la actividad artesanal ha formado parte de la historia del hombre. Una de las funciones más importantes ha sido la de, precisamente, mantener la identidad cultural, y son el reflejo de los orígenes del hombre, de sus costumbres y tradiciones. Por otro lado, éstos también cumplen con una función económica, esta función, permite tener acceso a fuentes de trabajo y con ello, permitir la subsistencia de algunas comunidades. Tradicionalmente la mezcla más utilizada para la elaboración de adobe contiene un 20% de arcilla y un 80% de arena y agua, se introduce en moldes, y luego se deja secar al sol por lo general de unos 25 a 30 días. Para impedir que se

agriete al secar se añaden a la masa fibras naturales como paja, zacate, crin de caballo, heno seco, que sirven como armadura. Se han realizado diversas investigaciones acerca de la fabricación de adobes. En los resultados de los estudios de Rodríguez-Díaz y otros (2014), se dan recomendaciones para evitar el ascenso de la humedad por capilaridad, sobre la velocidad de levantamiento, la longitud de muro adecuada, el mortero de unión tanto de adobes entre sí como de adobe con otro material, el cerramiento, los dinteles, la protección de vanos, así como para el revestimiento adecuado para la protección del muro de adobe del intemperismo.

La transformación del adobe ha permitido modificar, controlar y estabilizar diferentes propiedades inherentes al material. Entre las principales, se distinguen la plasticidad, adhesividad, compactación, espacio poroso y fundente. La incorporación de materiales orgánicos tales como ramas, pasto o paja en la pasta de suelo, ha permitido una adecuada aglutinación, alta resistencia a la intemperie y dureza para que no se agriete.

7.2. Proceso de Fabricación del Adobe

Como se dijo anteriormente, la técnica de fabricación del adobe no ha sufrido grandes cambios dentro de sus procedimientos. Los cambios que se han registrado han sido a nivel de componentes constituyentes de las mezclas, los cuales, en algunos casos, han sido reemplazados, abolidos o se han incorporado nuevos materiales buscando siempre mejorar la resistencia de los mismos.

Para este trabajo, se tomó como base la técnica de producción tradicional, para poder tener una base de comparación del proceso y minimizar alteraciones y los resultados que se puedan dar por cambios durante el desarrollo de las fases de fabricación. Se mantuvo la mezcla original (se mantuvo de base, pero no se incluyó un material cementante como la cal o el cemento mismo, y las fibras de paja fueron reemplazadas por fibras de coco y cascarilla de arroz. así desde la selección de la tierra, las pruebas necesarias para verificación de la plasticidad de la mezcla, su comportamiento.

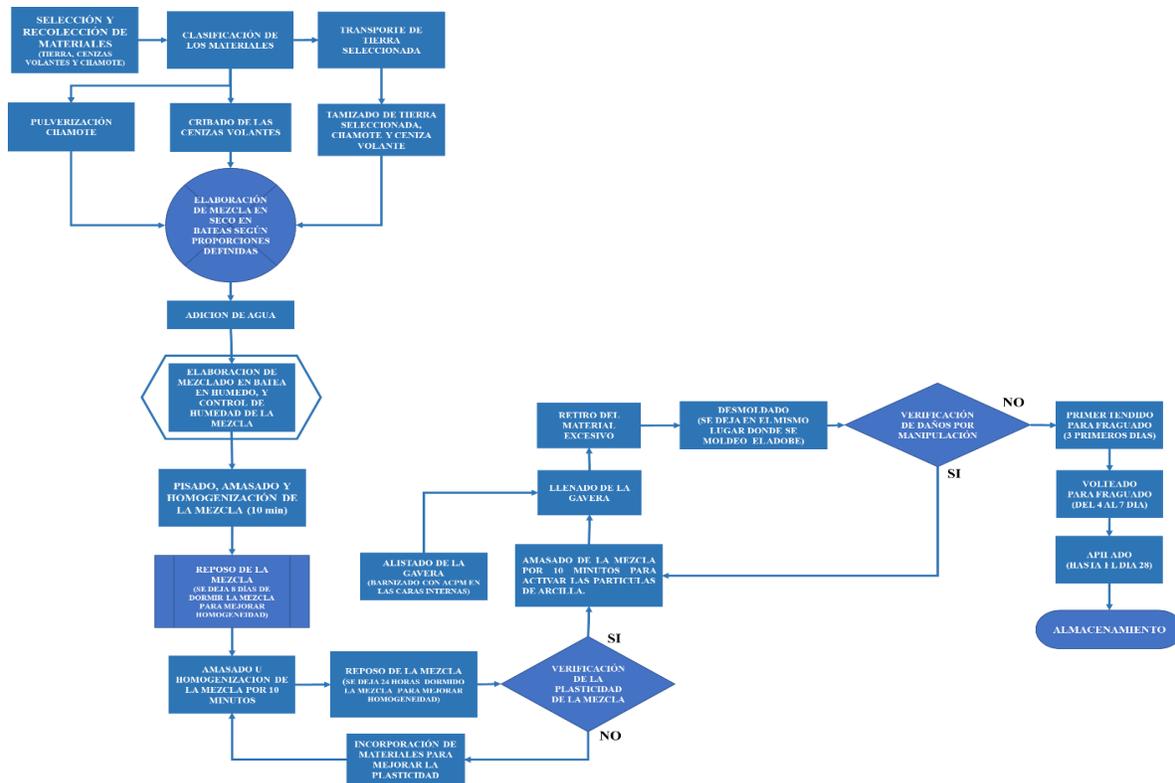


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso desarrollado para la fabricación del adobe, fuente: elaboración propia. Nota: proceso desarrollo para la fabricación de adobes reforzados con fibras naturales y aglomerantes

7.3. Ensayos de Control Realizados

Dentro del proceso de fabricación de los adobes, y según recomendaciones hechas por varios de los autores consultados, a continuación, se presentan los ensayos y pruebas que se realizaron a cada una de las muestras durante la fabricación de los adobes, con lo cual se logra determinar si la tierra a utilizar es apta para el desarrollo de estos elementos para la construcción de muros.

Estos procedimientos se han determinado como estándares no solo para este trabajo, sino en ámbitos profesionales de acuerdo a las experiencias en la cuales se participó durante la carrera, como por ejemplo las salidas de campo realizadas en la materia Electiva de Profundización I – Arquitectura en Tierra y Patologías. Por esta razón, a continuación, se exponen dichos procedimientos los cuales son recurrentes en varios libros como los de

CraTerre, Gernot Minke (2001) y Arquitectos sin fronteras (2001). Los ensayos aplicados fueron:

7.3.1. Ensayo de lavado.

Se toma una muestra de la mezcla húmeda y se frota entre las manos. En esta primera experiencia si se logra percibir partículas claramente, esto da una indicación de que la muestra tiene contenido arenoso o gravoso; si la muestra tiende a ser pegajosa, y las manos pueden limpiarse al frotarlas cuando se secan, esto quiere decir que el suelo tiene un contenido limoso. Ahora, si la muestra es pegajosa, haciendo necesario el uso de agua para lavarlas esto indica que el barro es arcilloso. Lo anterior se puede verificar, además introduciendo las manos en un recipiente con agua, sin frotarlas. Al momento de sacarlas, se verifica que material queda en las manos. Si hay residuos de material se confirma la presencia de arcillas, dado que las arenas y los limos se lavan fácilmente por su baja cohesión.

7.3.2. Ensayo de corte.

Una muestra húmeda de barro se moldea hasta formar una bola. Luego se corta con un cuchillo y se deberá tener en cuenta lo siguiente: si la superficie cortada es brillante significa que la mezcla tiene un alto contenido de arcilla; o bien si la superficie es opaca indica un alto contenido de limos y arenas.

7.3.3. Ensayo de sedimentación.

Se toma un recipiente transparente, preferiblemente de vidrio con fondo plano, y cuerpo recto (a manera de probeta) y sobre su cara externa se toman medidas que definan la altura desde el fondo hasta el cuello del mismo. Esta dimensión se divide en tres partes y se marcan. Luego se llena el primer tercio con muestra de la tierra y luego se lleva hasta la altura del cuello con agua. Se agita vigorosamente la muestra durante unos 30 minutos y luego se deja reposar en algún lugar donde el recipiente no se mueva o agite. Con esta prueba se puede establecer el porcentaje del contenido de materiales finos de la muestra dado que las partículas mayores se

asientan primero en el fondo del recipiente y las más finas se van depositando en las capas superiores. Según (Minke, 2010), los datos de esta prueba tendrían un porcentaje de error o variación cercano al 30%. Sin embargo, estos resultados fueron comparados bajo los estándares realizados en un laboratorio de tierras y el rango de variación por error se redujo al 5%.

7.3.3. Ensayo de consistencia.

Se forma con tierra húmeda una bola de 2 a 3 cm de diámetro. Con esta bola se forma un rollo de 3 mm de diámetro. Si el rollo se parte o desarrolla grandes fisuras antes de alcanzar 3 mm de diámetro la mezcla deberá ser humedecida gradualmente hasta que el rollo se parta solamente cuando haya alcanzado un diámetro de 3 mm. Con esta mezcla se forma una bola nuevamente. Si no es posible formarla, entonces el contenido de arena es muy alto y el de arcilla muy bajo. Si la bola se puede deshacer entre los dedos pulgar e índice con mucha fuerza, el contenido de arcilla es alto y debe rebajarse añadiendo arena. Si la bola se deshace fácilmente, entonces el barro contiene poca arcilla.

7.3.5. Ensayo de cohesión.

Se retiran las gravas de la muestra. Se moja, se mezcla y se deja reposar la tierra una media hora hasta que la arcilla pueda reaccionar con el agua. La tierra no debe ensuciar las manos. Sobre una plancha, se moldea un cigarro de 3 cm. de diámetro. Se empuja lentamente el cigarro hacia el vacío. Se mide el largo del pedazo que se desprendió. Se realiza 3 veces y se hace una media. Entre 7 y 15 cm es una tierra conveniente.

7.3.6. Ensayo de resistencia.

Esta prueba determina también la cantidad de arcilla que contiene un suelo. Se humedece la muestra hasta que el material esté blando, pero de modo que conserve su forma. Se hace con él cinco tabletas de 5cm de diámetro y 1 cm de espesor y se secan al sol. Una vez bien secas, se trata de pulverizarlas aplastándolas con el índice y el pulgar.

7.3.7. Ensayo de retracción.

Se hace una mezcla moldeable que se coloca en una caja de 4x4x40 cm. Se deja secar a la sombra. Cuando la mezcla se levanta en forma curva en el centro, como un pastel, la tierra no sirve. Normalmente la mezcla se encoge y muestra grietas. Se coloca toda la mezcla de un lado H. (2012, 14 junio). y se miden los centímetros que la mezcla ha encogido. La mezcla no debe encoger más de una décima parte de su largo, o sea 4 cm.

7.4. Ensayos de Campo con Adobes.

- Ensayo de resistencia a flexión. Se pone un adobe sobre otros dos separados la mitad de su longitud. Se pisa con fuerza. Debe aguantar y no romperse

- Ensayo de absorción de agua. Se mantiene un adobe bajo agua durante cuatro horas. Se rompe y se comprueba que la parte mojada no supere un centímetro de profundidad.

- Ensayo de resistencia a flexión en condiciones de humedad. Se mantiene un adobe bajo agua durante cuatro horas y se coloca encima de otros dos separados entre si la mitad de su longitud. Enseguida se colocan encima 6 adobes más. Deberá aguantar el peso por lo menos un minuto antes de romperse.

7.5. Tamaño de los Adobes

Los adobes presentan diferentes dimensiones, siendo las más comunes las de proporciones 30x30x10cm, o 40x40x10 cm. (Largo x Ancho x Grueso) y piezas correspondientes a la mitad de dimensiones 30x14x10 cm y 40x19x10 cm. Según la literatura consultada, estas proporciones permitirían la construcción de un muro de 4 metros de alto con un espesor mínimo de 40 centímetros de ancho. Según (Desarrollo, 2011) una medida inferior a 38 centímetros de espesor del muro no es recomendable dado que no hay un aprovechamiento térmico del material.

Además *“hay que pensar en los tamaños (y gastos) de la madera, si la casa lleva un anillo de madera a la altura de las puertas y ventanas. Tamaños estándar de vigas que se pueden usar para el anillo son: 10 x 15 cm para un adobe de 28 cm, y 15 x 20 cm para adobes*

de 38 cm. Para el anillo, por lo general, se usan dos vigas, empleando como base su lado más ancho, 30 y 40 cm respectivamente. Se podría recomendar hacer un adobe de 38 x 35 x 12 cm y para una estructura pequeña el tamaño de 28 x 25 x 12 cm. Con estos tamaños se asegura que el repello aplicado se queda más alineado con las vigas del anillo. Para estructuras pequeñas se puede usar un adobe de 25 x 13 x 12 cm, y 25 x 15 x 12 cm si no se aplica un repello. Tenga en cuenta que para una casa de dos pisos generalmente se reduce el tamaño del adobe en el segundo piso por un 10% para reducir el peso! A cualquier casa le conviene un muro grueso por razones de estabilidad (particularmente en zonas sísmicas), aspecto estético y del factor térmico”.H. (2012, 14 junio).

De acuerdo con lo anterior, el tamaño de la gavera que se utilizó para la elaboración de las probetas fue de 30 x 14 x 10 centímetros como se evidencia en el registro fotográfico en la figura 3.



Figura 3. Diseño de gavera, fuente: elaboración propia.

7.5.5. Propiedades mecánicas de los adobes

Adobe, según la RNE E.080 lo describe como un bloque sólido de tierra cruda, que logra incluir varios materiales como paja u otros que optimice su seguridad ante los agentes externos, especifica los requisitos para el tipo de suelo que se debe usar en su fabricación, no se debe elaborar el adobe con suelos orgánicos. Es muy importante mantener las proporciones dadas, porque si se aumentara el porcentaje de arcillas para la elaboración de adobe produciría grietas internas que generan contracción de secado, si se aumentara el porcentaje de arena disminuirá

la cohesión en el caso de usar suelos orgánicos disminuirá su resistencia a compresión y a la humedad.

Según Reyes (2007). El comportamiento del adobe estará sujeto a las propiedades del suelo que se utilizará para su producción. Los suelos que tienen mayor cantidad de arcilla requieren que se mezclen con otros materiales para poder balancear la contracción, propagación que genera fisuras y deformaciones. La unidad de adobe no necesita usar combustibles, por tanto, es mucho más económico en un 40% en relación al adobe de barro cocido.

Una unidad de adobe se elabora con una combinación de agua, tierra y paja que se pone en moldes hechos generalmente de madera, se deja secar en el sol, durante 28 días o como mínimo 21 días en la actualidad hay numerosos procedimientos para la preparación del adobe se tienen la posibilidad de dividir en 3 grupos: adobe no estabilizado, semi - estabilizado y estabilizado. Alday (2014). También Martínez y Crespo (2017), manifiestan que el adobe es un es un bloque de barro prismático que tiene distintas dimensiones, que posteriormente se dejan secar bajo el sol. Aunque no haya tamaños estandarizados, suelen tener tamaños semejantes para lograr un ensamblaje correcto.

Según (Cáceres Aguirre, 2021), los principales componentes que se usan en la elaboración del adobe son: Los suelos arcillosos es el material primordial del adobe, ya que al estar en contacto con agua el amasado se realiza de manera fácil, tiene un comportamiento plástico ya que permite unir todas las partículas del suelo, y al secar pueda ser utilizado en construcciones RNE E 080(2017), también se utiliza los suelos limosos, que pasan la malla N°200 (75 μ m), son suelos no plásticos, muestran muy poca o casi nada de resistencia. Según el RNE E 080 (2018), el suelo para la elaboración del adobe debe contener los siguientes porcentajes: arcilla del 10 – 20%, limo del 15 – 25% y arena del 55 – 70% sin utilizar suelos orgánicos. Este puede cambiar para adobes estabilizados.

Se sugiere mojar el suelo y eliminar las piedras y elementos mayores a 5 mm de diámetro y partículas que no sean parte componentes, se debe dejar reposar el suelo humedecido por un periodo de 8 días o por lo mínimo de 48 horas y al finalizar el adobe debe ser secado bajo sombra durante 28 días o por lo mínimo 21 días para que obtenga un mejor secado y así no se ocasionen fisuras o agrietamientos en los adobes.

7.5.6. Dimensiones del adobe según diferentes autores

Según (Benites Zapata, 2017), la diversidad de definiciones, el tipo de suelo, su composición y dimensiones de las unidades de adobe son también variables. Para su fabricación se utilizan moldes de distintas formas, tamaños, y materiales; el molde no necesariamente tiene que ser rectangular, pues existen formas variadas dependiendo del lugar de fabricación: los hay cónicos, cilíndricos, trapezoidales, etc., tal como se ve en la Figura 1. Cada una de estas formas se empleó en civilizaciones antiguas como Babilonia, Grecia, Egipto, etc., en donde cada uno de ellas fue evolucionando a través de pruebas durante siglos.

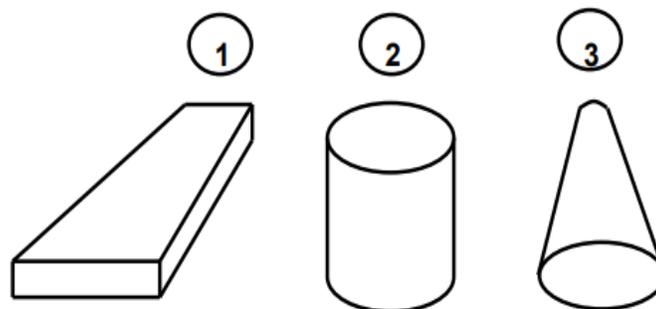


Figura 4. Formas de los adobes en la antigüedad, Fuente: Elaborada por (Benites Zapata, 2017).

Nota: 1) trapezoidales. 2) Cilíndricos. 3) Cónicos.

Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada o rectangular del adobe y una relación longitud / altura tal, que garantice su traslape tanto en la dirección vertical como horizontal. Bajo estas consideraciones, las dimensiones para esta forma prismática tendrán en cuenta que el largo no debe ser mayor que el doble de su ancho y la relación entre el largo y la altura sea de 4 a 1. Ibid (2017).

Las referencias encontradas en cuanto a dimensiones del adobe se organizaron en la siguiente tabla.

Tabla 4

Dimensiones del adobe

AUTOR	DIMENSIONES DEL ADOBE
Norma E.080	Los Adobes son rectangulares y su dimensión del largo debe estar en relación a 2 a 1 con el ancho. Por lo tanto, el largo y la altura deben tener una relación de 4 a 1.
Vélez (2010)	Rectangulares 25 x 35 x 10 cm
Morales et al. (1993)	Su longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega; sugiere que tanto la longitud como el ancho tengan una dimensión máxima de 40 cm, una altura máxima de 10cm en lo posible y que la relación entre la longitud y la altura sea aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos. Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada del adobe y las dimensiones más adecuadas para su fabricación son 38 x 38 x 8 cm.

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, los adobes establecidos para el desarrollo de la investigación, se ratifican en forma rectangular teniendo en cuenta el rango de dimensiones sugeridas cuya longitud no sobrepase el doble del ancho, con una altura mínima de 10cm y mayor a 8 cm; con ancho entre los 14 y 15cm y largo entre los 30 cm y 40 cm.

7.6. Adobe estabilizado

El adobe estabilizado presenta mejores características que el adobe tradicional. Los procesos de construcción con los años han cambiado y se ha empezado a olvidar de utilizar la técnica de los adobes por lo cual la estabilización de los adobes han mejora la estabilidad y sus características mecánicas por lo cual se requiere hacer unos estudios y experimentar su producción para mejorar su calidad a la hora de elaborarlos.

7.6.1. Tipos de estabilización.

Según (Benites Zapata, 2017), existen diversas formas de estabilizar los adobes la mecánica en la que se logra mejorar el suelo considerablemente a través de la compactación, la estabilización física en la que se utiliza la combinación de diferentes materiales, hasta las químicas que utilizan diversos aditivos de naturaleza. Las formas de estabilización sugeridas por el autor son:

7.6.1.1. Estabilización física. El estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra, como la estabilización con fibras o la estabilización granulométrica. Las fibras naturales y artificiales, crean un armazón interno que mejora el reparto de las tensiones de la matriz terrosa, incrementando la resistencia a flexión y a cortante, mejorando la resistencia a la compresión y reduciendo la fisuración por contracción de secado causados por cambios de humedad y temperatura mediante el trazado de un sistema de micro fisuras. La cantidad de paja debe ser la máxima posible siempre que permita un mezclado apropiado de mortero. Las fibras conforman una especie de red a la que se adhieren las partículas del suelo y que controla su desplazamiento, dilatación y retracción durante el fraguado. Se puede hacer uso de materiales fibrosos de origen vegetal como la paja de diferentes gramíneas, virutas de madera, acículas de pináceas, cáscaras de coco, tallos del maíz y fibras de pita o sisal. También se pueden emplear materiales de origen animal provenientes de la lana de ovejas o cabras, crines de caballo, pelo de llama o hasta cabello humano. Las fibras empleadas para estabilizar la tierra, además de evitar la aparición de fisuras, siguen trabajando en los edificios con el paso del tiempo, al funcionar como “articulaciones” que flexibilizan las estructuras ante posibles fallas derivadas de sobrecargas o movimientos sísmicos. Asimismo, las fibras modifican la textura de los componentes constructivos haciéndolos más ásperos, con lo que se incrementa notablemente la adherencia entre ellos y con el resto de los componentes estructurales y los revestimientos. (Benites-Zapata, 2017).

7.6.1.2. Estabilización química. El producto que se añade modifica la estructura granular, proporcionando cohesión y disminuyendo la excesiva plasticidad, como por ejemplo los aceites naturales, cal viva o apagada, productos puzolánicos, cementos, yesos, resinas, polímeros, etc.

7.6.1.3. Estabilización mecánica. Aumenta la compacidad del material, puede ser estática, dinámica o mixta, y normalmente se consigue por compactación de suelos. La compactación aumenta la densidad del adobe, incrementando su resistencia mecánica, debido a que se disminuye la porosidad total y la porosidad de aireación del suelo, haciéndolo más denso en relación del adobe tradicional.

7.7. Aglomerantes Utilizados

7.7.1. La fibra de coco.

Este término que se utiliza para describir una gama de productos naturales fabricados a partir de cáscaras de coco que se emplean en aplicaciones hortícolas. Aunque también se le conoce como “turba de coco”, no es turba y, por lo tanto, resulta incorrecto utilizar ese nombre.

La fibra de coco es un producto secundario de la industria del procesamiento de la fruta, en el que se manipulan las cáscaras del coco para extraer las fibras para diversos usos. Las cortezas del coco pasan por un proceso de trituración en el que se separan las fibras más largas en una gama de tamaños y de partículas, de acuerdo con la aplicación prevista. Un ejemplo de estas fibras se muestra en la Figura 5.

Existen varios tipos de fibras dependiendo el lugar de extracción de las mismas, como por ejemplo las que se obtienen a partir de las cáscaras de coco, o de la médula de coco (también conocida como polvo de fibra de coco) y las virutas de fibra de coco (trozos). Estos materiales tienen la facultad de poder intercambiar agua con gran facilidad ya que la humedad puede existir en la fibra en dos diferentes estados: como agua libre o vapor de agua dentro de las cavidades de la fibra y como agua constituida o de enlace.



Figura 5. Fibras de coco obtenidas, fuente: elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que estas fibras presentan menor resistencia a la tensión respecto a otras fibras vegetales, sin embargo, son más resistentes a las alteraciones que se puedan producir por acción o presencia del agua. Por esta razón, se puede decir que este material tiene la ventaja de poderse estirar más allá de su límite elástico sin romperse aun cuando estén mojadas, lo que además les permite poder mantenerse estirada por siempre.

Por lo anterior se considera el uso de estas fibras a la mezcla del adobe, lo cual tiene como finalidad el mejorar las características físicas y mecánicas, lo que permite un mejor comportamiento ante las acciones de los agentes atmosféricos del medio ambiente en la zona de uso propuesta.

7.7.2. La cascarilla de arroz.

Este material también es obtenido a través de un proceso industrial de los granos de arroz. La cascarilla de arroz, constituye el elemento de recubrimiento del grano y presenta una consistencia frágil, de apariencia arrugada y con una variación de colores que van desde el pardo rojizo hacia el púrpura oscuro. Su forma en sección es cóncava y de baja densidad, lo que le da propiedades volátiles. También tiene un alto contenido de celulosa y otros elementos como hemicelulosa, lignina y cenizas. De acuerdo con (Huaranca Quito & Vasquez Ramírez, 2020), al mezclarse únicamente con el de cemento y cal, modifica desfavorablemente las características de fraguado y endurecimiento propias al aglomerante. Ahora este fenómeno se puede incrementar cuando la corteza no ha sido lavada y contiene partículas de polvo, las cuales a su vez contienen porcentajes variables de materia orgánica que, durante las condiciones de

servicio, pueden afectar al elemento que constituyen permitiendo la entrada de líquidos en las unidades de la construcción.



Figura 6. Cascarilla de arroz, fuente: elaboración propia.

“Para solucionar algunos de estos problemas se encontraron varias alternativas. La primera consistió en la rapidez del recurso de fraguado por la adición de un acelerante, evitando de esta manera la acción de los elementos orgánicos de la materia. Otra decisión se encuentra en el lavado de la corteza del arroz, para sacarle el polvo y las materias desprendidas durante la recolección de este material”. (Huarancca Quito & Vasquez Ramírez, 2020).

7.7.3. La Paja.

La paja es una fibra vegetal resistente para la realización de adobes o para muros de tapia pisada es un aglomerante para darle mejor estabilidad o para uso de aislamiento térmico.

La paja es utilizada en diferentes construcciones que pueden ser parte de muros, suelos y cubiertas, lo aplican en diferentes sistemas constructivos. Sus propiedades naturales son transpirable y reguladora de humedad, ya que permite que los adobes o los muros transpire absorbiendo y eliminando la humedad que pueda contener por ello de esta manera se contemplan espacios ambientales agradables para ser humano.

Los adobes o muros con paja absorben y reparte las cargas, además de su propio peso, es un material natural saludable y sostenible que se puede obtener del trigo o residuos agrícolas.



Figura 7. Fibras de paja utilizada en adobes tradicionales, fuente: elaboración propia

7.7.4. Ceniza de carbón mineral o cenizas volantes.

Las cenizas volantes son el residuo fino dividido resultante de la combustión del carbón, ya sea en trozos o en polvo, el cual es transportado desde su almacenamiento por los gases de combustión (Rivva L., 2008).

Esta ceniza volante, obtenida de la quema del carbón utilizado como combustible en la generación de energía eléctrica, es considerada como un contaminante siendo beneficioso cuando es adicionada al concreto, en cantidades pequeñas, para mejorar su resistencia, ya que el aumento del contenido de cenizas del 15 al 35% no modifica significativamente el comportamiento mecánico del material (Molina B., Moragues T., & Gálvez R., 2008). La ceniza volante no es muy utilizada en nuestro país debido a la falta de difusión acerca de los beneficios que podría generar en el concreto, en países de mayor desarrollo tecnológico se viene usando como un subproducto para la elaboración de cementos y concretos adicionados. (Samuel Huaquisto Cáceres, 2018).

La ceniza volante es uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y hormigones (Rodríguez S., 1988), conocida también como ceniza de combustible pulverizado, es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que funcionan a base de carbón, y es la puzolana artificial más común (Neville M., 1988), en sus componentes prevalecen elementos minerales. La adición de las cenizas al concreto reduce su costo, se utiliza menos cemento y se mejora algunas de sus propiedades como su trabajabilidad, durabilidad, densidad y sangrado, su impermeabilidad, su

resistencia al ataque químico sobre todo de sulfatos y su resistencia a la compresión. (Samuel Huaquisto Cáceres, 2018).

Las cenizas volantes son residuos que se generan debido a la combustión del carbón, esta combustión se genera en calderas de gran capacidad para el caso de las termoeléctricas o hornos industriales que se utilizan para la cocción de ladrillos o artesanías. Estas calderas cuentan en su estructura con un precipitador electrostático que permite separar las cenizas y conducir las por ductos o rejillas que tiene estos hornos. La calidad de la ceniza varía de acuerdo al tipo de combustión o temperatura y a la fuente de carbón que se utilice para la cocción de dichas producciones.



Figura 8. Combustión del carbón, fuente: elaboración propia.

7.7.5. Tiesto molido o chamote.

Este material proviene del polvo de artesanías cocinadas o arcilla calcinada, generalmente de color grisáceo o naranja, son los restos de cerámicas cocidas y sin esmaltar de piezas que salen falladas en las fábricas de lozas, como nada se tira, se las muele o pulveriza y según como se la muele se le da distintos nombres: impalpable (porque parece azúcar impalpable); fino (arena muy fina); mediano (granos de arena gruesa); grueso (vemos los pedacitos como si fueran pequeños guijarros). Se usa como antiplástico, esto es que le da cuerpo a la pasta y disminuye el encogimiento en el secado. Sin embargo, el uso de este material puede reducir de manera considerable la porosidad del adobe, al ser mezclado con materiales cementantes como la cal.



Figura 9. Pulverizar arcilla cocinada o chamote, fuente: Elaboración propia.

7.8. Ensayos Para Evaluar las Propiedades del Adobe Estabilizado.

Para poder determinar la eficiencia de los adobes, las probetas realizadas se sometieron a tres ensayos específicos que fueron: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y absorción.

7.8.1. Resistencia a la compresión.

Por medio de esta prueba se reconoce la funcionalidad del adobe donde se obtiene cuando se divide las cargas de rotura (P_u) entre el área bruta (A). por lo tanto, cuando los adobes son sólidos, el área neta de la unidad de adobe hueca se toma el área bruta como divisor para tener resultados exactos. Gallegos & Casabonne, (2005).

Según Alday (2005), las carga que actúan en un cuerpo, generan diferentes fuerzas internas, que es la resistencia interior que se genera por una fuerza externa, es la magnitud. Por otro lado, el esfuerzo indica la magnitud de fuerza, entonces la resistencia de los materiales es la resistencia que tienen al resistir fuerzas externas. El esfuerzo que se da en la compresión es la presión que genera la reducción de volumen. Para el cálculo de esto se tiene la siguiente fórmula:

$$f'b = \frac{P_u}{A}$$

Donde:

$f'c$ = hace referencia a la resistencia a la compresión expresada en kg/cm².

P_u = a la carga aplicada hasta la rotura la cual se expresa en kg.

A = es el área bruta de aplicación de la carga correspondiente a la cara del adobe expresada en cm².

7.8.2. Resistencia a la flexión.

Según Gallegos & Casabonne (2005), estos ensayos se realizan con la máquina de compresión sobre el adobe completo donde se apoya con una luz no mayor de 18 cm y se carga al centro. El módulo de rotura de la unidad se halla mediante el promedio de las roturas de 6 muestras ensayadas. NTP. 399.613, (2003). Usando la siguiente ecuación se puede obtener el módulo de rotura:

$$f_t = \frac{3W * L}{2b * d^2}$$

En donde:

f_t = Resistencia a flexión del espécimen (Kg/cm²).

W = Carga máxima aplicada (Kg). L = Distancia entre apoyos (cm).

b = Ancho promedio del espécimen en el plano de falla. (cm).

d = Espesor promedio del espécimen en el plano de falla, (cm).

El módulo de rotura del lote se determinará como el promedio de los módulos de rotura de los especímenes ensayados. (NTP. 399.613, 2003).

7.8.3. Absorción de agua.

Según Pozo y Días (2019). es la absorción de agua es muy importante ya que así se halla la relación mortero – adobe en la cara de contacto. Cuando la succión es muy alta la unidad de adobe se puede deformar y endurecer lo que impide el contacto con completo con la unidad adyacente lo que generaría una mala adhesión dejando uniones con baja resistencia. Para succiones que son mayores a 40 gr/min en un área de 200 cm² es necesario que al momento de la construcción de la vivienda las unidades de adobe se humedezcan antes para poder de esta manera modificar la succión del asentado. Se asume que la succión define a la capacidad de

adhesión que tiene el mortero y la unidad de adobe, la succión que está entre los 15 - 40 gramos generan mejor adhesión con el mortero. La fórmula utilizada para hallar el coeficiente fue:

$$Ca = \frac{(P1 - P2) * 200}{A}$$

Donde:

P1 = Peso de la unidad después de secar en estufa.

P2 = Peso de la unidad en gr. Luego de haberle sometido una película de agua.

8. Marco Normativo

8.1 Norma Técnica Internacional

8.1.1. Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada

8.1.1.1. Disposiciones Generales.

Artículo 1.- Alcance.

1.1 La norma es de alcance nacional y su aplicación es obligatoria para la elaboración de materiales de construcción para edificaciones de tierra reforzada (adobe reforzado y tapial reforzado).

1.2 La norma se refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra reforzada, a los elementos estructurales fundamentales de las edificaciones de tierra reforzada, así como al comportamiento de los muros de adobe y tapial, de acuerdo a la filosofía de diseño sismorresistente.

Las edificaciones de tierra deben ser construcciones reforzadas para conseguir el comportamiento siguiente:

a) Durante sismos leves, las edificaciones de tierra reforzada pueden admitir la formación de fisuras en los muros.

b) Durante sismos moderados, las edificaciones de tierra reforzadas pueden admitir fisuras más importantes, sin embargo, están controladas por refuerzos, sin producir daños a los ocupantes. La estructura debe ser reparable con costos razonables.

c) Durante la ocurrencia de sismos fuertes, se admite la posibilidad de daños estructurales más considerables, con fisuras y deformaciones permanentes, pero controladas por refuerzos. No deben ocurrir fallas frágiles y colapsos parciales o totales, que puedan significar consecuencias fatales para la vida de los ocupantes.

8.1.1.2. Consideraciones generales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada.

Artículo 5.- Requisitos de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada

- Tierra: Debe verificarse que la tierra contenga adecuada presencia de arcilla mediante las pruebas indicadas de la presente Norma. Asimismo, que se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica.

Su resistencia debe cumplir lo indicado en:

a) Artículo 8, inciso 8.1 o 8.2 (para tapial).

b) Artículo 8, inciso 8.1 o 8.2 y 8.3 (para adobe).

- Agua: Debe cumplir las características siguientes:

a) Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.

b) Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.

c) El agua de mar sólo puede emplearse si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión.

Artículo 6.- Criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada.

- Las edificaciones de tierra reforzada, deben cumplir con los siguientes criterios de configuración:

- Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro es de 0.40 m. Solo para el tipo de muro indicado, puede utilizarse un espesor mínimo de 0.38 m según se muestra en el aparejo correspondiente.
- Los muros deben tener arriostres horizontales (entrepisos y techos) así como arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales).
- La densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo indicado - Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.
- Tener una planta simétrica respecto a los ejes principales.
- El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea.
- Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

8.1.1.3. Construcción de edificaciones de adobe reforzado

Artículo 17.- Condiciones de la tierra a utilizar.

- Una vez comprobada la presencia de arcilla de un suelo mediante la prueba “Cinta de barro” y la prueba “Presencia de arcilla” o “Resistencia seca” es necesario equilibrarla u optimizarla para que se controlen o eviten las fisuras de secado y se mejore la resistencia seca. Su resistencia debe cumplir lo indicado en los numerales 8.1 o 8.2 y 8.3 del artículo 8. 1.
- Con el control de fisuras mediante la adición de paja, se controla el agrietamiento del adobe y del mortero durante el secado con paja o fibras similares.
- En ausencia de paja, para el control del agrietamiento se debe utilizar arena gruesa. Para verificar la combinación de arcilla y arena gruesa se realiza la prueba indicada en la Prueba de “Control de fisuras” o “Dosificación suelo-arena gruesa”.

- Es importante controlar adecuadamente el contenido de humedad, para evitar o disminuir las fisuras de secado. En general, debe utilizarse la menor cantidad de agua que logre activar la arcilla existente, para alcanzar la máxima resistencia seca de los muros. 17.5 La cantidad de agua requerida para moldear las unidades de adobe, no debe pasar del 20% respecto al peso del contenido seco.

Artículo 18.- Calidad, preparación, formas y dimensiones del adobe.

- Debe recurrirse a las pruebas de campo para confirmar la presencia suficiente de arcilla y conocer la combinación adecuada de arcilla y arena gruesa realizando lo indicado de la presente Norma.

- Se debe cernir la tierra antes de preparar el barro y luego someterla a un proceso de hidratación sostenida por lo menos 48 horas (Ver definición de dormido en el numeral 12 del artículo 3 de la presente Norma).

- El secado del bloque de adobe debe ser lento, para lo cual se realiza sobre tendales protegidos del sol y del viento. Sobre el tendal (que no debe ser de pasto, ni empedrado, ni de cemento) se debe espolvorear arena fina para eliminar restricciones durante el encogimiento de secado.

- El bloque de adobe terminado debe estar libre de materias extrañas, grietas u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

- El bloque de adobe puede ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros, de formas especiales, pueden tener ángulos diferentes de 90°.

- El bloque de adobe cuadrado no debe sobrepasar los 0.40 m. de lado, por razones de peso.

- El bloque de adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho. 18.8 La altura del bloque de adobe debe medir entre 0.08 m y 0.12 m.

Artículo 20.- Reforzamiento

Las edificaciones de adobe reforzado deben cumplir con lo indicado en el artículo 6 de la presente Norma.

8.2. Norma técnica colombiana NTC 4017. “métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”.

8.2.1. Módulo de rotura (ensayo de flexión)

8.2.1.1 Especímenes de ensayo. Los especímenes de ensayo deben ser cinco (5) unidades completas y secas (véanse los numerales 5.1 y 5.2).

8.2.1.2. Procedimiento.

A. Se coloca el espécimen con el lado plano hacia abajo, a menos que se especifique algo diferente, lo cual se debe consignar en el respectivo informe, (es decir, se aplica la carga en la dirección de la profundidad de la unidad). Los soportes deben ser barras sólidas de acero de diámetro 25,4 mm \pm 1,0 mm cuyo centro debe estar colocado a 12,5 mm \pm 2,0 mm de cada borde del espécimen, el cual se carga en el centro de la luz de apoyo (véase la Figura 1). Si los especímenes tienen reentrantes o ranuras, se colocan de tal manera que estas depresiones o ranuras queden en el lado de compresión. La carga se aplica a la cara superior del espécimen mediante una placa de apoyo de acero de 6,0 mm de espesor y 38,0 mm de ancho; su longitud debe ser como mínimo igual al ancho del espécimen.

B. Es necesario cerciorarse de que los soportes del espécimen están libres para rotar en dirección longitudinal y transversal a éste y se deben ajustar de manera que no ejerzan fuerza en estas direcciones.

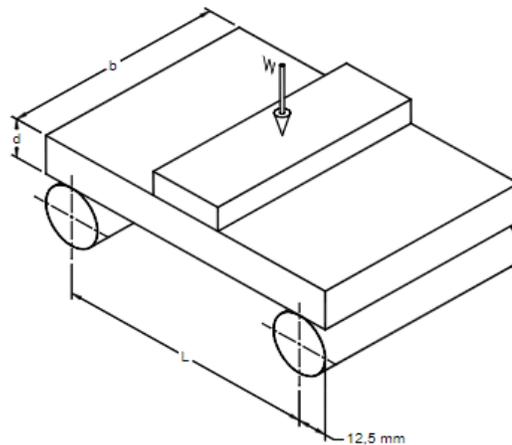


Figura 10. Diagrama del montaje módulo de rotura, fuente: tomada de la norma técnica 4017 del montaje módulo de rotura.

En donde

W = carga aplicada, en N

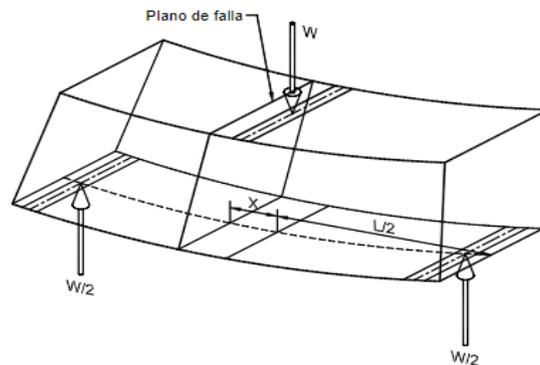
L = distancia entre los soportes de apoyo, en mm

b y d = ancho y alto respectivamente, en mm.

8.2.1.3. Velocidad de aplicación de la carga. La velocidad de carga no debe exceder los 8 900 N/min; sin embargo, se puede considerar que este requisito se cumple, si la velocidad de la cabeza móvil, durante la aplicación de la carga, es inferior a 1,3 mm/min.

8.2.1.4 Cálculos e informes

A. El módulo de rotura de cada espécimen se calcula de la siguiente manera



$$MR = 3W \left(\frac{L}{2} - x \right) / bd^2$$

Figura 11. Diagrama de cuerpo libre para la deducción de la fórmula del módulo de rotura, fuente: tomada de la norma técnica 4017 de la fórmula del módulo de rotura.

En donde:

MR = módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa.

W = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.

L = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.

b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

d = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.

x = distancia promedio del plano del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

B. El promedio de las determinaciones del módulo de rotura de todos los especímenes ensayados, se informa como el módulo de rotura del lote.

8.2.2. Resistencia a la compresión

8.2.2.1. Especímenes de ensayo. Para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semimacizos o adoquines, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completos de la unidad tal como se usa en el muro o en el enladrillado, pero con una longitud igual a la mitad de la longitud de la pieza entera ± 25 mm; y

se someten a carga en la misma posición que ocuparían en su aplicación. Si ocurre que los especímenes descritos exceden la capacidad de la máquina de ensayo, entonces deben consistir de unidades secas de la pieza con la totalidad de la altura y ancho de la unidad original, con una longitud no menor que una tercera parte de la longitud de la pieza original y con una sección transversal perpendicular a la dirección de carga, no menor de 90 cm². Los especímenes para ladrillos perforados o bloques de cualquier tipo o clase, son unidades enteras que se someten a carga en la misma posición que ocupan en la mampostería. Cuando el equipo de ensayo tenga limitaciones de capacidad de carga o de dimensiones de las platinas de apoyo y transferencia de carga según lo establecido en el numeral 7.3.3, las unidades de ensayo se deben reducir mediante el corte con disco o sierra a la mitad de su longitud, manteniendo la totalidad de la altura y el ancho original ± 25 mm. Para unidades de perforación vertical, se debe garantizar que la pieza resultante del corte, además de cumplir con los requisitos anteriores, debe estar completamente contenida dentro de una o más celdas, es decir no deben quedar salientes o reentrantes en el espécimen de ensayo. Los especímenes de ensayo deben ser obtenidos por cualquier método de corte que no les produzcan fisuras o desportillados, y que permita obtener caras opuestas aproximadamente planas y paralelas. Se deben ensayar cinco (5) especímenes. La resistencia a compresión del espécimen cortado, se debe considerar como la resistencia a la compresión de la unidad completa.

La relación entre las dimensiones de las platinas de carga y las de las unidades de ensayo, deben cumplir con lo establecido en el Anexo A de esta norma.

8.2.2.2. Refrentado de las unidades.

A. Todos los especímenes deben estar secos y a temperatura ambiente de acuerdo con lo establecido en los numerales 5.1 y 5.2, antes de aplicar cualquier etapa del proceso de refrentado.

B. Si las superficies que servirán para aplicar la carga durante el ensayo de compresión, presentan salientes o reentrantes, éstas se deben rellenar con morteros compuestos por una parte en peso de cemento de endurecimiento rápido, de acuerdo con los requisitos para cemento tipo III (véase la norma ASTM C150 o NTC 121) y dos partes por peso de arena. No

se deben refrentar especímenes antes de que el mortero de relleno tenga 48 h de edad. Se refrentan los especímenes utilizando uno de los dos procedimientos descritos.

8.2.2.3. Procedimiento.

A. Se ensaya los especímenes en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio. Los especímenes se centran bajo el soporte esférico superior con una tolerancia de 1,6 mm.

B. La máquina de ensayos debe cumplir con lo establecida en la norma NTC- ISO 7500.

C. La máquina de ensayo debe tener una precisión de $\pm 1,0$ % sobre el rango provisto de carga, el soporte superior debe estar provisto de una rótula esférica con un bloque de metal endurecido, firmemente fijado al centro de la cabeza superior de la máquina. El centro de la esfera debe descansar en el centro de la superficie del bloque metálico en contacto con el espécimen. Este bloque debe ser sostenido lo más cercano posible en el asiento esférico, pero debe estar libre para bascular en un ángulo de aproximadamente 3° en cualquier dirección para permitir especímenes cuyas superficies no sean exactamente paralelas. La máquina de ensayo debe estar equipada con una rótula cuyo diámetro debe ser al menos 125 mm (tal como se establece en el Anexo A). Se permite el uso de una platina metálica endurecida debajo del espécimen para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Las superficies de los bloques de carga que estarán en contacto con el espécimen, deben tener una dureza mayor o igual a 55 HRC. Cuando el área de cualquiera de los bloques de carga o apoyo (superior o inferior) no sea suficiente para cubrir el área del espécimen, se debe colocar una platina metálica adicional con superficies maquinadas que no deben desviarse del plano en más de 0,01 mm por cada 100 mm y con un espesor igual al menos, a la distancia que hay desde el borde de la rótula de carga y la esquina más alejada del espécimen refrentado; la longitud y el ancho de la pieza intermedia adicionada debe ser al menos 6,0 mm más grande que la longitud y el ancho de la unidad a ensayar. Los espesores de las platinas de ensayo se determinan de acuerdo con lo establecido en el Anexo A de esta norma. Si el espesor de las platinas adicionadas no cumple con el requisito de ser igual o mayor que la distancia existente entre el borde de la rótula

y la esquina más alejada del espécimen, entonces todos los especímenes deben recortarse a la mitad de su longitud, de acuerdo con lo establecido.

8.2.2.4. Velocidad de aplicación de la carga. Se debe aplicar la carga con una velocidad adecuada hasta la mitad de la máxima esperada de acuerdo con el estimativo previsto para el producto o en su defecto con base en el requisito de resistencia propio de él acorde a la norma respectiva. Luego de aplicada esta carga inicial se deben ajustar los controles de la máquina de tal forma que la carga faltante se aplique a una velocidad uniforme en no menos de 60 s ni más de 120 s.

8.2.2.5. Cálculos e informes. Se debe calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen como se indica a continuación:

Resistencia a la compresión, $C =$

en donde

$C =$ resistencia del espécimen a la compresión, en Pa x 10 (4) (o kgf/cm²)

$W =$ carga máxima (de rotura), en N (ó kgf), ó la indicada por la máquina de ensayo.

$A =$ promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm²

8.2.3. ABSORCIÓN DE AGUA

8.2.3.1 EXACTITUD DE LOS PESAJES

8.2.3.1.1. Ladrillos, bloques y adoquines. La balanza utilizada debe tener una capacidad no inferior a 2 000 g, y debe ser sensible a 0,5 g.

8.2.3.1.2. Tejas. La balanza utilizada debe tener una sensibilidad del 0,2 % del peso del espécimen más pequeño ensayado.

8.2.3.2. Especímenes de ensayo. Los especímenes de ensayo deben cumplir los requisitos de los numerales 4.1, 4.2. y 4.4. Los especímenes para el ensayo de absorción deben

estar compuestos por cinco (5) unidades o tres (3) partes o fragmentos representativos de cada una de ellas. Si se usan partes o fragmentos, se toman dos (2) de las paredes y una (1) del núcleo. El peso de cada fragmento no debe ser inferior a 250 g. Los bordes de los especímenes deben estar libres de partículas sueltas; si se han tomado de especímenes que se han sometido a ensayos de resistencia a la compresión, éstos deben estar libres de grietas debidas a fallas durante la compresión.

8.2.3.3 Ensayo de inmersión durante 24 h.

8.2.3.3.1 Procedimiento. Se secan y enfrían los especímenes de ensayo, de acuerdo con los numerales 5.1 y 5.2 de esta norma y se pesa cada uno.

8.2.3.3.1.2 Saturación. Se sumergen los especímenes secos y fríos, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia (blanda, destilada o de lluvia) entre 15,5 °C y 30 °C durante 24 h. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa. El pesaje de cada espécimen se debe hacer antes de que pasen 300 s de retirado del agua.

8.2.3.3.2 Cálculos e informes

A. La absorción de cada espécimen se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 \times (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

en donde:

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

W_{ss} = masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría, en g.

B. Se reporta la absorción en agua fría de cada espécimen, con una aproximación del 0,1 %.

C. La absorción promedio en agua fría de todos los especímenes ensayados se registra como la absorción del lote y se reporta con una aproximación del 0,1 %.

Elaboración De Adobe En Campo: Experiencia En El Municipio De Ráquira.

9. Marco Geográfico

La presente investigación se realizó a la población del municipio de Ráquira se encuentra a 2.150 más hacia el occidente del departamento de Boyacá y su extensión total es de 204 Km². Limita por el Norte con: Tinjacá y Sutamarchán, por el Sur con Guachetá en Cundinamarca, al Oriente con Sáchica y Samacá y al Occidente con San Miguel de Sema y la Laguna de Fúquene. Este municipio presenta alturas desde los 23 2200, hasta los 3400 msnm, dando lugar a los pisos térmicos de clima frío y medio (EOT Ráquira, 2000).

De acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial de Ráquira (2000), éste municipio ubicado al noroccidente del departamento, hace parte de la provincia Ricaurte, junto con otros trece municipios, que se caracterizan por la fertilidad de suelos, cantidad de recurso hídrico y calidad de vida, especialmente en la zona rural. Se mantiene mayor conexión por la cercanía en distancia con Tunja (capital de departamento) y con Chiquinquirá (capital de la provincia occidente). La base de la economía de la población urbana del municipio es la fabricación y comercialización de artesanías, complementada con las actividades relacionadas con la afluencia turística, inclusive, la ubicación equidistante del casco urbano a dos polos económicos importantes del departamento, como lo son Chiquinquirá y Villa de Leyva, hacen que Ráquira tenga una gran afluencia de turismo atraído por la comercialización de artesanías y por su arquitectura.

En dicha ciudad, la investigación está dirigida a expertos en el tema de la fabricación de unidades de adobe tradicional ubicados dentro de la periferia del municipio de Ráquira, empíricos en mampostería con este mismo material. Para el primer caso, donde se estudiará de acuerdo a las industrias manufactureras con conocimiento en fabricaciones de adobe tradicional, como son detalladas en la figura 12, la cual muestra los linderos de la ciudad, donde se ubican actualmente empresas dedicadas a la explotación de barro y elaboración de unidades de adobe de manera tradicional.

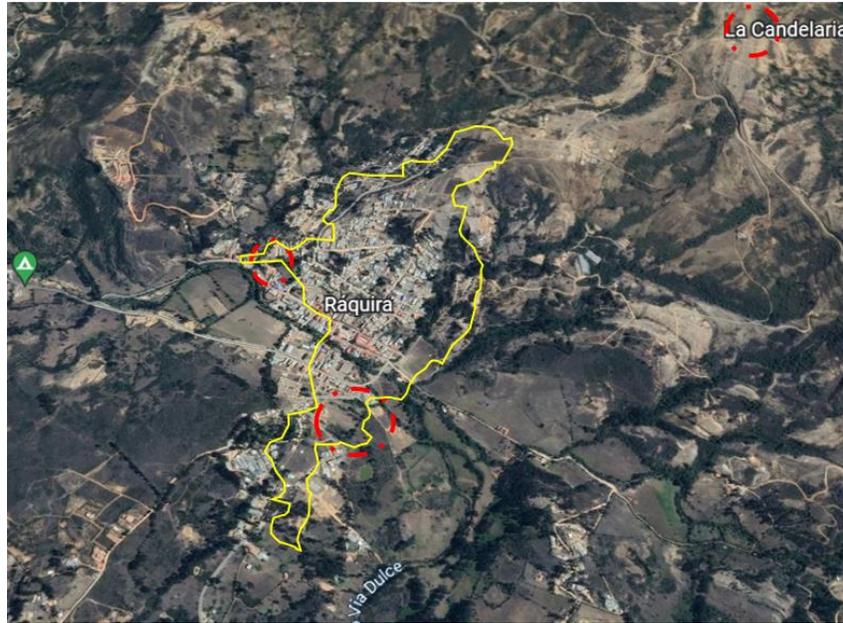


Figura 12. Ubicación del municipio de Ráquira de empresas fabricantes de Adobe tradicional, fuente: elaboración propia (Tomado de Google Maps 2020).

Las personas que elaboran adobe en esta zona consideran que todo el suelo que los rodea es adecuado para la fabricación de adobe, excepto cuando se trata de arena. Sin embargo, un suelo adecuado para elaborar adobe debe tener una adecuada cantidad de arcilla y arena para que los adobes sean resistentes y no se desmenuce o se rajen al secarse. Para ello se debe realizar las siguientes pruebas para comprobar si la tierra es buena.

El suelo donde se tomaron las pruebas y la arcilla para hacer los adobes son cerca del domicilio del investigador, esto es, en sector las chapitas barrio del municipio de Ráquira, el cual es rico en minerales y apropiado para el cultivo de distintos productos agrícolas, lo hace un terreno idóneo para este proyecto, al tener una capa inferior de terreno apropiada en arcilla y arenas. Ver figura 13



Figura 13. Ubicación del barrio de los chapitas del municipio de Ráquira, donde se tomaron las muestras arcilla, fuente: elaboración propia. (Tomado de Google Maps 2020).

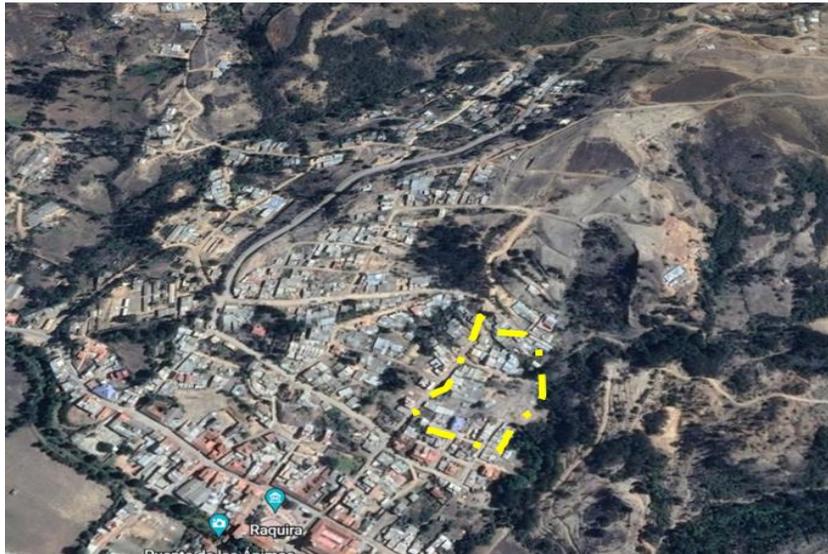


Figura 14. Ubicación del barrio de las Antigua Hospital del municipio de Ráquira, donde se elaborarán los bloques de adobe, fuente: elaboración propia. (Tomado de Google Maps 2020).

De igual manera como se expone en la tabla 5, se relacionan los datos de las 3 empresas dedicadas actualmente a la elaboración de unidades de adobe tradicional, e incorporando los moldes de madera.

Tabla 5

Empresas que fabrican adobes

EMPRESA	ACTIVIDAD PRODUCTORA
1. PASTOR VALERO UBICACIÓN: RAQUIRA BOYACA	FABRICACIÓN DE ADOBE POR ENCARGO, MANTIENE VIGENTE LA TÉCNICA.
2. AGUSTIN BAUTISTA UBICACIÓN: RAQUIRA BOYACA	FABRICACIÓN DE ADOBE POR ENCARGO, MANTIENE VIGENTE LA TÉCNICA.
3. MOISES MENDIETA UBICACIÓN: RAQUIRA BOYACA	FABRICACIÓN DE ADOBE POR ENCARGO, MANTIENE VIGENTE LA TÉCNICA.

Fuente: elaboración propia.

9.1. Calidad y selección de suelo: pruebas de campo

Se realizaron dos tipos de pruebas de campo para identificar la calidad de suelo y la cantidad adecuada de arcilla y arena para elaborar los adobes, estas pruebas son la prueba de rollo o de plasticidad y prueba de bola o de resistencia.

9.1.1. Prueba del rollo o Prueba de plasticidad.

Consiste en tomar un poco de tierra húmeda y con las palmas de las manos formar un rollo de 2 cm de diámetro. Si el rollo mide entre 5cm y 15 cm de largo la tierra tendrá la cantidad adecuada de arcilla y arena para elaborar adobes, si el rollo se rompe antes de que mida 5cm de largo se tendrá que agregar un poco de arcilla a la tierra debido a que presenta mucha arena, finalmente si el rollo mide más de 15cm de largo significará que la tierra contiene mucha arcilla por lo que se tendrá que agregar un poco de arena gruesa y volver hacer la prueba. Este proceso se puede apreciar en la Figura 15.



Figura 15. Resultados de la prueba del rollo, fuente: elaboración propia). Nota: Resultados de la prueba del rollo: 1) Tierra con adecuada cantidad de arcilla y arena. 2) Tierra con excesiva cantidad de arcilla.

9.1.2 Prueba de bola.

Como se puede observar en la Figura 16, se toma un poco de tierra húmeda y con las palmas de las manos se forman dos bolitas de 2 cm de diámetro, luego se dejan secar bajo sombra. Cuando las bolitas estén secas, se trata de romperlas presionándolas con el dedo pulgar o índice. Si la bolita no se rompe la tierra sí sirve ya que tiene suficiente arcilla y los adobes serán resistentes, sin embargo, si la bolita se rompe la tierra no servirá ya que no tiene suficiente arcilla y los adobes no serán resistentes.



Figura 16. Resultados de la prueba de bola. Fuente: elaboración propia. Nota: Resultados de la prueba de bola: 1) Tierra con adecuada cantidad de arcilla. 2) Tierra con excesiva cantidad de arcilla. 3) comparación de muestras la de color blanco es arcilla para elabora artesanías tiene mayor de plasticidad para hacerle pruebas de compresión tiene más facilidad de agrietamientos y la amarilla es para realizar adobes, ladrillos o para la hacer mezcla para pegar los adobes.

9.2. Elaboración de adobe reforzado con paja al 5%.

Entre las actividades principales se desarrolló un cronograma donde está la elaboración de los bloques de adobe reforzado, los cuales se hicieron 6 muestras con su principal estabilizante con paja al 5% al igualmente se le aplicaron unos aglomerantes a la tierra lo cual se utilizaron ceniza volante y chamote. Conociéndose que esta proporción es la más adecuada y efectiva para los ensayos que se van a realizar en el laboratorio.

9.2.1. Equipos y materiales

- Tierra apropiada
- Agua
- Pica
- Baldes
- Carretilla
- Batea
- Zaranda de 4mm
- Adobera de 0.30mts x0.14mts x0.10mts
- Paja
- Ceniza volante o ceniza de carbón
- Tiesto molido o chamote

9.2.2. Procedimiento

9.2.2.1. Selección de terreno para la elaboración. El suelo donde se tomaron las pruebas y la arcilla para hacer los adobes son cerca del domicilio del investigador, esto es, en sector las chapitas barrio del municipio de Ráquira, el cual es rico en minerales y apropiado para el cultivo de distintos productos agrícolas, lo hace un terreno idóneo para este proyecto, al tener una capa inferior de terreno apropiada en arcilla y arenas. Ver figura 17.



Figura 17. Ubicación de la zona de donde se tomaron las pruebas y la extracción de la tierra para la elaboración de adobes, fuente: elaboración propia. (Tomado de Google Maps 2020).

Realización el proceso de extracción de materiales del suelo en zona donde no se utilice para cultivos; en este lugar se recolecto insumos como fueron la tierra y arcilla y así mismo se extrajo para llevarlo al lugar para realizar los adobes.



Figura 18. Extracción de materiales en el suelo escogido, fuente: elaboración propia.

9.2.3 Fabricación de moldes.

El molde o gavera son elaborados de madera en la figura 19 se aprecia el molde de madera con unas dimensiones de 32x32x10 cm son las dimensiones exteriores de la gavera, las dimensiones interiores de 30x14x10cm con una división de 30x2cm.



Figura 19. Gavera en madera, fuente: elaboración propia.

9.2.4. Pulverización arcilla cocinada o chamote.

Se realizó el proceso de pulverización de arcilla cocinada en la fábrica del señor Pastor Valero en el barrio divino niño, comercializa el tiesto molido lo cual pulverizan las artesanías en un molino eléctrico donde pulverizan el barro; en este lugar se recolecto insumos como fueron las artesanías dañadas o imperfectas lo cual se pulverizaron 4 canecas de 4 galones cada una para llevarlo al lugar para realizar los adobes. Ver figura 20.



Figura 20. Pulverización de artesanías dañadas, fuente: elaboración propia.

9.2.5. Recolección de ceniza de carbón o ceniza volante.

Se realizó el proceso de recolección de ceniza de carbón de la fábrica del señor Agustín Bautista en el barrio antiguo hospital donde son residuos que quedan después de la cocción de las artesanías. Ver figura 21.



Figura 21. Recolección de ceniza de carbón o ceniza volante, fuente: elaboración propia.

9.3 Preparación del barro.

Para la preparación el barro primero se extrajo del sector determinado y luego se transportó al lugar donde se iba a realizar los adobes, en segundo paso se zarandó la tierra con una malla, igualmente la ceniza volante o ceniza de carbón y el chamote o tiesto molido; a fin de que esta retenga las piedras mayores de 4mm, con ello se logra que la mezcla sea más fina y se compacte mejor evitando la formación de burbujas o grumos dentro de las unidades de los adobes. Tan pronto este tamizado los materiales se empiezan agregar en batea con proporciones escogidas para su elaboración y así haciéndole un hoyo en el centro de los materiales que se encuentran en la batea en el cual se le agrega la cantidad de agua específica que permita un adecuado amasado de la mezcla.



Figura 22. Preparación de barro, fuente: elaboración propia. Nota: preparación de barro: 1) arcilla cocinada pulverizada. 2) tierra con adecuada cantidad de arcilla .3) ceniza volante o ceniza de carbón. 4) mezcla de tierra, arcilla cocida y ceniza volante.

9.3.1. Mezclado.

Luego de agregar la cantidad necesaria de agua se realiza la etapa de mezclado, consiste en voltear varias veces la mezcla con una pala y azadón, adicionalmente el procedimiento se termina pisando por 10 minutos, el barro energéticamente se forma una masa mucho más homogénea, compactada y más suave. Ver figura 23.



Figura 23. Mezcla de barro con paja y para una masa más homogénea, fuente: elaboración propia.

9.3.2. Dormido.

El dormido es el reposo del barro es la etapa donde se humedece la tierra mezclada con agua durante 8 días para mejorar homogeneidad, y no queden grumos en la mezcla con la paja

se dejó como mínimo se puede dejar 24 horas antes de usarse para elaborar adobes, con el objetivo de activar la mayor cantidad de partículas de arcilla para que esta desarrolle todas sus propiedades de cohesión, con este proceso se contribuye a mejorar la plasticidad de la mezcla para que sea mucho más manejable y fácil de trabajar. Ver figura 24.



Figura 24. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.

9.3.3. Moldeo.

En esta etapa se hizo uso de una adobera doble, hecha en madera con dimensiones interiores de 0.30mts x 0.14mts x 0.10mts la cual de manera independiente genera adobes de 0.30mts x 0.14mts x 0.10mts. el modelo se realizó sobre un suelo encementado, nivelado, seco y limpio, con una cubierta superior en tejas para protegerlos de las lluvias y del sol para que no se vayan acelerar en el secado y así contemplen agrietamientos o fisuras en los adobes en horas previas del secado, para no en un futuro no tener problemas con la resistencia en las pruebas que se le van a realizar a los adobes.



Figura 25. Moldeo de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.

9.3.4. Secado.

Los adobes elaborados se dejaron en secado sobre una superficie nivelada completamente plana y seca, libre de humedad, completándose bajo un tejado oscuro que brindara protección, finalmente después de 28 días de secado los adobes ya se encuentran aptos para ser usados en los ensayos de laboratorio.



Figura 26. Secado de los bloques de adobe. Fuente: elaboración propia.

9.3. Elaboración de adobe reforzado con fibra de coco al 5%.

Entre las actividades principales se desarrolló un cronograma donde está la elaboración de los bloques de adobe reforzado, los cuales se hicieron 6 muestras con su principal estabilizante de fibra de coco al 5% al igualmente se le aplicaron unos aglomerantes a la tierra, se utilizó ceniza volante y chamote. Conociéndose que esta proporción es la más adecuada y efectiva para los ensayos que se van a realizar en el laboratorio.

9.4.1 Equipos y materiales

- Tierra apropiada
- Agua
- Pica
- Baldes
- Carretilla
- Batea
- Zaranda de 4mm
- Adobera de 0.30mts x0.14mts x0.10mts
- Ceniza volante o ceniza de carbón
- Tiesto molido o chamote
- Fibra de coco recortadas de 4m a 6cm.

9.4.2. Procedimiento.

El proceso para la elaboración de adobes reforzados, es el mismo que en los adobes tradicionales desde la selección del terreno hasta el preparado de barro, diferenciándose exclusivamente en la dosificación de materiales y la etapa del mezclado, por lo que no se explicará precisamente estas dos etapas ya que como se menciona, son las mismas que en la fabricación del adobe tradicional, y se abordará la elaboración a partir del mezclado.

9.4.3. Mezclado.

Se recortaron las fibras de coco, las cuales fueron recolectadas en un balde, seguidamente se utilizaron las mismas medidas que al realizar el bloque de adobe tradicional con tres canecas de arcilla, 1 caneca de ceniza volante y 1 de tiesto molido, se agrega agua y a esta mezcla se le combina con las tiras de fibra de coco. Ver figura 27.



Figura 27. Mezcla de barro con fibras de coco, fuente: elaboración propia.

9.4.4. Dormido.

Luego de haber mezclado las fibras de coco con el barro, se dejó macerar el barro por el mismo periodo de tiempo 24 horas ya que el barro se había dejado durante 8 días para que tuviera mejor homogeneidad. Ver figura 28.



Figura 28. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.

9.3.5. Moldeo.

El moldeo de los adobes reforzados con fibra de coco al igual que el tradicional con paja se realiza sobre un terreno firme y seco, y bajo con una cubierta superior en tejas para protegerlos de las lluvias y del sol para que no se vayan acelerar en el secado y así contemplen agrietamientos o fisuras en los adobes en horas previas del secado, para no en un futuro no tener problemas con la resistencia en las pruebas que se le van a realizar a los adobes. En este proceso, los mismos moldes que se usaron para el moldeo de bloques de adobe tradicional cuyas dimensiones interiores de 0.30 mts x 0.30 mts x 0.10 mts la cual de manera independiente crea bloques de 0.30 mts x 0.14 mts x 0.10 mts. Ver figura 29.



*Figura 29.*moldeo de adobes reforzados con fibra de coco, fuente: elaboración propia.

9.4.6. Secado.

Los adobes elaborados se dejaron en secado sobre una superficie nivelada completamente plana y seca, libre de humedad, completándose bajo un tejado oscuro que brindara protección, finalmente después de 28 días de secado los adobes ya se encuentran aptos para ser usados en los ensayos de laboratorio.



Figura 30. Secado de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.

9.4. Elaboración De Adobe Reforzado Con Cascarilla De Arroz 5%.

Entre las actividades principales se desarrolló un cronograma donde está la elaboración de los bloques de adobe reforzado, los cuales se hicieron 6 muestras de adobes con su principal estabilizante de cascarilla de arroz al 5% al igualmente se le aplicaron unos aglomerantes a la tierra, se utilizó ceniza volante y chamote. Conociéndose que esta proporción es la más adecuada y efectiva para los ensayos que se van a realizar en el laboratorio.

9.5.1. Equipos y materiales

- Tierra apropiada
- Agua
- Pica
- Baldes
- Carretilla
- Batea
- Zaranda de 4mm
- Adobera de 0.30mts x0.14mts x0.10mts
- Ceniza volante o ceniza de carbón
- Tiesto molido o chamote
- Cascarilla de arroz.

9.5.2. Procedimiento.

El proceso para la elaboración de adobes reforzados, es el mismo que en los adobes tradicionales desde la selección del terreno hasta el preparado de barro, diferenciándose exclusivamente en la dosificación de materiales y la etapa del mezclado, por lo que no se explicará precisamente estas dos etapas ya que como se menciona, son las mismas que en la fabricación del adobe tradicional, y se abordará la elaboración a partir del mezclado.

9.5.2.1. Mezclado. Se utilizó una medida específica de cascarilla de arroz, seguidamente se utilizaron las mismas medidas que al realizar el bloque de adobe tradicional con tres canecas de arcilla, 1 caneca de ceniza volante y 1 de tiesto molido, se agrega agua y a esta mezcla se le combina con las tiras de fibra de coco. Ver figura 31.



Figura 31. Mezcla de barro con cascarilla de arroz, fuente: elaboración propia.

9.5.2.2. Dormido. Luego de haber mezclado las fibras de coco con el barro, se dejó macerar el barro por el mismo periodo de tiempo 24 horas ya que el barro se había dejado durante 8 días para que tuviera mejor homogeneidad. Ver figura 32.



Figura 32. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.

9.5.2.3. Moldeo. El moldeo de los adobes reforzados con fibra de coco al igual que el tradicional con paja se realiza sobre un terreno firme y seco, y bajo con una cubierta superior en tejas para protegerlos de las lluvias y del sol para que no se vayan acelerar en el secado y así contemplen agrietamientos o fisuras en los adobes en horas previas del secado, para no en un futuro no tener problemas con la resistencia en las pruebas que se le van a realizar a los adobes. En este proceso, los mismos moldes que se usaron para el moldeo de bloques de adobe tradicional cuyas dimensiones interiores de 0.30 mts x 0.30 mts x 0.10 mts la cual de manera independiente crea bloques de 0.30 mts x 0.14 mts x 0.10 mts. Ver figura 33.



Figura 33. Moldeo de adobes reforzados con fibra de coco, fuente: elaboración propia.

9.5.2.4. Secado. Los adobes elaborados se dejaron en secado sobre una superficie nivelada completamente plana y seca, libre de humedad, completándose bajo un tejado oscuro

que brindara protección, finalmente después de 28 días de secado los adobes ya se encuentran aptos para ser usados en los ensayos de laboratorio.



Figura 34. Secado de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.

9.5. Elaboración De Adobe Reforzado Con Cascarilla De Arroz Y Fibra De Coco Al 5%.

Entre las actividades principales se desarrolló un cronograma donde está la elaboración de los bloques de adobe reforzado, los cuales se hicieron 6 muestras de adobes con su principal estabilizante de cascarilla de arroz al 5% y fibra de coco al 5%, se le aplicaron unos aglomerantes a la tierra se utilizó ceniza volante y chamote. Conociéndose que esta proporción es la más adecuada y efectiva para los ensayos que se van a realizar en el laboratorio.

9.6.1. Equipos y materiales.

- Tierra apropiada
- Agua
- Pica
- Baldes
- Carretilla
- Batea

- Zaranda de 4mm
- Adobera de 0.30mts x0.14mts x0.10mts
- Ceniza volante o ceniza de carbón
- Tiesto molido o chamote
- Cascarilla de arroz y fibra de coco.

9.6.2. Procedimiento.

El proceso para la elaboración de adobes reforzados, es el mismo que en los adobes tradicionales desde la selección del terreno hasta el preparado de barro, diferenciándose exclusivamente en la dosificación de materiales y la etapa del mezclado, por lo que no se explicará precisamente estas dos etapas ya que como se menciona, son las mismas que en la fabricación del adobe tradicional, y se abordará la elaboración a partir del mezclado.

9.6.2.1. Mezclado. Se utilizó media caneca de cascarilla de arroz y de fibra de coco, seguidamente se utilizaron las mismas medidas que al realizar el bloque de adobe tradicional con tres canecas de arcilla, 1 caneca de ceniza volante y 1 caneca de chamote se agrega agua. ver figura 35.



Figura 35. Mezcla de barro con cascarilla de arroz y fibra de coco, fuente: elaboración propia.

9.6.2.2. Dormido. Luego de haber mezclado las fibras de coco con el barro, se dejó macerar el barro por el mismo periodo de tiempo 24 horas ya que el barro se había dejado durante 8 días para que tuviera mejor homogeneidad. Ver figura 36.



Figura 36. Reposo de la mezcla, fuente: elaboración propia.

9.6.2.3. Moldeo. El moldeo de los adobes reforzados con fibra de coco al igual que el tradicional con paja se realiza sobre un terreno firme y seco, y bajo con una cubierta superior en tejas para protegerlos de las lluvias y del sol para que no se vayan acelerar en el secado y así contemplen agrietamientos o fisuras en los adobes en horas previas del secado, para no en un futuro no tener problemas con la resistencia en las pruebas que se le van a realizar a los adobes. En este proceso, los mismos moldes que se usaron para el moldeo de bloques de adobe tradicional cuyas dimensiones interiores de 0.30 mts x 0.30 mts x 0.10 mts la cual de manera independiente crea bloques de 0.30 mts x 0.14 mts x 0.10 mts. Ver figura 37.



Figura 37. Moldeo de adobes reforzados con fibra de coco, fuente: elaboración propia.

9.6.2.4. Secado. Los adobes elaborados se dejaron en secado sobre una superficie nivelada completamente plana y seca, libre de humedad, completándose bajo un tejado oscuro

que brindara protección, finalmente después de 28 días de secado los adobes ya se encuentran aptos para ser usados en los ensayos de laboratorio.



Figura 38. Secado de los bloques de adobe, fuente: elaboración propia.

10. Ensayos De Laboratorio.

Se exponen a continuación, las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras de adobe tradicional con fibras naturales. En un inicio, se planteó someter las muestras de bloque a tres tipos de prueba: compresión, flexión y absorción lo anterior se especificó en el marco metodológico del presente, donde también se hizo mención a que dichos estudios pueden ser modificados a medida que el proyecto transcurra. Con el avance del proyecto se identificó que la empresa contratada para realizar las pruebas de laboratorio “Servicios de Ingeniería LTDA.” cuenta con las tres pruebas, en la ciudad. Por este motivo el contratar en otra ciudad incurría en el aumento del presupuesto planteado por el autor, motivando a que el investigador solo realizará los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y adsorción.

10.1. Ensayo de Compresión.

Esta es la máxima resistencia medida de un espécimen de adobe y se realizó en base a la NTC 4017, las muestras se dejaron en evaluación de la empresa y laboratorio “Servicios de Ingeniería LTDA.”, en donde se utilizaron equipos y materiales como: máquina de compresión, láminas de neopreno y por supuesto los bloques para ensayar. El procedimiento para la toma de datos fue:

- Se clasificó a los especímenes etiquetándolos y rotulándolos con la inicial M y el número que correspondía a cada uno.
- Se acomodaron las láminas de Neopreno entre el bloque (muestra) y la máquina.
- Por último, se lleva el espécimen a la maquina y se procede a aplicar la carga de compresión a velocidad constante hasta que el bloque falle completamente y se quiebre. Ver figura 39.



Figura 39. Prueba de compresión de adobe de ejemplo, fuente: tomada prueba de compresión de adobe de ejemplo. Ovando de la Cruz y Ruiz Castellanos, 2010.

A continuación, Se eligieron aleatoriamente 4 muestras de adobe de barro con la misma dosificación, composición de aglomerantes y diferentes estabilizantes (cascarilla de arroz, fibra de coco y paja), se sometieron a compresión utilizando la prensa universal con capacidad máxima. Se registró la cantidad de carga que soportó cada pieza en el momento de su ruptura. Con este dato se calculó la resistencia a compresión dividiendo el valor de la carga máxima soportada por la pieza entre su área bruta. Se exponen los resultados de los bloques de adobe reforzado con fibras naturales y aglomerantes, en cuanto a la prueba de resistencia a la compresión 1 muestras para cada caso, este ensayo muestra que el promedio de los 4 especímenes tiene una resistencia a la compresión de 13.1 kg/a. Ver en la tabla 6.

Esto demuestra de manera preliminar, una variación en la comparación de los prototipos de adobes, ADOBE REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES Y AGLOMERANTES

demostrando que, SI existe mayores propiedades mecánicas en el adobe reforzado, por lo menos, para este ensayo. En la Tabla se muestran los resultados obtenidos para los 4 ensayos.

Ver tabla 6. Para los casos se utilizó la fórmula:

$$\text{Compresión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

Fuente: Ecuación Compresión. tomada de norma técnica NTC 4017 “métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla” de cálculos e informes.

Tabla 6

Resultados prueba de compresión de prototipos de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	LONGITUD (MM)	ANCHO (MM)	ESPESOR (MM)	AREA BRUTA (MM2)	AREA NETA (MM2)	RESISTENCIA A LA COMPRESION			
							CARGA		ESFUERZO	
							Kg	Kg/cm ²	Mpa	Psi
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	133	92	3880	3880	5960	15,3	1,5	219
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	291	137	95	3990	3990	4150	10,4	1	148
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	293	135	95	3960	3960	4950	12,5	1,2	178
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	135	97	3940	3940	5720	14,5	1,4	207
PROMEDIO								13,1		

Fuente: Elaboración propia.

10.2. Ensayo de flexión.

Se ensayaron 4 piezas de adobe a flexión, escogidas aleatoriamente, de acuerdo con el protocolo que indica la normativa NTC 4017. Las piezas se dispusieron tal como se muestra en la figura 40 y se ejerció carga axial hasta la ruptura del material. En la Tabla 6 aparecen los

resultados obtenidos en esta prueba. El valor de la resistencia de los bloques de adobe reforzado con fibras naturales y aglomerantes, en cuanto a la prueba de resistencia a la flexión una muestra para cada caso, este ensayo muestra que el promedio de los 4 especímenes tiene una resistencia de 26.6 kg/a. Ver en la tabla 7 Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote.

Esto demuestra de manera preliminar, una variación en la comparación de los prototipos de adobes, Y AGROMERANTES, demostrando que, SI existe mayores propiedades mecánicas en el adobe reforzado, por lo menos, para este ensayo. En la Tabla 7 “Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote” se muestran los resultados obtenidos para los 4 ensayos.



Figura 40. Prueba de flexión de adobe de ejemplo, fuente: tomada de la prueba de flexión de adobe de ejemplo. Ovando de la Cruz y Ruiz Castellanos, 2010.

Tabla 7

Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	LONGITUD (MM)	ANCHO (MM)	ESPESOR (MM)	AREA BRUTA (MM2)	AREA NETA (MM2)	RESISTENCIA DE FLEXION				
							CARGA		ESFUERZO		
							N	N/MM2	Kg/cm3	Mpa	Psi
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	289	134	95	3872	3872	4100	2,7	27,9	2,7	397,2
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	138	96	4029	4029	3600	2,7	27,9	2,7	397,2
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	291	136	97	3957	3957	3500	2,2	22,7	2,2	322,9
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	290	135	96	3915	3915	3600	2,7	27,9	2,7	397,2
PROMEDIO									26,6		

Fuente: Elaboración propia.

10.3. Ensayo de Absorción.

Con este ensayo se especifica la capacidad de absorción que puede tener el adobe en las fases del estudio, es decir, la prueba de absorción para las muestras de adobe reforzado con fibras naturales y aglomerantes, sin que presente pérdida de las propiedades físicas del bloque en su composición. Para esta prueba, los bloques tienen dimensiones promedio de; largo: 0.30 mts; ancho: 0.14 mts; altura: 0.10 mts, para las 4 muestras, estos adobes para el ensayo son sumergidos en seco e inmersión, y dejados allí para validar el tiempo máximo de resistencia.

Tabla 8

Resultados prueba de absorción de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	PESO SECO	RESISTENCIA DE ABSORCION		
			ABSORCION		DIAS
			(Aa) (%)	(Aa) (kg/m3)	
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	5826	-1	0,00	1
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	5754	-1	0,00	1
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	6082	-1	0,00	1
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	6063	-1	0,00	1
PROMEDIO			-100%		

Fuente: Elaboración propia.

10.4. Entrevista con expertos en fabricación de adobe.

Se llevó a cabo entrevista de manera estructurada con grabación de esta misma para su posterior transcripción, la entrevista se hizo en la fábrica del señor Pastor Valero, se encuentra en la vereda centro del municipio de Ráquira, quien tiene una fábrica de artesanías y a su vez hace adobes para la construcción de hornos de adobe, contó el proceso de elaboración que tiene él, adquirido de manera empírica y observación mediante anteriores trabajos y ensayo de prueba-error el cual empieza con selecciona la tierra, luego empieza a mirar las cantidades exactas para su elaboración, usando adoberas de madera se elaboran los bloques y se retiran excesos, para finalmente dejar secar durante 28 días, pero que en palabras de él, el tiempo total de elaboración desde la clasificación de materiales puede llevar 1 mes y medio en promedio.

Menciona que su experiencia le permite no manejar proporciones o formulación estandarizada, sino que se establece que exista una cantidad de ceniza y arena, con una cantidad de arcilla suficiente para recibir unas temperaturas suficientes a la hora cocinar en los hornos. En algunas ocasiones, don Pastor manifiesta que ha utilizado una mezcla de arcilla, ceniza y tiesto molido para la pega los adobes para tener una mejor pega en los adobes cuando se construye el horno. Manifiesta que sus costos son bajos, y le permiten tener una estructura donde

su bloque tiene costo de 1200 pesos colombianos en año 2022 y con los ingresos que genera su productor, genera empleo y ayuda a mejorar la contaminación del municipio de Ráquira.

10.5. Resultados y Análisis de datos.

En esta parte se exponen los resultados de acuerdo con los objetivos planteados en la investigación, en donde se analizaron los datos obtenidos del comportamiento de los adobes como resultado de la aplicación de las pruebas mecánicas (flexión y compresión). En un segundo momento, se analizó el impacto económico para poder determinar el costo por unidad con la implementación de los materiales (fibras de coco, cascarilla de arroz, cenizas volantes, y chamote) y a su vez se pudo corroborar si es una alternativa viable para personas menos favorecidas económicamente. También se consideró la proyección en la mitigación del impacto ambiental al momento de implementar esta alternativa, basado en las cifras recopiladas en la primera fase de la investigación, de acuerdo con los volúmenes de materiales utilizados en la fabricación de los prototipos analizados.

10.6. Propiedades mecánicas y comportamiento a condiciones del adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes.

Teniendo presente que se obtuvieron los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en Servicios de Ingeniería LTDA. (compresión, flexión y absorción) a continuación, se procesan y analizan dichos resultados para ser valorizados con respecto a los objetivos del presente proyecto, con el fin de comprobar la mayor resistencia y mejor comportamiento de los prototipos de adobes que se realizaron en la investigación.

10.6.1. Resultados de ensayo de Compresión

Los resultados promedios de resistencia a la compresión obtenidos se relacionan en la tabla 9 lo que permite hacer un comparativo de los cuatro prototipos de estudio y se pueden definir cuál fue el más resistente.

Se puede concluir que de acuerdo estos valores la resistencia podrá mejorarse con la implementación de un estabilizante como la cal hidratada un material que no se contempló en esta investigación y que se sugiere sea considerado para próximas pruebas.

Tabla 9

Resultados prueba de compresión de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	LONGITUD (MM)	ANCHO (MM)	ESPESOR (MM)	AREA BRUTA (MM2)	AREA NETA (MM2)	RESISTENCIA A LA COMPRESION			
							CARGA		ESFUERZO	
							Kg	Kg/cm2	Mpa	Psi
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	133	92	3880	3880	5960	15,3	1,5	219
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	291	137	95	3990	3990	4150	10,4	1	148
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	293	135	95	3960	3960	4950	12,5	1,2	178
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	135	97	3940	3940	5720	14,5	1,4	207
PROMEDIO								13,1		

Fuente: Elaboración propia.

El adobe reforzado con cascarilla de arroz y aglomerantes, muestra roturas en la sección se evidencian roturas en los costados y mostro mejor resistencia.



Figura 41. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 42. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe reforzado con cascarilla de arroz, fibra de coco y aglomerantes reforzado, mostró menor resistencia al soportar la fuerza de compresión, evidenció rupturas en centro y bordes del bloque.



Figura 43. fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 44. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe reforzado con fibra de coco y aglomerantes reforzado, mostró baja resistencia al soportar la fuerza de compresión, evidenció rupturas en costados y bordes del bloque.



Figura 45. fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 46. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe reforzado con fibra de paja y aglomerantes reforzado, mostró baja resistencia al soportar la fuerza de compresión, evidenció rupturas en los costados y bordes del bloque.



Figura 47. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 48. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

10.6.2. Resultados de ensayo de absorción.

Los resultados promedios de resistencia a la absorción obtenidos se relacionan en la tabla 10 lo que permite hacer un comparativo de los cuatro prototipos de estudio, el laboratorio encargado manifiesta que: “Como se evidencia en los pesos tomados en el ensayo de absorción para las cuatro muestras, el material una vez fue sumergido en agua, se desintegro por lo tanto se concluye que este material no soporta la saturación y no resiste la prueba de absorción. Se puede concluir que de acuerdo a estos valores la resistencia podrá mejorarse a la implementación de un estabilizante como la cal hidratada un material que mejoraría el coeficiente de absorción que no se contempló en esta investigación y que se sugiere sea considerado para próximas pruebas.

Tabla 10

Resultados prueba de absorción de adobe reforzado con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción.

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	PESO SECO	RESISTENCIA DE ABSORCION		
			ABSORCION		DIAS
			(Aa) (%)	(Aa) (kg/m3)	
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	5826	-1	0,00	1
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	5754	-1	0,00	1
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	6082	-1	0,00	1
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	6063	-1	0,00	1
PROMEDIO			-100%		

Fuente: Elaboración propia.

El adobe reforzado con cascarilla de arroz y aglomerantes, el material una vez fue sumergido en agua, se desintegro por lo tanto se concluye que este material no soporta la saturación y no resiste la prueba de absorción.



Figura 49. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 50. Fotografía de absorción, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe reforzado con cascarilla de arroz, fibra de coco y aglomerantes reforzado, el material una vez fue sumergido en agua, se desintegro por lo tanto se concluye que este material no soporta la saturación y no resiste la prueba de absorción.



Figura 51. Fotografía de entrada. fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 52. Fotografía de absorción, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe con fibra de coco y aglomerantes reforzado, el material una vez fue sumergido en agua, se desintegro por lo tanto se concluye que este material no soporta la saturación y no resiste la prueba de absorción.



Figura 53. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 54. Fotografía de absorción, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe reforzado con fibra de paja y aglomerantes reforzado, el material una vez fue sumergido en agua, se desintegro por lo tanto se concluye que este material no soporta la saturación y no resiste la prueba de absorción.



Figura 55. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 56. Fotografía de absorción, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

10.6.3. Resultados de ensayo de flexión.

Los resultados promedios de resistencia a la flexión obtenidos se relacionan en la tabla 11 lo que permite hacer un comparativo de los cuatro prototipos de estudio y se puede definir cuál fue el más resistente.

Se puede concluir que de acuerdo a estos valores la resistencia podrá mejorarse con la implementación de una mayor cantidad de fibras naturales que se contemplaron en esta investigación y que se sugiere sea considerado para próximas pruebas.

Tabla 11

Resultados prueba de flexión de adobe con fibras de coco, cascarilla de arroz, paja, ceniza volante, chamote y su aplicación a la construcción

MUESTRAS	DEFINICION DE LA MUESTRA	LONGITUD (MM)	ANCHO (MM)	ESPESOR (MM)	AREA BRUTA (MM ²)	AREA NETA (MM ²)	RESISTENCIA DE FLEXION				
							CARGA	ESFUERZO			
								N	N/MM ²	Kg/cm ³	Mpa
M1	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	289	134	95	3872	3872	4100	2,7	27,9	2,7	397,2
M2	ADOBE REFORZADO CON CASCARILLA DE ARROZ, FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	292	138	96	4029	4029	3600	2,7	27,9	2,7	397,2
M3	ADOBE REFORZADO CON FIBRA DE COCO, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	291	136	97	3957	3957	3500	2,2	22,7	2,2	322,9
M4	ADOBE REFORZADO CON PAJA, CENIZA VOLANTE Y CHAMOTE	290	135	96	3915	3915	3600	2,7	27,9	2,7	397,2
PROMEDIO									26,6		

Fuente: Elaboración propia.

El adobe reforzado con cascarilla de arroz y aglomerantes, tuvieron una resistencia de 27.9 kg/ cm² queriendo esto decir que, al realizarse un refuerzo con una cantidad mayor de fibras naturales tendría mejor resistencia.



Figura 57. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 58. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe con cascarilla de arroz, fibra de coco y aglomerantes reforzado, tuvieron una resistencia de 27.9 kg/cm^2 queriendo esto decir que, al realizarse un refuerzo con una cantidad mayor de fibras naturales tendría mejor resistencia.



Figura 59. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 60. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe con fibra de coco y aglomerantes reforzado, mostró baja resistencia de 22.7 kg/cm² queriendo esto decir que, al realizarse un refuerzo con una cantidad mayor de fibras naturales tendría mejor resistencia.



Figura 61. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 62. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

El adobe con fibra de paja y aglomerantes reforzado, tuvieron una resistencia de 27.9 kg/cm² queriendo esto decir que, al realizarse un refuerzo con una cantidad mayor de fibras naturales tendría mejor resistencia.



Figura 63. Fotografía de entrada, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.



Figura 64. Fotografía de rotura, fuente: tomado de los resultados de los ensayos de laboratorio aplicados en servicios de ingeniería LTDA.

10.7 Impacto Del Adobe Reforzados Con Fibras Naturales Y Aglomerantes Ámbitos Económicos, Ambientales Y Constructivos.

La realización de este proyecto ha mostrado de manera independiente la importancia de reutilizar los desechos que dejan al realizar la cocción de las artesanías. Las muestras utilizadas para el proyecto, pues, aun cuando se logró identificar el comportamiento de estos en grupo (mediante la prueba de flexión, compresión y absorción), es necesario ahora analizar la incidencia que tiene la técnica y el proceso de elaboración del adobe reforzado con fibras naturales y aglomerantes dentro de un ‘todo’, en el sector de la construcción y el aporte que brinda a la industria y al país.

En este sentido, a continuación, se busca verificar si la elaboración de bloques de adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes, su aplicación a la construcción, contribuyen

ampliamente en temas económicos, sociales, ambientales y constructivos; la importancia de dicho impacto y cómo se da este.

10.8. Impacto Social Y Económico De La Elaboración Y Construcción Con Adobe.

Muestra de lo anterior es el precio de estos bloques de tierra, puesto que, en el proceso de fabricación para este proyecto, se generó un gasto directo en la elaboración por: \$40.000 que permitió producir una cantidad de 26 muestras de bloque reforzados con fibras naturales y aglomerantes muestras. Teniendo presente que fue una elaboración a baja escala y ello incide en el costeo.

Si lo anterior es traducido a costo por unidad, este es de \$1.538, que, si bien es un valor más alto que el ladrillo cocido (promedio de \$850), tienden a requerir menos unidades de bloque de adobe para la construcción y estructuras en comparación al ladrillo. En efecto, esto garantiza que personas que no cuenten con los recursos para la construcción de sus viviendas con materiales tradicionales, donde las condiciones de vida, sociales o conflictos civiles dificultan o vuelven compleja la situación de acceso a una vivienda propia, cuenten con la oportunidad y facilidad de acceso a este tipo de construcción más económica, permitiendo tener una vivienda digna a las personas y familias que utilizan este material.

Sin embargo, este material al ser bastante asequible a perfiles socioeconómicos más bajos, donde incluso se puede elaborar por el mismo individuo, es decir sin necesidad de compra ya que se pueden utilizar materiales del mismo sector, una problemática más comunes es la tendencia a construir en lugares aislados, susceptibles a fallas geológicas, sísmicas, con altas precipitaciones o cercanas a las afluencias de ríos y quebradas, debilitando la estructura y pérdida de propiedades mecánicas del adobe en cualquiera de sus técnicas o componentes como se ha mencionado ya.

Finalmente, se resalta que el impacto general que propicia la construcción con adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes, es que no realiza ningún consumo de energía, al ser un proceso natural no utilizar ningún tipo de maquinaria. Reduciendo así, el consumo de recursos económicos a causa de combustibles o generadores de tensiones eléctricas, además de la reducción de los gastos ambientales que se tratarán a continuación.

Cuando el material lo hace el propio usuario, existe un beneficio económico; sostenible ya que se van a utilizar materiales propios del sector aunado al tiempo empleado en la mano de obra durante la construcción, entonces sí hay una diferencia de costos y resulta tan económico. Así que el costo inicial se implicaría, por la mano de obra, más dinero; aunque se puede recuperar con el ahorro de energía.

10.9. Impacto Ambiental De La Elaboración Y Construcción Con Adobe.

El hecho de construir viviendas con materiales eco sostenibles como el caso del adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes es que al involucrar su proceso de elaboración la tierra sin cocer, se utilizó desechos que salen en la producción de artesanías este no genera un impacto negativo al ambiente en su fabricación, no llegaría a impactar durante la existencia de una edificación, la construcción o una vivienda donde fue utilizado, ya que, se integra de una manera muy natural al medio ambiente, e incluso se afirma que después de su periodo de vida útil este se descompone naturalmente volviendo a su origen: la tierra.

Por otra parte, la composición de adobe reforzados con fibras naturales y aglomerantes como; la ceniza volante y chamote, mitigan la generación de desechos tan desproporcional e irracional que ha generado la cultura del consumismo al realizar las artesanías ya que la ceniza volante se genera en combustión del carbón. De esta manera se combina estos materiales, con un material natural (adobe) al pasar del tiempo contribuye a la recolección de desechos dándole un segundo uso, la oportunidad de descomposición mientras contribuye a su estabilización de estos bloques permitiéndole mejorar su resistencia a la compresión.

En ese orden de ideas, la propuesta de este proyecto se vuelve una solución a dos problemáticas sociales que afronta la comunidad Raquireña en la actualidad, por un lado, el contar y poder acceder a una vivienda digna y propia con muchas mejores facilidades; y segundo, la reducción, apoyo en la mitigación a de desechos producidos en la elaboración de las artesanías.

Finalmente, los materiales desechados se pueden reutilizar y ver un porcentaje de descontaminación al realizar una gran cantidad de adobes ya que para realizar 26 adobes se utilizó un 2 % de los desechos que sacan en la producción de artesanías. Como podemos notar en la fábrica del señor Agustín Bautista el tipo de pérdida de artesanías es el 10%

aproximadamente de cada cocción y de ceniza volante es el de 10% la utilización de estos materiales lo podemos utilizar del 1% en chamote y el 1 % de ceniza volante y podemos encontrar que sería una alternativa más sostenible y ayudaríamos a descontaminar una parte de la contaminación que encontramos en el municipio de Ráquira.

10.10. Impacto En La Industria Con La Elaboración Y Construcción Con Adobe.

Si bien la elaboración y uso del adobe en la construcción no es nuevo, y recientemente se han buscado métodos para estabilizar, aglutinar o reforzar este material, el impacto que genera este proyecto para las técnicas constructivas en el territorio hasta ahora tiene baja relevancia en la investigación referente a este tema. Se siente un precedente sobre nuevas investigaciones y técnicas para llegar a un proceso y material satisfactorio que pueda resolver las deficiencias anteriormente presentadas, se han subsanado o mejorado, y los demás que quedan por corregir.

Sin embargo, es un material que data de la antigüedad, aún con el pasar de los años se registran viviendas y edificaciones elaboradas con adobe; gracias a un apropiado mantenimiento aún siguen en pie e intactas en un amplio sentido. En el mismo sentido permite volver a los orígenes ancestrales y culturales de la construcción colombiana, además de reafirmar técnicas innovadoras para reforzar muchas de las debilidades pasadas de esta noble técnica constructiva, esto último, en la medida que más profesionales dediquen sus esfuerzos a seguir desarrollando métodos sostenibles y sustentables para la arquitectura y para la construcción en Colombia y el mundo.

11. Conclusiones

El uso de fibras naturales y aglomerantes, hicieron posible obtener unidades de adobe reforzado, cuyas propiedades físicas y mecánicas mostraron mejores resultados frente a las diferentes pruebas (compresión, flexión y absorción) a las que se sometieron. Sin embargo, se considera que puede mejorarse aún más el desempeño de los bloques si se aumenta la granulometría de las arenas en unos milímetros, es decir, al momento del cribado del suelo implementar el uso de una malla de 6x6 mm.

Los materiales aglomerantes utilizados en este proyecto no mejoraron el coeficiente de absorción del adobe, lo cual se evidenció con el rápido deterioro de las piezas al ser sometidas a la prueba de inmersión.

Se recomienda realizar nuevas pruebas utilizando el chamote dentro de la mezcla, con el retiro de las fibras vegetales y la adición de arenas finas y cal apagada. Con esto se considera que se obtendrá una mejor resistencia tanto a los esfuerzos de compresión como la disminución del coeficiente de absorción.

12. Recomendaciones

- Es efectivo el uso de fibras naturales de alta densidad al adobe con aglomerantes, ya que brinda mayor resistencia en propiedades mecánicas a este tipo de bloques. Se recomendaría a futuro, hacer análisis sobre distintas proporciones de fibras naturales y aglomerantes, donde estas sean mayores o menores al 5% a fin de validar la más conveniente.

- Se recomienda que las fibras naturales y aglomerantes aporten una gran resistencia en la prueba realizada en absorción, que podría confiarle mayor seguridad al momento de su fabricación, no solo beneficiando la absorción sino reduciendo el riesgo de erosión ante los cambios climáticos o humedades.

- Es recomendable, realizar una mezcla como la del adobe reforzado con fibras naturales y aglomerantes, pero, combinada con algún tipo de aglutinante como cal u otros similares y compactada, ya que esto aportaría mayor estabilización mecánica y puede beneficiar al refuerzo de la estructura, especialmente en temas de absorción, compresión y flexión.

- Realizar estudios posteriores donde se pueda evaluar, el comportamiento de este tipo de adobe con fibras naturales y aglomerantes en ensayos de otro tipo, fuego, tracción, entre otros.

Bibliografía

- Arteaga Medina, K. T., Medina, Ó. H., & Gutiérrez Junco, Ó. J. (2011). *Bloque de tierra comprimida como material constructivo*. (Tesis). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Barrera Ríos, L.(2020). *Proceso para el mejoramiento del adobe*. (Trabajo de grado). Universidad Santo Tomás, Tunja
- Benites Zapata, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea Andina)*. (Tesis). Universidad de Piura, Piura.
- Cáceres Aguirre, G. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas del adobe incoroando lana de ovino*. (Tesis). Universidad César Vallejo, Lima
- Chuya Sumba, E. C., & Ayala Zumba, M. F. (2018). *Comparación de parámetros mecánicos y físicos del adobe tradicional con el adobe reforzado con fibra de vidrio*. (Tesis) de pregrado. Universida de Cuenca, Cuenca
- De Hoz Onrubia, J., Maldonado Ramos, L., & Vela Cossio, F. (2003). *Diccionario de construcción tradicional tierra*. San Bartolomé: Nerea.
- Habitat y Desarrollo, (23 de Febrero de 2011) Instrucciones para elaborar adobes y repellos. Recuperado de <https://habitatydesarrollo.wordpress.com/2012/02/23/instrucciones-para-elaborar-adobes-y-repellos/>
- Esguerra Rubio, M. (2013). *Adobe de suelo derivado de cenizas volcánicas: una alternativa constructiva*. (Tesis). Universidad Libre. Pereira.
- Huaranca Quito, E., & Vasquez Ramírez, J. A. (2020). *Mejoramiento del adobe adicionando cascarilla de arroz para el diseño de viviendas unifamiliares en San Miguel*. (Tesis). Universidad César Vallejo. Lima.
- Minke, G. (2010). *Manual de construcción en tierra*. Teruel: EcoHabitat.
- Moreira Portillo, J. (2017). *Estabilización de adobe con cemento, cal, arena y cascarilla de arroz para la construcción de viviendas enel municipio de San isidro, Sebaco y Matagalpa*. (Tesis). Universidad Nacional de Ingeniería. Managua.
- Rosso, M., & Angostinelli, S. (2020). L'utilizzo delle malte naturali in Bioedilizia per l'efficientamento energetico e per il miglioramento microclimatico negli edifici residenziali: il cocciopesto. *Ponte*, 7.

- Roux Gutiérrez, R. S., & Olivares Santiago, M. (marzo-abril de 2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento Portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. Informes de la construcción. *Informes de la Construcción*, 53, 39-50.
- Ticona Apaza, J. M. (2020). *Análisis comparativo entre el adobe tradicional y el adobe reforzado con fibras de coco*. (Tesis). Universidad César Vallejo. Lima.
- CivilGeeks, (2017, 13 abril). Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2017/04/12/norma-e-080-diseno-construccion-tierra-reforzada-actualizada/>.
- KUPDF, (2017, 5 abril) Norma técnica colombiana NTC 4017. “métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla”. Recuperado de https://kupdf.net/download/ntc-4017_58e3eb18dc0d60060fda980f_pdf.