

**ELABORACIÓN DE (BTC) BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS Y MATERIALES ALTERNATIVOS.**

Auxiliares de Investigación

JHON EDWARD ECHEVERRY CORREA

CAMILO JARAMILLO VALENCIA

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RISARALDA
PEREIRA
2017**

**ELABORACIÓN DE (BTC) BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS Y MATERIALES ALTERNATIVOS.**

JHON EDWARD ECHEVERRY CORREA

CAMILO JARAMILLO VALENCIA

Trabajo de investigación para optar el título de ingeniero civil

Investigador Principal

Ing. Gloria Milena Molina V.

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RISARALDA
PEREIRA
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

JURADO

Pereira, julio del 2017

DEDICATORIA

A nuestros padres porque este logro también es de ustedes, por la fuerza que nos dieron y permitió llegar a esta meta, gracias por sus invaluable consejos, por su paciencia y apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2. HIPÓTESIS.....	16
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. JUSTIFICACIÓN.....	18
5. MARCO TEÓRICO	20
5.1 ADOBE COMPACTADO.....	23
5.2 CONTENIDO DE AGUA DE LOS SUELOS.....	25
5.3 CEMENTO.....	26
5.4 ARCILLA.....	26
5.5 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	27
6. MARCO CONCEPTUAL.....	30
6.1 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA.	30
6.2 SUELO EN LA VÍA LA FLORIDA.....	30
6.3 MURETE.....	30
6.4 COMPACTACIÓN	31
6.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	33
6.6 LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO.....	33

7.	ANTECEDENTES.....	36
8.	MARCO HISTÓRICO	42
9.	MARCO ESPACIAL.....	45
10.	MARCO JURÍDICO	46
11.	METODOLOGÍA	49
11.1	ELABORACIÓN DEL MURETE.....	49
11.2	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	51
11.2.1	PRIMERA FASE: localización del lugar	51
11.2.2	SEGUNDA FASE: caracterización física y mecánica de los suelos. 52	
11.2.3	Tercera fase: elaboración de los BTC.....	58
11.2.4	Cuarta fase: pruebas de resistencia a los BTC individuales. (Normas: resistencia a compresión)	58
12.	RESULTADOS.....	63
12.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LOS SUELOS. ENSAYOS DE LABORATORIO	63
12.1.1	Consistencia y plasticidad de suelos: límite líquido y límite plástico: Norma Técnica colombiana NTC 125	63
12.1.2	Granulometría por tamizado y lavado tamiz # 200: norma técnica colombiana NTC1522	66
12.1.3	Ensayo hidrómetro: norma técnica colombiana NTC- 2521.....	68
12.1.4	Gravedad específica de suelos finos: norma I.N.V.E -128-07.....	70
12.1.5	Compactación de suelos: Proctor Modificado NTC 2122.....	70
12.1.6	Compresión no confinada I.N.V.E 152-07.....	73

12.2	PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS BTCS INDIVIDUALES. (NORMAS: RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN).....	86
12.3	PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LOS MURETES	87
13.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	88
13.1	COMPARACION CON INVESTIGACIONES NACIONALES.....	90
13.2	COMPARACION CON INVESTIGACIONES INTERNACIONALES.	90
14.	CONCLUSIONES	91
15.	RECOMENDACIONES	92
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	ANEXOS.....	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normatividad de la investigación	48
Tabla 2. Pesos y humedades obtenidos en el ensayo del primer saco de material.	63
Tabla 3. Resultados de las humedades bajo diferentes números de golpes según la norma.....	63
Tabla 4. Pesos y humedades obtenidos para límite plástico	64
Tabla 5. Resultados de índice de plasticidad y límite plástico para clasificación...64	64
Tabla 6. Resultados del lavado T200.....	66
Tabla 7. Resultados de granulometría hecha a la arena obtenida por lavado de T200	66
Tabla 8. Resultados de coeficientes de uniformidad y curvatura	67
Tabla 9. Datos iniciales del hidrómetro	68
Tabla 10. Datos del hidrómetro: sedimentación contra el tiempo	68
Tabla 11. Cálculos del hidrómetro	68
Tabla 12. Cálculos para determinación de la gravedad específica según la I.N.V.E 128-07.....	70
Tabla 13. Valores iniciales del molde con suelo	71
Tabla 14. Valores para la determinación de peso húmedo.....	71
Tabla 15. Determinación de densidad seca.....	71
Tabla 16. Densidad seca – humedad optima.....	72
Tabla 17. Datos iniciales de la probeta	73

Tabla 18. Pesos, humedades y densidades durante el ensayo	73
Tabla 19. Resultados de compresión no confinada con 3% de cemento.....	74
Tabla 20. Resultados resistencia a la compresión.....	75
Tabla 21. Consistencias del suelo según su resistencia a la compresión, Fragmento extraído del inciso 5.6 del I.N.V.E 152-07	75
Tabla 22. Datos iniciales de la probeta	77
Tabla 23. Resultados de compresión no confinada con 4% de cemento.....	78
Tabla 24. Resultados resistencia a la compresión.....	79
Tabla 25. Datos iniciales de la probeta	81
Tabla 26. Resultados de compresión no confinada con 5% de cemento.....	82
Tabla 27. Resistencia a la compresión	83
Tabla 29. Cuadro resumen resultados de laboratorio	85
Tabla 29. Cuadro resumen resultados de laboratorio	86
Tabla 30. Resistencia de bloques 5% cemento ,0% arcilla desde 3 a 6	96
Tabla 31. Resistencia de bloques 5% cemento, 5% arcilla desde 3 a 6	97
Tabla 32. Resistencia de bloques 5% cemento, 10% arcilla desde 3 a 6	98
Tabla 33. Resistencia de bloques 5% cemento, 20 % arcilla del 3 al 6	99
Tabla 34. Resistencia de muretes 5% de cemento , 0% de arcilla desde 1 a 2...	100
Tabla 35. Resistencia de muretes 5% cemento, 5% arcilla de 1 a 2	101
Tabla 36. Resistencia de muretes 5% cemento, 10% arcilla del a al 2.....	102
Tabla 37. Resistencia de muretes 5% cemento, 20% arcilla 1 a 2	103

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Resultados de laboratorio de límite líquido.....	64
Gráfica 2. Resultados de laboratorio Carta de plasticidad	65
Gráfica 3. Curva granulométrica del material obtenido del lavado del T200.....	67
Gráfica 4. Granulometría de los finos	69
Gráfica 5. Curva puntos de Proctor modificado	72
Gráfica 6. Círculo de Mohr para 3% de cemento	75
Gráfica 7. Esfuerzo deformación para 3%	76
Gráfica 8. Círculo de Mohr para 4% de cemento	79
Gráfica 9. Esfuerzo deformación para 4%	80
Gráfica 10. Círculo de Mohr para 5% de cemento	83
Gráfica 11. esfuerzo deformación para 5%.....	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. . Máquina Para Fabricación De bloques “Cinva Ram”	29
Figura 2. Corregimiento dela florida Risaralda.....	45
Figura 3. Combinaciones de arcilla.....	60
Figura 4. 5% de cemento portland para 7kg de material	61
Figura 5. Cantidad de agua para llegar al 30% o humedad óptima	61
Figura 6. Proceso de elaboración de BTC	62
Figura 7. Estado de la muestra con 3% de cemento al final del ensayo.....	76
Figura 8. Tabla de clasificación de grietas extraída de la NTC 673	77
Figura 9. Estado de la muestra con 4% de cemento al final del ensayo.....	80
Figura 10. Estado de la muestra con 5% de cemento al final del ensayo	84

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se orientó a la búsqueda de alternativas para elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos.

La tierra ha sido un material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos; los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole fibras vegetales como refuerzos para mejorar su resistencia¹. La construcción con adobe ha sido uno de los sistemas constructivo de viviendas más populares desde la antigüedad, y que han perdurado en el tiempo, caracterizando por su resistencia a movimientos sísmicos sin sufrir daños significativos. Sin embargo, afirman que las construcciones más recientes con ADOBE, han sido la causa de numerosas pérdidas humanas, debido a que las técnicas tradicionales de construcción se han perdido, y este sistema es utilizado en forma empírica y sin asistencia técnica o ingenieril².

De acuerdo, con esta problemática, se observa una tendencia a nivel latinoamericano y europeo en retomar el uso de los bloques de tierra fabricados con suelo y otros aditivos, en nivel técnico que cumpla con las normas de construcción de cada uno de los países. Las investigaciones frente al tema de los adobes se están orientando a encontrar la resistencia y/o aditivos que se pueden aplicar al suelo en el proceso de fabricación de los bloques, entre ellas se pueden mencionar utilización en los BTC (Bloques de tierra comprimidos) estabilizados con cemento

¹ PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. 2001 [En línea] Disponible en <www.ecosur.org/index.php/...ecosur/manuales?...tierra...material-de-construccion.> [Citado el: 05 de abril de 2017.]

² MORALES M.Manuel.Construcción de viviendas con adobe (Recomendaciones para su habitabilidad). Guatemala, 1997.

portland al 6% y reforzados con fibra de coco. Haciendo referencia a estas investigaciones se encuentran: en México en el año 2002, comportamiento de bloques de tierra comprimida sometidos a diferentes condiciones de humedad en España en el año 2003, bloques de tierra comprimida (BTC), sin adición de cemento en Argentina en el año 2007, resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida estabilizados con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula en Madrid en el año 2012.

Para el logro de los objetivos se planteó una investigación experimental que permitió un proceso de elaboración de adobes BTC, se caracterizó el suelo a utilizar, los porcentajes de aditivos a aplicar al suelo, así como las variables relevantes en su proceso de fabricación, como son la humedad de compactación y el tiempo de secado.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Al conocer los factores que se presentan actualmente en la sociedad, que conllevan a que exista una mayor demanda en cuanto a la adquisición de vivienda propia sin tener en cuenta de forma general la posición socio económica de las personas, se pretende entonces encontrar la forma de suplir una necesidad de vivienda propia en el sector de la Florida en Pereira, con un material de construcción que las personas puedan encontrar con facilidad en su entorno. Una de las propuestas es la creación de bloques artesanales de tierra comprimida o como comúnmente se les nombra (BTC).

Es entonces importante aclarar desde un principio, que el camino que se pretende seguir para llegar a la solución de la problemática mencionada, es desarrollar de manera ordenada por medio de la consulta científica y la práctica, procesos lógicos que tienen como finalidad entregar de manera concisa a la sociedad y al mundo en general, nuevas alternativas de construcción con las cuales progresivamente se obtenga un cambio, en su totalidad positivo, que sea el camino base para la generación de progreso para los directamente afectados y la sociedad en general.

La introducción de nuevas técnicas de construcción siempre pretenderá el mejoramiento de muchos aspectos que suelen ser un obstáculo importante para llevar cabo las técnicas que ya se tenían; en este caso particular, lo que se pretende es que, en construcciones de baja altura, la estructura principal esté conformada por bloques de tierra comprimida (considerados artesanales por los materiales que los compondrán y las técnicas de elaboración).

Para hacer posible que los bloques artesanales sean considerados una alternativa efectiva y segura para llevar a cabo procesos constructivos en diversas obras

civiles, se requiere probar la confiabilidad que se tiene la certeza estos pueden aportar a las comunidades. Puede ser éste el punto clave del verdadero propósito de innovar en nuevas técnicas y metodologías que permitan tener una perspectiva más amplia acerca de lo que se puede lograr en el mundo si se trabaja de mano de la ciencia en busca de nuevos caminos hacia el desarrollo como se considera es el expuesto.

Es importante tener presente que aunque los ensayos de laboratorio, los cálculos y todos los procesos que se han llevado a cabo para el desarrollo de la idea que se viene exponiendo, una de las grandes intenciones que se tiene es que exactamente las mismas actividades se puedan efectuar en cualquier lugar donde se requiera de proyectos como éste y de esta manera se pueda dar progresivamente a lo largo del tiempo importantes mejoras a lo que se ha expuesto como iniciación, siendo el nacimiento de un proceso de constantes cambios que conlleven a que sea cada vez mayor la población positivamente afectada.

¿Cuál sería la configuración más adecuada viéndolo desde el punto de vista económico, técnico, social y ambiental para la elaboración de los bloques de tierra comprimida (BTC)?

2. HIPÓTESIS

Al elaborar bloques de tierra comprimida (BTC) con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos como cemento y arcilla en diferentes proporciones, se obtendrá la resistencia a la compresión mínima exigida por la Norma Técnica colombiana NTC 5324.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia de muretes fabricados con Bloques de Tierra Comprimida crudos compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, cemento y arcilla, como alternativa de construcción de muros no estructurales en vivienda rural sostenible en el municipio de Pereira.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinación de las proporciones optimas de acuerdo con las características físicas y mecánicas de un suelo inalterado por medio de muestras extraídas en campo.

Determinar la resistencia de los bloques individuales comparándolos con los estándares mundiales para este tipo de materiales.

Determinar la resistencia a la compresión de muretes estructurales para distintas dosificaciones de Suelo/Cemento/Arcilla.

4. JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción ha asumido un rol protagónico en el desarrollo de las sociedades, debido a su responsable directa en la creación de proyectos que contribuyan al crecimiento económico, y que beneficien a la mayor cantidad de población posible; en forma especial las obras de construcción de viviendas, que logran un jalonamiento económico y social. Cuando se piensa en la posibilidad que tienen las personas de adquirir vivienda y mucha más si estas obras benefician a los estratos de menos recursos, en este sentido es importante buscar alternativas que disminuyan los costos de las construcciones, sin afectar la resistencia y calidad de las mismas.

Buscar alternativas que disminuyan los costos de las obras aumenta las posibilidades, de las familias de menos recursos económicos en la adquisición de vivienda, es por eso que esta investigación orienta sus objetivos en buscar una alternativa de combinación de materiales en la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) que cumplan con las especificaciones normativas vigentes para su utilización como material de construcción en el contexto colombiano.

Teniendo conocimiento de que el BTC es un material bastante económico, de fácil accesibilidad, en cuanto a que la materia prima está casi siempre presente en el lugar de la construcción, ahorrando por consiguiente el transporte de éste; y en la mayoría de los casos, las construcciones realizadas en este material, son por autoconstrucción, debido a su fácil manejo; y que su técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía, que suma una ventaja altamente importante en comparación con el ladrillo; esta investigación se enfocó

en profundizar en el análisis de alternativas que mejoran su composición, y los materiales del pegamento que se utilizan, mejorando su resistencia, y de esta manera incentivar el uso de los bloques de tierra comprimida BTC en las construcciones, dado que es una técnica que se ha venido perdiendo, y que por las características mencionadas anteriormente, resultaría una técnica alternativa de gran eficiencia en proyectos de construcción de viviendas de interés social.

Otras características que se deben tener en cuenta al momento de tomar la decisión del uso de BTC es que posee beneficios como, baja conductividad térmica, lo cual hace que las construcciones realizadas en dicho material se vuelvan lo bastante acogedoras para las familias que habiten en ellas teniendo en cuenta el ahorro que se puede generar debido al bajo consumo energético por sus cualidades aislantes.

Es muy importante mencionar que luego de estar construida una vivienda con bloques BTC, se cuenta con fácil manejo para modificaciones en futuras reformas, dada su versatilidad para las instalaciones de tuberías y red eléctrica, y debido al grosor de los muros, no deja entrar ruidos externos, lo cual ayuda mucho a la comodidad y a la tranquilidad del hogar.

5. MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de fundamentar el proceso de investigación planteado y sus principios, se hace necesario explicar detalladamente los conceptos y teorías que soportaran la estructuración de la investigación para el logro de los objetivos específicos.

La construcción con adobes presenta la ventaja de su similitud formal, constructiva y estética con el ladrillo de campo cocido. En caso de disponer de bastante mano de obra, especializada o no, esta técnica es muy adecuada en función de los procesos de fabricación que permiten la integración de gran cantidad de personas durante el pisado y modelado, aunque se debe tener en cuenta aquí el control durante la producción para minimizar la variación de las dimensiones y la forma irregular de las piezas. Los muros de adobes presentan muy buenas condiciones de aislamiento acústico y térmico debido a las características del material y los espesores utilizados.

Según el arquitecto Gerardo Vélez las desventajas de esta técnica están en función del riesgo del propio proceso de fabricación que puede resultar lento ya que requieren dos o tres semanas para poder utilizar las piezas en caso de que la producción se haga en obra. El proceso también depende de las áreas de pisado, secado y acopio, que comandan la continuidad de producción mientras se espera que se sequen las piezas anteriores.

Por lo tanto, esta técnica requiere cierta previsión de infraestructura para contar con superficies horizontales y limpias, y zonas protegidas para evitar que el agua de lluvia afecte a la producción³

En su libro arquitectura de barro, el arquitecto Gerardo Vélez presentes las causas principales por la cuales se producen fallas en las estructuras con adobes:

Construcción en terrenos blandos: Construcción de más de un piso que no son aptas para soportar los sismos.

Mala calidad del adobe: en referencia a la materia prima utilizada y a la técnica de producción.

Dimensionamiento inadecuado de los adobes: poca o ninguna protección de los muros contra su debilitamiento por el fenómeno de erosión. Las fallas comunes en las construcciones con adobes pueden ser reducidas mediante los controles de la tierra y los estabilizantes utilizados, el dimensionamiento adecuado de las piezas y los muros, el dimensionamiento adecuado de la estructura, tanto de la cimentación como del muro portante, o las vigas y pilares y la protección frente a la lluvia y a la humedad natural del terreno. Tanto las ventajas o desventajas se deben tener en cuenta como los datos de la realidad, pero las condiciones propias de la obra serán las que determinen la viabilidad de los procesos o no⁴.

Material es sujeto a esfuerzos: este responde con deformaciones, entonces es necesario trazar una historia de los cambios entre los esfuerzos y las deformaciones

³VÉLEZ, Gerardo, Arquitectura de Barro. 2001.Honduras

⁴ Ibíd.

y así obtener una curva esfuerzo-deformación. El ingeniero debe comprobar que las deformaciones producidas en el suelo al aplicar las cargas exteriores son menores a la deformación admisible y así asegurar la estabilidad del suelo. Para esto el ingeniero debe obtener la curva esfuerzo deformación del suelo⁵.

El grado de deformación producido por un esfuerzo dependerá de la composición, relación de vacíos, historia del esfuerzo, y forma en que se apliquen los nuevos esfuerzos. Para poder hallar la deformación de un suelo muchas veces es mejor medir directamente las deformaciones producidas en un ensayo de laboratorio bajo los esfuerzos que existirán en el terreno real. En otros casos, suele ser muy útil recurrir a conceptos y formulas de la teoría de elasticidad⁶.

En este sentido en el artículo “Esfuerzos y Deformaciones Elásticas en los Suelos” se menciona que se han desarrollado ensayos y descripciones matemáticas que parten de las teorías clásicas de la elasticidad y plasticidad. Sin embargo, los suelos se diferencian mucho de otros materiales, debido a su naturaleza porosa y compuesta de partículas. El comportamiento de un material perfectamente elástico solo depende de sus condiciones inicial y final, independientemente del camino que tomen durante el cargado o descargado, esto debido a que presentan un comportamiento lineal. En cambio, los suelos no solo dependen de su condición inicial y final sino además del camino durante el cargado o descargado y de la historia previa al cargado o descargado⁷.

⁵ INGENIERIA CIVIL. Esfuerzos y Deformaciones Elásticas en los Suelos. 2010 [En línea] Disponible en <<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/esfuerzos-y-deformaciones-elasticas-en.html>> [Citado el: 18 de febrero de 2017.].

⁶ Ibíd.

⁷ Ibíd.

En resistencia de materiales se estudió los esfuerzos en cuerpos rígidos, continuos, homogéneos, elásticos, afectados por fuerzas externas. Los suelos no son cuerpos ni rígidos, ni continuos, ni homogéneos, ni elásticos. Por lo tanto, la determinación de los esfuerzos y deformaciones en los suelos es una tarea muy difícil. Sin embargo, el análisis con la teoría de la elasticidad es muy simple y solo involucra a dos constantes el módulo de Young y el índice de Poisson. Entonces si se asume que el suelo es un material isotrópico, elástico, se facilita muchísimo el análisis para poder predecir el comportamiento de los suelos cuando son sometidos a cargas externas. Para este análisis solo se tiene que determinar el módulo de Young y el índice de Poisson mediante ensayos de laboratorio o de campo⁸.

Independientemente de que en algún caso particular pueda resultar útil usar valores del módulo de elasticidad y/o del índice de Poisson, debe tenerse muy en cuenta que el módulo de elasticidad o de Young y el índice de Poisson no son constantes de un suelo, sino más bien magnitudes que describen aproximadamente el comportamiento de un suelo para un estado de esfuerzos dado y que cambiarán, quizás radicalmente, si cambia el estado de esfuerzos o si los esfuerzos se aplican de distinta manera⁹.

5.1 ADOBE COMPACTADO

El adobe compactado es una nueva alternativa para la construcción de viviendas donde se mejoran las características del suelo mediante la estabilización mecánica provista por una máquina compactadora manual, con lo que se promueve el uso del suelo como material de construcción. Con esta alternativa se obtienen muros más

⁸ Ibíd.

⁹ Ibíd.

resistentes a la compresión, flexión y una elevada resistencia a la erosión con lo cual se obtiene un material con mejor comportamiento ante los sismos¹⁰.

De acuerdo a la investigación “Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave” al compactar el adobe se obtiene un material más resistente para el uso de la construcción, alcanzando una resistencia a la compresión del orden de 6.85 MPa y una resistencia a la flexión 0.56 MPa¹¹.

A pesar de todas las bondades técnicas y prácticas de los BTC, el adobe tiene algunas desventajas como propiedades mecánicas bajas en comparación con el ladrillo cocido, presentando un comportamiento pobre cuando se somete a acciones sísmicas, con baja resistencia a los esfuerzos a flexión y a compresión; ante esta situación se requiere la búsqueda de combinaciones de materiales como medios estabilizadores de la compactación¹².

La NORMA UNE 41410 define el adobe compactado como Pieza para fábrica de albañilería generalmente en forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos, de igual forma Para Bestraten, Hormías, & Altemir, citados en estudio de la Universidad Privada del Norte del Perú; los adobes compactados son piezas prismáticas de tierra que se fabrican con moldes. Teniendo como su principal característica que la tierra es comprimida dentro del molde, aumentando su compacidad y así, su resistencia mecánica. La

¹⁰ CABALLERO, Magdaleno, SANTOS, Silva y MONTES, José. Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. 2010 [En línea] Disponible en <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf> [Citado el: 27 de junio de 2017.]

¹¹ *Ibíd.*

¹² *Ibíd.*

mezcla suele llevar estabilizantes como cal o cemento¹³.

El adobe compactado surge como una alternativa para retomar el uso del suelo como material de construcción, debido a que presenta mejores características mecánicas, al mejorar el proceso de fabricación y propiedades estructurales proporcionadas por el proceso de compactación¹⁴

5.2 CONTENIDO DE AGUA DE LOS SUELOS

La humedad o contenido de agua de un suelo es la relación expresada en por ciento. El contenido de agua juega un papel importante, especialmente en suelos finos, por lo que existe un contenido de humedad óptimo, para el cual el proceso de compactación dará un peso máximo de suelo por unidad de volumen, es decir un peso específico seco máximo. Para bajos contenidos de humedad, el agua se encuentra en forma capilar en el material produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo, existiendo una tendencia a la formación de grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación, si aumenta la cantidad de humedad disminuye la tensión capilar en el agua, por lo que una misma energía de compactación producirá mejores resultados¹⁵.

¹³ CARHUANBO V., Jhenifer. Propiedades mecánicas y físicas del adobe compactado con adición de viruta y aserrín, Cajamarca 2016. [En línea] Disponible en <repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7328/CARHUANAMBO%20VILLANUEVA%2c%20Jhenifer%20Thajana.pdf?sequence=1&isAllowed=y.>[Citado el: 10 de julio de 2017.]

¹⁴ MORALES, J., ORTIZ, M., & ÁLVAREZ, R. 2007. Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. Naturaleza y Desarrollo, p. 41

¹⁵ *Ibíd.*

5.3 CEMENTO

Constituye el medio estabilizante. El agregado de cemento mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia. Se emplea generalmente el gris normal, denominado "portland", provisto por la industria, no excluyendo la posibilidad del empleo de otros tipos de cemento. La dosificación del aglutinante debe ser realizada en unidades de peso en relación a la cantidad de suelo empleado para la mezcla. Ésta depende, en gran medida, del sistema de compactación adoptado:

- A menor compactación, mayor presencia de cemento.
- A mayor compactación, menor presencia de cemento.

5.4 ARCILLA

La arcilla es una roca sedimentaria constituyente esencial de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, se hidrolizan. Desde el punto de vista mineralógico, el grupo de minerales que engloba, filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 0,002 mm) [26]. Debido a esta finura se les consideran coloides. Está constituida por agregados de silicatos lumínicos hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio, y su fórmula química es: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$.¹⁶

¹⁶ CARCEDO Fernández, M. Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula. En revista Doctoral dissertation, Arquitectura Técnica. 2012.

5.5 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La arcilla en presencia de la humedad experimenta cambios de volumen que son necesarios controlar; aumenta cuando tiene agua y disminuye cuando se seca. Este fenómeno origina la erosión de los adobes y, por lo tanto, la pérdida de estabilidad y resistencia de los muros.

En nuestro medio se utilizan como estabilizadores para impermeabilizar el adobe, los siguientes productos industriales:

- Suelo (en una proporción de 90%)
- Cemento (en una proporción de 3% a 5%)

Es importante tener presente que, durante el proceso de fabricación de adobes y elaboración de muros o muretes con los mismos, un parámetro que debe centrar la atención del investigador es la resistencia a compresión; ésta es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido al fracturamiento se puede definir en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión.

Para llevar a cabo los cambios que se van a generar en las características físico – mecánicas del suelo en estudio, se van a agregar diferentes materiales; entre dichos materiales se encuentran; el cemento, la arcilla el cual es de gran importancia al momento de unir elementos de construcción.

MORTERO: Material de unión de los bloques de tierra comprimida. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal yeso, entre otros.

FORMAS Y DIMENSIONES DE LOS (BTC): En vista de que las dimensiones de los adobes son variadas, solo es conveniente dictar sobre este tema algunas recomendaciones de carácter general.

La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega. Tanto la longitud como el ancho tendrán una dimensión máxima de 40 cm.

La altura no debe ser mayor a 14 cm en lo posible. La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción de 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos.

MOLDEO: El moldeo puede ser el tradicional, utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal, o también utilizando moldes con fondo, que permite producir adobes más uniformes, más resistentes y de mejor presentación.

MÁQUINA DE TIPO CINVA – RAM: La máquina que se emplea para llevar a cabo la fabricación de los adobes artesanales, recibe el nombre de Cinva Ram a partir del centro de investigaciones donde se llevó a cabo inicialmente el desarrollo de bloques de tierra comprimida en la década de 1950 (Centro Interamericano de Vivienda, CINVA) y también por el apellido del desarrollador Raúl Ramírez.

Figura 1. . Máquina Para Fabricación De bloques “Cinva Ram”



Fuente: los autores

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA.

El bloque de tierra comprimida, Conocido también como BTC, es un material de construcción fabricado con una mezcla de tierra y un material estabilizante, como cal, cemento en un pequeño porcentaje (5%) o arcilla, que es comprimida y moldeada utilizando una prensa mecánica. El BTC es un sustituto del ladrillo corriente en actividades de construcción; se utiliza como una alternativa de bloque ecológico y barato usado comúnmente en muros apilándolo manualmente y utilizando una mezcla de los mismos materiales como pega¹⁷.

6.2 SUELO EN LA VÍA LA FLORIDA.

El estudio de suelos realizado por los autores encontró que el suelo en los taludes de la vía la florida es un limo arenoso, esto es sinónimo de que presenta características mecánicas de resistencia a la compresión aceptables.

6.3 MURETE.

El muérete es elaborado a base de bloques de tierra comprimida BTC. Solo se aplica en estructuras de uno o dos pisos, teniendo en cuenta que los BTC son secos al aire libre y no son muy resistentes sin embargo en la actualidad se están

¹⁷ ARTEAGA M., Karen y MEDINA , Oscar. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. 2011. pág. 14.

realizando estudios para poder hacer estructuras de este material al igual que el ladrillo normal.

6.4 COMPACTACIÓN

Es un proceso de la disminución o minimización de espacios vacíos por medio de la acción mecánica de los equipos de compactación. Durante este proceso se pueden mejorar las características del suelo, con un aumento simultáneo de densidad¹⁸. Por lo que con la compactación de un suelo se busca:

Mayor capacidad de carga: Al compactar un suelo se obtiene mayor densidad del mismo, debido a lo anterior se obtiene una mejor distribución de fuerzas que actúan directamente sobre el suelo como consecuencia de la carga que transmite la carga, lo que nos da una mayor capacidad de carga¹⁹.

Mayor estabilidad. Al construirse alguna edificación sobre un suelo sin compactar o compactado en forma desigual, el suelo por la acción de la carga, se asienta en forma desigual, lo cual ocasionara grietas en la estructura, y en un momento dado la inestabilidad de la construcción²⁰.

Disminución de la contracción del suelo: La permeabilidad de un suelo depende de la granulometría del suelo y de su densidad, un suelo bien compactado impide el paso del agua, evitando así deformaciones en el suelo, modificando las características de diseño, como es el caso de los baches²¹.

¹⁸ REVISTA ARQUIS. Estabilización de suelos. 2012. [En línea] Disponible en <<http://www.arqhys.com/articulos/suelos-estabilizacion.html>> [Citado el: 13 de mayo de 2017.]

¹⁹ *Ibíd.*

²⁰ *Ibíd.*

²¹ *Ibíd.*

Disminución de asentamiento: Cuando un suelo está mal compactado, en esos espacios se puede llenar de agua, el cual con bajas temperaturas se congela, y en los cambios de estado puede producir agrietamiento en la estructura de los pavimentos, bases de estructuras, muros etc.²².

Entre tanto Ingeniería del Terreno Eduardo Alonso en su artículo “suelos compactados en la teoría y en la práctica”, aborda el comportamiento de los suelos compactados atendiendo especialmente a su comportamiento volumétrico frente a cambios de humedad, y define las bases teóricas haciendo referencia a Proctor:

“... Una vez definido un procedimiento de compactación y una energía del mismo, se comprueba que la densidad alcanzada por el suelo varía con la humedad, de manera que se encuentra, en general, una densidad máxima u óptima para una humedad inferior a la de saturación, humedad que suele corresponder a grados de saturación de 0.8-0.9.”²³

El mismo autor hace referencia al estado de compactación y lo define por dos variables de estado: la densidad seca, γ_d , y la humedad, w . En la práctica, el resto de propiedades de interés del suelo compactado (rigidez, respuesta frente a cambios de humedad, resistencia al esfuerzo cortante) quedarían esencialmente determinadas por los dos valores (γ_d , w) que se consiguen durante la compactación²⁴.

²² Ibid.

²³ ALONSO, Eduardo. Suelos compactados en la teoría y en la práctica. Sf. [En línea] Disponible en <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573409891/SuelosCompTeoPrat.pdf>> [Citado el: 25 de junio de 2017.]

²⁴ Ibid.

6.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o apretarlo. El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión²⁵.

En un prisma el esfuerzo de compresión puede caracterizarse más simplemente como la fuerza que actúa sobre el material de dicho prisma, a través de una sección transversal al eje baricéntrico, lo que tiene el efecto de acortar la pieza en la dirección de ese eje²⁶.

6.6 LADRILLOS DE SUELO-CEMENTO

El ladrillo de suelo-cemento es un ladrillo con similares dimensiones que el ladrillo cocido común: 12,5 x 25,5 x 5,5 cm, empleado en la tradicional ejecución de mampostería. La diferencia entre la producción de un ladrillo cocido tradicional y un ladrillo de suelo-cemento radica en el procedimiento de obtención. En el segundo de los casos, éste es realizado mediante estabilización y prensado del suelo, utilizando la tierra no fértil como materia prima; a diferencia del proceso de extracción de la capa superficial del suelo, amasado, moldeo y cocción de los

²⁵ CABALLERO, Magdaleno, SANTOS, Silva y MONTES, José. Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. 2010 [En línea] Disponible en <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf> [Citado el: 27 de junio de 2017.]

²⁶ Ibíd.

mismos con un elevado consumo energético. Esto nos lleva a afirmar que el ladrillo propuesto es un "ladrillo ecológico": la tierra no se cuece sino que es estabilizada a partir de la adición de cemento; éste actúa sobre el suelo, modificando el comportamiento de sus partículas y mejorando su estabilidad, transformando la masa resultante en una estructura difícil de alterar y de mejor resistencia con respecto a un suelo natural²⁷.

Mariana P. Gatani, Arquitecta-CONICET Córdoba (Argentina) en su estudio "ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible" hace las siguientes apreciaciones el suelo-cemento es un material de construcción básico para quienes construyen mamposterías con técnicas vernáculas, particularmente en sectores rurales. Asimismo, y desde hace varias décadas, se usa como material confinado entre moldes para la construcción de muros monolíticos, especialmente ligado a vivienda social, y conocido como suelo-cemento tapia, el empleo de tierra para la construcción de viviendas permiten elaborar las primeras conclusiones sobre las formas diversas que ha adoptado el suelo para la construcción, en relación a situaciones temporales y locales como pueden ser²⁸:

- a) Como adobes, modelados con suelo abundantemente humedecido.
- b) Compactado entre moldes, conformando muros monolíticos.
- c) Como ladrillos, moldeados a mano, con cocción de la capa fértil del suelo.
- d) Como suelo estabilizado, combinándolo con un agente estabilizador para mejorar sus aptitudes, fundamentalmente de uso vial.
- e) Como bloques de tierra comprimida, empleando un estabilizante, en diferentes tamaños y geometrías.

²⁷ GATANI, Mariana P. Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible. 2000, en revista Informes de la Construcción, Vol 51, No 466, pág. 13.

²⁸ *Ibíd.*

La forma tradicional del uso del suelo como adobe o suelo apisonado, presenta limitaciones, como poca resistencia mecánica y muros de gran espesor, vulnerabilidad a los agentes atmosféricos y a la erosión por acción de agentes externos. Para mejorar estas características se agrega un agente estabilizador como es el cemento.

El suelo-cemento surge entonces como la mezcla de suelo, cemento y agua, dosificados, mezclados y compactados.

7. ANTECEDENTES

Actualmente se adelantan investigaciones que buscan identificar las características mecánicas de los BTC y poder hacer que estos materiales se han considerados dentro de las normatividades estructurales existentes. A continuación, se mencionan algunas de ellas.

El estudio realizado por Diego de la Peña Llevó a cabo una descripción detallada acerca de la fabricación manual y/o artesanal de ladrillos o bloques comprimidos, resaltando la popularidad de los mismos en ciertas regiones de Latinoamérica específicamente en México. El autor presentó las principales ventajas de llevar a cabo procesos de elaboración de adobes que permitan principalmente un ahorro considerable en energía respecto a los procesos de fabricación de elementos similares en las grandes industrias, justificando que la “arquitectura del adobe” permitiría que las personas puedan asegurar una vivienda para su futuro mientras los niveles de contaminación se reducen considerablemente²⁹.

En la misma línea de investigación Manuel de Jesús Morales elaboró un completo análisis de las situaciones que deben considerarse durante las etapas de construcción de viviendas con adobe y principalmente sobre las recomendaciones de habitabilidad en las mismas. Teniendo como principal fundamento teórico, las características de los adobes, como de permeabilidad y resistencia, el autor presenta una guía para que los interesados puedan aprovechar dichas características según sus necesidades particulares, entregando al mismo tiempo unas recomendaciones especiales sobre el procedimiento más adecuado en la

²⁹ DE LA PEÑA E Diego. Adobe, características y sus principales usos en la construcción México D.F. 1997

manipulación de los adobes de manera que llene con entera satisfacción los aspectos de bienestar y seguridad³⁰.

Héctor Rodríguez, Llevo a cabo un completo estudio de las posibles aplicaciones de la toba en la fabricación de bloques ligeros para su futura incursión en procesos constructivos. Justifica el autor que la toba siendo un material de gran porosidad, pueda considerarse menos densa que el ladrillo cerámico común, teniendo en cuenta además que su capacidad de absorción es alta, lo cual deberá considerarse con especial cuidado en los procesos constructivos; además expone de qué manera los bloques elaborados principalmente con la relación entre la tolba y un mortero común tienen como ventaja sobre el ladrillo cerámico, que presentan un coeficiente de conductividad térmica mucho menor y la absorción acústica es más alta³¹.

En el estudio “Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción” María Laguna, Propuso la elaboración de un nuevo material constructivo inspirado en el adobe tradicional y que pueda sustituir al ladrillo convencional cocido. La idea de fabricar un “eco-ladrillo” para lo cual se emplee suelo inalterado combinado con aditivos comerciales como el cemento y la menos usual, pero igual de eficiente cal hidráulica. Innova ampliamente al considerar las cenizas de cáscaras de arroz como aditivo resistente, suponiendo con éste último la reducción de un gran impacto medio ambiental³².

³⁰ MORALES M. Manuel de Jesús, Construcción de viviendas con adobe1997 (Recomendaciones para su habitabilidad). Guatemala.

³¹ RODRÍGUEZ Héctor H., Aplicación de la piedra toba y adobes de suelo-cemento a la mampostería en la construcción, 2002.Mendoza, Argentina, 2002.

³² LAGUNA C María, Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, 2011 España, 2011.

Luis Fernando Guerrero Baca, Rubén Salvador Roux Gutiérrez y Francisco Javier Soria López en el año 2013, realizaron una propuesta donde se propuso el uso de la cal como estabilizante de la tierra, propuesta que ha sido probado en diferentes tipos de obras civiles, especialmente las de consolidación de terrenos para el desarrollo de infraestructura e ingeniería de caminos. Sin embargo, en el ámbito de la arquitectura térrea, los estudios y normas para su aplicación en Colombia se encuentran todavía en una etapa experimental³³.

Autores como Albrecht, Jesica; Ángel Cortez, Walter; Bonari, Facundo; Chiariotti, Alejandra, en un trabajo conjunto con países de Iberoamérica a través de la Red Proterra se logró la realización de inter laboratoriales para verificar la posibilidad de efectuar ensayos con procedimientos y resultados comparables; así se realizaron ensayos simultaneo con varios laboratorios argentinos; de Brasil; de México; de Italia y de Uruguay. Esto nos permitió afianzar a laboratorios y a sus laboratoristas en el perfeccionamiento y desarrollo de métodos de ensayos sencillos y aplicables³⁴.

Lucía Elizabeth Arias - Carlos Eduardo Alderete - Rafael Francisco Mellace Stella Maris Latina - Mirta Eufemia Sosa - Irene Cecilia Ferreyra, El edificio sede del CRIATIC, prototipo experimental, en el que se aplican y monitorean innovaciones tecnológicas, representa en la actualidad una de las construcciones de tierra cruda de mayor importancia en la región integrado por cinco cuerpos independientes en los que se aplican técnicas tradicionales y evolucionadas correspondientes a los tres principales sistemas constructivos: sistema monolítico (tapial); sistema de mampostería (BTC) y sistema mixto (quincha y entortado)³⁵.

³³GUERRERO, Luis, ROUX, Salvador y SORIA, Francisco. Calidad de los bloques de tierra comprimida estabilizados con cal.

³⁴ ALBRECHT, Jesica, y otros. Ensayos para construcciones con tierra.

³⁵ ARIAS, Lucia, y otros. Diseño y análisis estructural de componentes constructivos con tierra cruda.

Sandra Bestraten Castells y Emilio Hormias Laperal, durante el año 2011 USF realizo la construcción de un Centro de Atención al Adulto Mayor en la población boliviana de San José de Chiquitos. Para su realización se ha optado por la utilización de bloque de tierra comprimida BTC como material para los muros de carga. Para la definición de las características del bloque de tierra a utilizar se realiza un programa exhaustivo de ensayos previo a la producción, los resultados de los mismos son los que se exponen en la presente comunicación³⁶.

Otras investigaciones internacionales de interés para los objetivos de esta investigación fueron la primera la realizadas por Haiyan Yu, Li Zheng , Jiujun Yang, Leilei Yang: “Ladrillos estabilizados de tierra comprimida hechos con suelos salinos costeros”, el material se recogió lo largo de la zona costera de Tianjin, China; Se aplicó pretratamiento de activación para potenciar la actividad pozolánica del suelo, El SCEB con suelo activado tiene mucha mayor resistencia, y resistencia al agua, a la vez que se evaluó el impacto ambiental del SCEB producido³⁷.

En este trabajo se presentó un estudio sobre la producción de ladrillos de tierra comprimida estabilizada (SCEB), con suelos salinos. Con el pretratamiento de vación, la actividad puzolánica del suelo salino fue significativamente mejorada y el SCEB con alta resistencia y resistencia al agua. Se emplearon tres aditivos químicos: silicato de sodio, Ácido hidrofúrico y ácido fosfórico en el pretratamiento de activación. Los resultados indicaron que estos tienen los efectos de potenciar la actividad pozolánica del suelo salino con cal y Portland Cemento y ácido fosfórico dieron los mejores resultados en términos de la prueba del índice de actividad³⁸.

³⁶ BESTRATEN, Sandra y HORMIAS, Emilio. Bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de san José de chiquitos, Bolivia.

³⁷ HAIYAN, YU, y otros. Stabilised compressed earth bricks made with coastal solonchak. En Construction and Building Materials. 2015. Número 77, 2015, p. 409-418.

³⁸ *Ibíd.*

SCEB fue mezclados con suero salino pretratado de activación, cal, cemento Portland y arena con moldeo a presión y Curado estándar. Las mezclas con suero salino activado al 50% obtuvieron 28 días de resistencia a la compresión 28-55% Mayor y resistencia al agua 44-66% mayor que la mezcla de referencia usando suelo salino no tratado, con más Eficacia a bajo contenido de PC. El estudio también reveló que el SCEB producido podría degradarse de nuevo al suelo Para la plantación después de la demolición y la erosión a largo plazo³⁹.

Este estudio concluyo que desde la perspectiva ambiental las Unidades de mampostería son amigables para la construcción sostenible.

Jean-Claude Mórela, AbaloPkla, y PeterWalker en su artículo “Construction and Building Materials” describen las metodologías utilizadas para determinar la resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida, incluyendo la prueba directa, la prueba RILEM y las pruebas indirectas de resistencia a la flexión.

También se hace una reflexión sobre la influencia de la geometría de los abobes en cuanto a su relación de aspecto, el procedimiento de prueba y los parámetros básicos del material (densidad seca, contenido de cemento, contenido de humedad). Se describen las propuestas para el desarrollo futuro de ensayos de resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida⁴⁰.

La capacidad de los adobes de mampostería en compresión está fuertemente diferenciada a la compresión de las unidades de mampostería (piedra, ladrillo, Y bloque), así como la resistencia del mortero, el patrón de unión y muchos otros

³⁹ Ibíd.

⁴⁰ MOREL, Jean-Claude , PKLA, Abalo y WALKER, Peter. Compressive strength testing of compressed earth blocks. En Construction and Building Materials 2007, , p. 303-309.

factores, Aunque otros parámetros, Como la densidad, la resistencia a las heladas y la absorción de agua, Especificada en el diseño, presentan condiciones favorables.

La resistencia a la compresión se de una unidad de mampostería para ser aceptada y especificar la calidad, está condicionada a pruebas de resistencia a la compresión de laboratorio.⁴¹

⁴¹ Ibid.

8. MARCO HISTÓRICO

El BTC como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica.

Actualmente el 50 por ciento de las casas del mundo están construidas con este material. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa auto construible de bajo costo. Sin embargo, una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico. Dicho conocimiento generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región carece de una terminología interdisciplinaria. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece, de modo directo, una base tecnológica universalmente válida.

La civilización Caldea, ha dejado importantes monumentos fabricados con arcilla; ellos levantaron los muros de Babilonia que tenían 95 metros de altura y para sus elementos exteriores usaron bloques de tierra. El BTC también se utilizó en viviendas y en todo tipo de construcciones. La dimensión promedio era de 0.50 x 0.40 x 0.12. El grosor de las paredes de los edificios importantes fue considerable, alcanzando algunas veces entre 3 y 4 metros, las superficies exteriores de los edificios cuyas paredes estaban construidas con tierra fueron protegidas en algunos casos contra la humedad, mediante revestimientos que consistían en una especie de clavos con cabeza plana y ancha hechos de arcilla cocida.

La gran muralla China, fue uno de los primeros ejemplos donde la tierra se usó en gran escala. En el valle de Mesopotamia por no existir piedras naturales sólo se utilizó como material de construcción el adobe. Se le encuentra también en las

construcciones antiguas de Egipto, Palestina e India. Se han encontrado también en Egipto estructuras monolíticas con una mixtura de paja y cañas.

En Persia, el método del apisonado fue usado principalmente para el adobe y otros métodos de construcción con tierra fueron puestos en práctica. Los bloques fueron generalmente de 35 x 35cm. Y tenían un grosor de 12 a 17cm, siendo secados al sol y colocados con argamasa. Las caras exteriores de las paredes se cubrían con lajas de piedra, ladrillos de arcilla cocida o azulejos vidriados.

En Grecia se le utilizó en viviendas populares y en Roma se encontró en diversas formas, entre ellas, la circular y triangular utilizadas para levantar columnas revestidas con yeso. Se empleó el adobe hasta la República, junto con las construcciones de ladrillos que aparecen en el siglo 1 a.C. en el templo El Peristilo la estructura principal del techo se prolongó más allá de los muros soportándola en pilares ubicados a cierta distancia de ellos de manera que se forman una terraza cubierta alrededor del edificio, protegiendo los muros del embate de las lluvias.

Los métodos de construcción con tierra los introdujeron los romanos en el resto de Europa; en el área de Normandía, enseñaron a construir con tierra apisonada, de donde se originó el nombre francés “pisé” para éste método. Durante los siglos XVIII y XIX⁴², la construcción con el método “pisé” se usó extensamente para la fabricación de varios edificios en Francia.

En Inglaterra, Escandinavia y en otros países, existen muchos edificios de tierra, aunque el clima está muy lejos de ser seco. En Rusia la edificación con tierra se

⁴²LA BIBLIOTECA DE LABROUSTE. Ingenieros y arquitectos en el contexto de la Revolución Industrial.

empleó extensamente. Después de un gran incendio que devastó Moscú a principios del siglo XVIII⁴³, se prohibió el uso de la madera, y la tierra se utilizó como el principal material para paredes. En 1970 se estableció en Nikosk, distrito de Tversk, una escuela especial para enseñar los métodos de construcción con tierra. En el siglo XIX se pusieron en práctica estos métodos en toda Rusia, pero especialmente en áreas donde la madera es escasa y el clima es cálido y seco.

⁴³ Patrimonio de la humanidad. Sitio oficial de la UNESCO.

9. MARCO ESPACIAL

La florinda se encuentra ubicado a 20 minutos de la ciudad de Pereira en la cuenca media del río Otún al Nor-Oriente de Pereira, limita al norte con el río Otún al sur con el municipio de Salento (Quindío), y a los corregimientos de Tribunales y la Bella, al Occidente con el área urbana de la ciudad de Pereira y al Oriente con el departamento del Tolima, cuenta con una extensión de 12.197,3 hectáreas y está compuesto por 9 veredas.

Figura 2. Corregimiento de la florinda Risaralda



Fuente: google Earth

10. MARCO JURÍDICO

En la presente investigación se tienen en cuenta las normas que rigen la elaboración de Ladrillos; se hace claridad que hasta el momento no se cuenta con normatividad para fabricación de adobes.

En la década de los ochenta, el Icontec tradujo una norma ASTM sobre piezas estructurales de arcilla para muros cargueros (C-34: Structuralclay load-bearingwall tile) y con base en ésta expidió la norma ICONTEC 2153: ladrillos estructurales de arcilla.

El alcance de cada norma es muy claro. Por ejemplo, la norma que se aplica a las unidades de mampostería (NTC 4205), dice:

“Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos y bloques cerámicos utilizados como unidades de mampostería y fija los parámetros con que se determinan los distintos tipos de unidades”

Es absolutamente claro que el alcance de la norma 4205 está limitado únicamente a los ladrillos utilizados como unidades de mampostería. No quiere decir, como algunos han interpretado, que solo son ladrillos los que se usan como unidades de mampostería, es decir, los que están contenidos y descritos en esta norma. La razón de que la norma contenga el nombre “ladrillos y bloques cerámicos” quiere decir que se refiere a las unidades de mampostería que sean ladrillos y bloques cerámicos y no a unidades de mampostería de otros materiales, para las cuales existen sus propias normas. Igualmente, existen otras normas para los otros ladrillos como adoquines y baldosas. Otras normas que deben consultarse son:

NTC 4026: Unidades bloques y ladrillos de concreto para mampostería estructural.

NTC 4076: Unidades de concreto bloques y ladrillos para mampostería no estructural.

NTC 922: Ladrillos silicio-calcáreos

Existen muchas clases de ladrillos y muchas propiedades y aplicaciones especiales, en tanto los ladrillos se usen como unidades de mampostería deberán acogerse a dichas normas, si el uso es diferente deberán acogerse a la norma respectiva que regula el otro uso o conjunto de propiedades especiales especificadas para ese otro uso.

Este proyecto se realizó mediante la obtención de muestras de suelos inalterados y alterados para la clasificación física y mecánica de los mismos; estos análisis se realizaron con la aplicación de las normas Icontec y normas Invías como se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1. Normatividad de la investigación

NORMATIVA	TITULO	ULTIMA VERSIÓN
NTC -125	Consistencia y plasticidad de suelos: Limite líquido y limite plástico	
NTC-1522	Granulometría por tamizado y lavado del tamiz No 20	Año 1979
NTC -2521	Análisis granulométrico por medio del ensayo del hidrómetro	
I.N.V.E -128-13	Ensayo de gravedad específica de suelos finos	Año 2013
NTC -2122	Ensayo de compactación por medio del Proctor modificado	
I.N.V.E 808	Elaboración y curado de probetas de suelo cemento con humedad controlada	Año 2007
I.N.V.E 152	Ensayo de resistencia a la comprensión inconfiada bajo deformaciones controladas	Año 2007

Fuente: los autores

11.METODOLOGÍA

Esta investigación se realizó usando la metodología experimental en la cual se identifica como variables independientes el tipo de suelo, tipo de arcilla y tipo de cemento, dichas variables son manipuladas para obtener la variable dependiente que es la resistencia a la compresión simple.

A continuación, se describen las fases de trabajo realizadas para llevar a cabo el proyecto, durante ellas se determina para la elaboración de los BTC, el suelo a utilizar, los porcentajes de aditivos a aplicar al suelo, así como las variables relevantes en su proceso de fabricación, como son la humedad de compactación y el tiempo de secado.

11.1 ELABORACIÓN DEL MURETE

Para la elaboración del muerte se procede a cortar los bloques por la mitad con ayuda de una mango cierra o pulidora, procurando que este proceso sea lo más cuidadoso posible con el fin de evitar el desmoronamiento del bloque en las esquinas y en las caras, luego de esto se procede a la preparación de la pega, para ello se trabajó con una dosificación 1:3 procurando que la arena utilizada en esta mezcla sea fina o de un tamiz menor o igual al # 40, una vez hecha la pega se humedecen los 3 bloques cortados por las caras en las que serán unidos procurando que el espesor del mortero sea de 1 cm, una vez terminado los diferentes tipos de muretes según las proporciones de arcilla (5%,10%,20%) enunciados en la cuarta fase de este documento, se dejan curar siete días en bandejas que permiten diferenciar los diferentes tratamientos posterior a esto se procede a realizar los ensayos de resistencia a la compresión.

COSTOS DEL BLOQUE.

Extracción del material

El lugar de la extracción del material es muy cercano a las veredas en las que su uso puede ser mejor explotado, el valor de la distancia ronda entre los 3 y 5 km recorridos y medidos en auto.

Para poder calcular un aproximado del costo de cada bloque se toman algunos precios unitarios de la gobernación de Risaralda 2017.

ITE059 cargue mecánico de material m³ \$ 3.393

ITE061 transporte de material < 40km m³-km \$ 1.000

Excavación en material seco mayor a 4m de profundidad m³ \$ 62.124

Costo de excavación para 2,925m³*\$ 62.124 = \$181.712

Promedio de bloques por día de trabajo que pueden hacer dos hombres
500-800 unidades.

Salario mínimo mensual vigente 2017 obrero = \$ 737.717

Salario diario por dos hombres = \$737.717/30= \$24.590 *2 = \$49.181

Dimensiones del bloque = 0.15*0.30*0.10= 0.0045m³

Volumen de material usado en un día: 500*0,15*0,30*0,10*1,30 = 2,925 m³

1.30 valor del coeficiente de expansión del terreno

Valor del cargue mecánico de los 2.925m³ = \$9.924

Valor del transporte de material para 2.925 m³ en 5 km = \$14.625

Cantidad de cemento usada = densidad seca máxima del ensayo de Proctor modificado es de 1315 kg/m³

peso de material para 500 bloques: 1315kg/m³*2,925m³ = 3840.37 kg

el porcentaje de cemento optimo según el ensayo de compresión inconfiada es el 5% del peso

por lo tanto, la cantidad de cemento en kg para los 500 bloques será:
 $3840.37\text{kg} \times 0,05 = 192,32 \text{ kg}$

el bulto de cemento argos pesa 50 kg y tiene un valor aproximado de \$ 20.000

cantidad de sacos de cemento para 500 bloques: $192,32/50 = 3,84$ sacos $\times 20.000 =$
 $\$76.927,5$

Costo de producción de los 500 bloques $\$181.712 + 49.181 + 9.924 + 14.625 + 76.927,5$
 $= \$ 332.369.$

Costo por bloque $\$332.369/500 = \$ 664,73.$

11.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

En este numeral se describen los pasos necesarios para el desarrollo de la investigación diferenciados o agrupados en fases.

11.2.1 PRIMERA FASE: localización del lugar

Se escoge un tipo de suelo ubicado en el sector de la florida en el Municipio de Pereira con coordenadas Norte: 4°45'23". Oeste: 75°36'39", teniendo conocimiento previo de que en el sitio hay presencia de suelo limo - arenoso.

11.2.2 SEGUNDA FASE: caracterización física y mecánica de los suelos.

Con el fin de determinar las características del suelo obtenido; se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Consistencia y plasticidad de suelos: límite líquido y límite plástico: norma técnica colombiana NTC -125: Necesario para clasificar el material y establecer humedades LL y LP (%) que permitan conocer que tan susceptible es a los cambios de estas.

El procedimiento realizado para el desarrollo de este ensayo fue:

- Se pone la muestra en el plato de evaporación y se le agrega una cantidad considerable de agua destilada, y se mezcla hasta que quede una pasta uniforme. Esta pasta debe moldearse el tiempo que se necesite para que la humedad se distribuya uniformemente.
- Se deposita en la taza de la máquina de Casagrande unos 50 a 70 gramos de la muestra preparada, se alisa la muestra con una espátula de manera que no queden burbujas dentro de la masa y que la altura obtenida en el centro sea de 10 mm y que esta ocupe un volumen de 16 cm³ aproximadamente.

- Una vez dividida la muestra se gira la manivela con una frecuencia de 2 golpes por segundo, se hacen los golpes necesarios para que la ranura cierre en 10 mm de longitud en el fondo de ella.
- Se toma una parte de la muestra de aproximadamente 10 gramos para determinar la humedad.
- La parte de la muestra que sobra se deposita en el plato de evaporación para agregarle nuevamente agua destilada, para que el número de golpes requeridos varíen en un rango de 15 a 35 golpes.

Lavado tamiz # 200: norma técnica colombiana NTC1522: Nos permite conocer el porcentaje de arena que tiene la muestra de suelo inalterada, si este es alto indicará una mayor resistencia a la compresión.

- Se deja secar la muestra al aire, se toman 2 muestras con más o menos 115 gramos, se realizan dos lavados con cada uno de ellos, paso a seguir se lava el contenido hasta que el agua pase limpia, y lo que queda retenido se coloca en una tara con un poco de agua cuidando de no perder material.
- Teniendo las taras listas, se llevan al horno y se ponen a secar a 110°C, y luego de que la muestra se encuentre seca, se procede a pasarla por los tamices menores al tamiz No 10, por último, se pesa la masa retenida en cada tamiz.

Ensayo hidrómetro: norma técnica colombiana NTC2521: Nos permite conocer el porcentaje de arcilla que tiene la muestra de suelo inalterada, esta aporta al material una mayor cohesión por lo tanto se irá variando de manera creciente hasta encontrar un porcentaje óptimo.

- Se selecciona una muestra de más o menos 50 gramos que pase por el tamiz # 200, a lo que quede retenido en el tamiz # 200 se le hace un lavado, continuando con el procedimiento después del lavado se deposita lo retenido en un recipiente que irá al horno para determinar el porcentaje de gruesos de la muestra, ya que este ha sido debidamente pesado antes de pasar por el tamiz # 200.
- La muestra que pasa el tamiz # 200 se deposita en una tara; posteriormente se añaden 200 cm³ de agua y aproximadamente 20 cm³ de agente defloculante, se debe dejar la suspensión como mínimo una hora (la A.S.T.M sugiere que para suelos arcillosos se deje 16 horas). Después de haber sometido la muestra al defloculante se transfiere la mezcla al vaso de la agitadora eléctrica, se añade agua hasta llenar dos terceras partes del vaso, se realiza a dispersión de la muestra de 5 a 10 minutos.
- La muestra dispersada se lleva a un cilindro graduado y se le agrega agua hasta los 1000 cm³; se agita el cilindro durante un minuto tapando con la palma de la mano e invirtiéndolo repetidas veces, se hace esto para obtener una suspensión homogénea. Posterior se coloca el cilindro sobre una mesa y se pone en funcionamiento el cronómetro. Para los tiempos indicados se introduce el hidrómetro dentro del cilindro y se registran los datos, encargándose también de medir la corrección por menisco y la temperatura para cada medida.

Gravedad específica de suelos finos: norma I.N.V.E -128-07: Es un parámetro fundamental del material que sirve para completar el ensayo del hidrómetro.

- El procedimiento se inicia con el Peso del picnómetro y limpieza, posteriormente se realizaron los siguientes pasos:
- Determinar el contenido de agua de una porción de la muestra, dispersar el suelo utilizando una licuadora, se agrega el suelo a, aproximadamente, 100 ml de agua aireada. Se pone la lechada en el picnómetro, se lava el embudo y se vierte el agua con las partículas retenidas en el embudo al picnómetro.
- Extraer el aire atrapado en la lechada, se puede hacer usando una bomba de vacío o mediante la combinación del calor y aspiración. Llenar el picnómetro con agua aireada introduciendo el agua por un tubo delgado, llenar el picnómetro, hasta la marca.
- Medir y anotar la masa de picnómetro con suelo y agua. Determinar la temperatura del picnómetro; medir y anotar la temperatura de la lechada de suelo. Sacar el espécimen hasta obtener una masa constante en un horno de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, por último, se pesó el suelo seco y el recipiente.

Compactación de suelos: Proctor modificado NTC 2122: Nos permite conocer la densidad seca máxima y la humedad optima del material.

- Se coloca una muestra de suelo con un contenido de agua seleccionado, en cinco capas, en un molde de dimensiones dadas, y cada capa se compacta con 25 golpes de un martillo de 44.5 N (10 Lb) que se deja caer desde una distancia de 457 mm (18") dándole al suelo un esfuerzo de compactación total de alrededor de 2700 Kg/m².
- Se determina el peso unitario seco resultante.

- El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el contenido de agua para el suelo y el peso unitario seco.
- Al graficar estos datos resulta una relación curvilínea conocida como la curva de compactación. Los valores del contenido óptimo de agua y el peso unitario seco máximo se determinan de la curva de compactación.

Compresión no confinada I.N.V.E 152-07: Permite conocer con que combinación del material se obtiene los mejores resultados de la resistencia mecánica (cohesión y esfuerzos normales).

- Se miden tres alturas de la probeta cada una separada 120 grados de la otra y tres diámetros en las tres líneas imaginarias centrales que resultan de dividir la probeta en cuartos, con una precisión de 0.1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo. En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.
- Se determina la masa de la muestra, luego se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones. El ensayo se podrá hacer controlando la deformación o controlando la carga.
- Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida

entre $\frac{1}{2}$ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 15% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos. En el caso de materiales muy blandos que exhiben deformaciones mayores a la falla, deberán ensayarse a una rata mayor de deformación y lo inverso para los materiales duros o quebradizos. Si se trata de una probeta de suelo muy duro, en la cual la deformación a la rotura sea muy pequeña, la curva esfuerzo-deformación no quedará debidamente representada en dicho gráfico. En ese caso, es posible despreciar el aumento de sección durante la carga. Cuando interesa hallar el módulo de deformación en probetas de suelo muy duro, es conveniente medir la deformación mediante extensómetros o por otro procedimiento que elimine las deformaciones en la base.

- Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una rata de 0.50% a 2% por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 segundos. La rata de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrentar Instituto Nacional de Vías E 152 - 6 nunca sobrepase de 10 minutos. La carga se deberá proseguir hasta que decrezcan los valores de la carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.
- Se hace un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.

- De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se determina la humedad de toda probeta, anotando las masas y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos.

11.2.3 Tercera fase: elaboración de los BTC.

Elaboración de los adobes comprimidos utilizando la maquina cinva- Ram (Veáse Figura 1) teniendo en cuenta que en la fabricación de estos se debe tener especial cuidado en el curado de las muestras de los primeros 7 días con el fin de que estas alcancen una resistencia optima, para ello se dejaran en bandejas metálicas tapadas con un plástico húmedo para controlar la humedad en ellas, luego de 21 días se deben secar al sol para terminar su proceso de curado.

11.2.4 Cuarta fase: pruebas de resistencia a los BTC individuales. (Normas: resistencia a compresión)

Se realizaron pruebas de resistencia a compresión a los BTC, de acuerdo con la norma “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión NTC 4017”. permite conocer la resistencia a la compresión (Mpa) para así poder comparar con la norma NTC 5324 (2 Mpa), analizar el resultado con otras investigaciones nacionales y concluir.

Al momento de escoger los materiales que se utilizaron para la elaboración de los BTC comprimidos, se tuvo en cuenta principalmente que su efecto sobre el medio ambiente tuviera el menos impacto posible sobre el mismo, de igual forma se buscaron materiales que proporcionaran una alternativa económica y confiable para

la sociedad; los materiales utilizados fueron: cemento y arcilla, además del suelo del sitio y agua.

Con los resultados de los ensayos, se determinó adicionaría un porcentaje de cemento del 3% a 5% para aumentar la resistencia a las cargas axiales, y evitar el desmoronamiento del bloque ante la prueba de absorción. Buscando no exceder el costo de fabricación de un ladrillo convencional macizo.

Luego de realizar todos los ensayos de laboratorio y analizar sus resultados, se procedió a establecer los porcentajes que se necesitaban de cada material por cantidad de suelo; los porcentajes de Cemento y Arcilla se determinaron con base en investigaciones y aplicaciones, y el de la humedad se determinó en el ensayo de Proctor Modificado. Los porcentajes definidos fueron:

3% a 5% de cemento → Probetas de suelo cemento

29.4% de Humedad. → Ensayo de Proctor modificado

5% a 20% de Arcilla → Bloques iniciales (BTC)

A continuación, se mostrarán las cantidades de arcilla y cemento para la elaboración de los bloques, tomando como referencia 7000g de material, por lo tanto, las cantidades de los porcentajes en pesos dadas anteriormente serían:

En la Figura 3 se muestran las cantidades de arcilla y cemento para la elaboración de los bloques, tomando como referencia 7000g de material, por lo tanto, las cantidades de los porcentajes en pesos dadas anteriormente serían:

Figura 3. Combinaciones de arcilla



5% de arcilla para 7kg de suelo



10% de arcilla para 7kg de suelo



20% de arcilla para 7kg de suelo

Fuente: los autores

En la resistencia a la compresión inconfiada, se pudo determinar que el comportamiento óptimo de acuerdo a la cantidad de cemento fue con el 5% ya que esta presento una mayor resistencia a la compresión. Ver Figura 4.

Figura 4. 5% de cemento portland para 7kg de material



Fuente: los autores

El ensayo parte de una humedad natural o higroscópica del material correspondiente al 10%, sin embargo, la humedad óptima de compactación es 29.4 o aproximadamente 30%, por lo tanto, se adiciona un 20% más de humedad al suelo para que este alcance su densidad máxima a la hora de utilizar la máquina Cinva Ram. Figura 5

Figura 5. Cantidad de agua para llegar al 30% o humedad óptima



Fuente: los autores

Teniendo establecidos estos porcentajes, se procedieron a mezclar todos los materiales; y por medio de la maquina Cinva Ram, se elaboraron los BTC comprimidos como se describe en la Figura 6. El funcionamiento de esta máquina consiste en llenar el molde con una buena cantidad de suelo mezclado y posteriormente cerrando la tapa; manualmente se lleva la palanca hasta la posición vertical, se suelta el pestillo y se continúa tirando de la palanca hasta ponerla horizontal, de esta manera queda comprimido el BTC y listo para sacar y poner a secar durante un periodo de 4 semanas al aire libre antes de proceder con las pruebas que se realizaran.

Figura 6. Proceso de elaboración de BTC



Combinando los materiales con los respectivos porcentajes



Material listo para prensado en la máquina Cinva Ram



Elaborando los bloques



Bloque listo para curado y secado.



Curado de los BTC

Fuente: los autores

12.RESULTADOS

12.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE LOS SUELOS. ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de determinar las características del suelo obtenido; se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

12.1.1 Consistencia y plasticidad de suelos: límite líquido y límite plástico: Norma Técnica colombiana NTC 125

En las tablas (Tabla 2 a la Tabla 5), se presentan los resultados obtenidos en este proyecto.

Tabla 2. Pesos y humedades obtenidos en el ensayo del primer saco de material.

SACO	Límite líquido (LL)			
	# Golpes	Wh (g)	Ws (g)	w %
1	29	6.84	2.61	61.84
	25	13.3	5	62.41
	18	18.81	6.8	63.85

Fuente: los autores

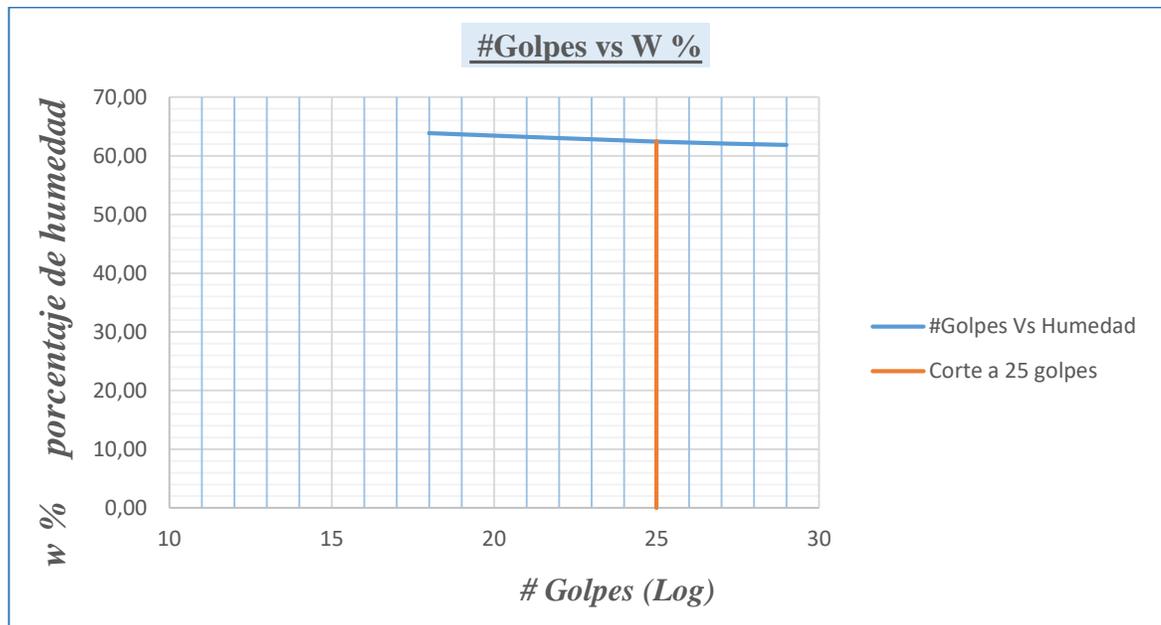
Tabla 3. Resultados de las humedades bajo diferentes números de golpes según la norma.

# Golpes	LL %
25	62.5
25	0

Fuente: los autores

El límite líquido anexado en la Tabla 5 se obtuvo mediante el corte de la línea descendiente a los 25 golpes según la especificación de la norma, ver gráfica 1.

Gráfica 1. Resultados de laboratorio de límite líquido



Fuente: los autores

Tabla 4. Pesos y humedades obtenidos para límite plástico

Límite Plástico (LP)		
Wh (g)	Ws (g)	LP(i)
5.74	3.2	44.25
4.72	2.8	40.68
5.03	2.95	41.35

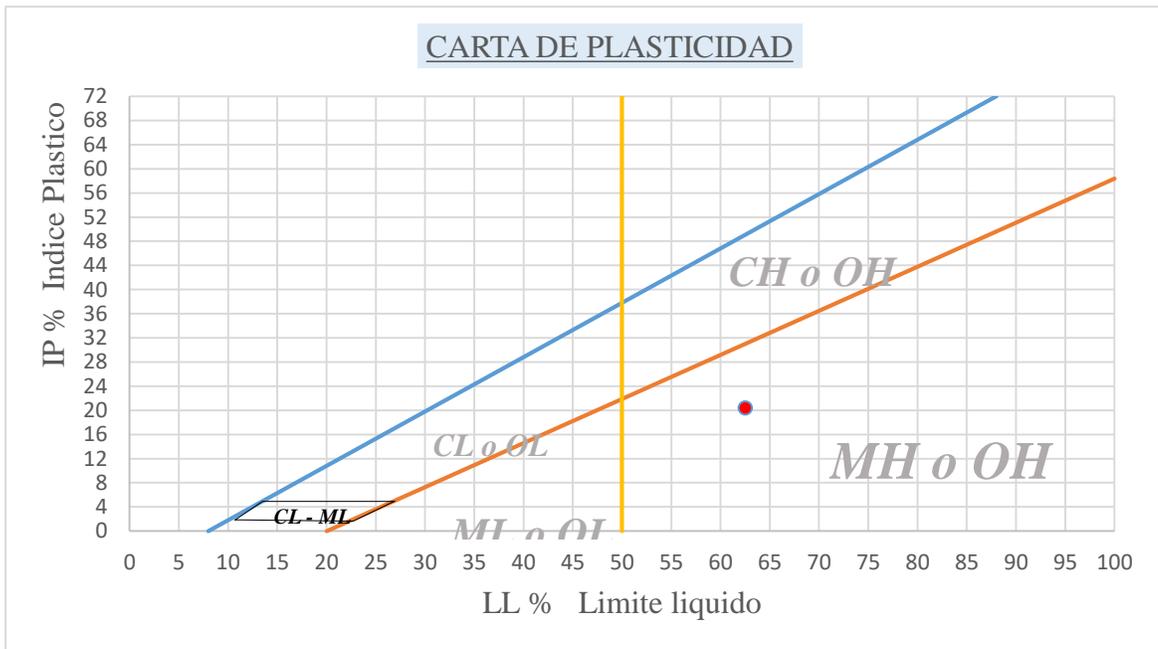
Fuente: los autores

Tabla 5. Resultados de índice de plasticidad y límite plástico para clasificación

LP %	42.1
IP %	20.4

Fuente: los autores

Gráfica 2. Resultados de laboratorio Carta de plasticidad



Fuente: los autores

Los límites de consistencia dieron como resultado una clasificación de un limo de alta compresibilidad según la carta de plasticidad dónde el punto rojo en la gráfica 2 indica la ubicación.

12.1.2 Granulometría por tamizado y lavado tamiz # 200: norma técnica colombiana NTC1522

En las tablas 6 a la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en donde se observa que el suelo Limoso tiene un porcentaje de arena superior al 30%, valor muy alto que posiblemente genere pérdida de la cohesión e integridad del bloque.

Tabla 6. Resultados del lavado T200.

Peso inicial (gr)	300
Peso después del lavado (gr)	103.69
%arena	34.6%

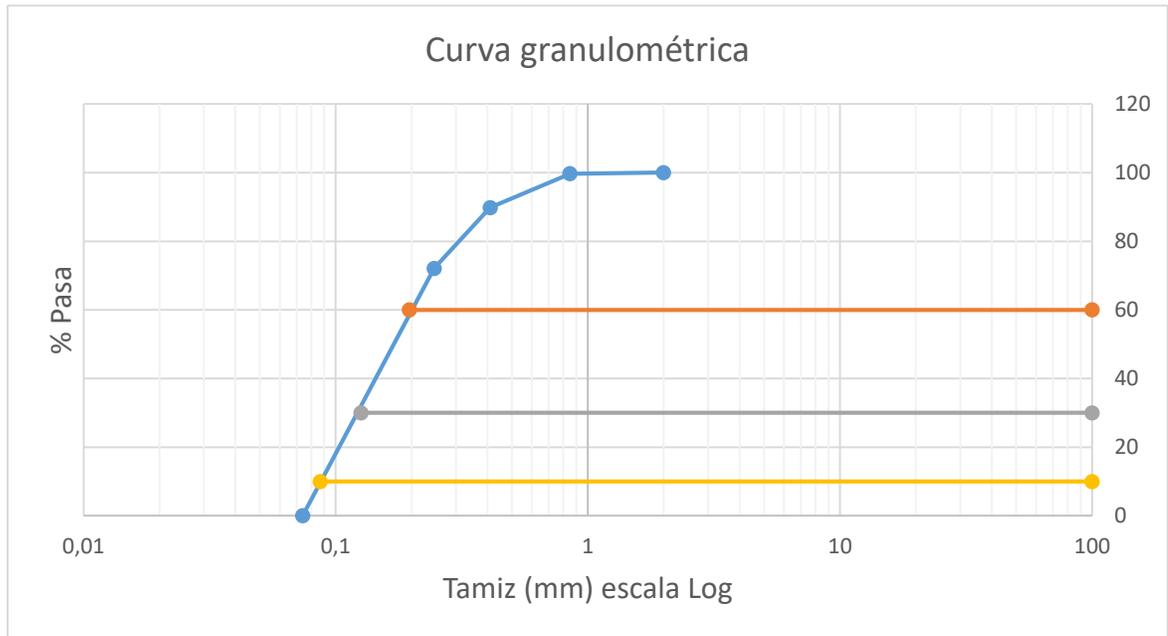
Fuente: los autores

Tabla 7. Resultados de granulometría hecha a la arena obtenida por lavado de T200

Tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Ret acumulado	Pasante	% pasa
#	mm					
10	2	0	0	0	1	100
20	0.85	0.3	0.003	0.003	0.997	99.710
40	0.41	10.24	0.099	0.102	0.898	89.827
60	0.246	18.36	0.177	0.279	0.721	72.106
200	0.074	74.71	0.721	1	0	0
	Σ	103.61				

Fuente: los autores

Gráfica 3. Curva granulométrica del material obtenido del lavado del T200.



Fuente: los autores

Tabla 8. Resultados de coeficientes de uniformidad y curvatura⁴⁴

Cu	2.253	Pobrementemente gradada
CC.	0.931	Pobrementemente gradada

Fuente: los autores

En la Tabla 8 se concluye que la arena obtenida en el lavado del T200 es pobrementemente gradada según la norma técnica NTC 1522 que establece para una buena gradación:

⁴⁴ $1 > Cu > 3 \rightarrow$ Bien gradada

$Cu > 6$ Para arenas \rightarrow Bien grada

12.1.3 Ensayo hidrómetro: norma técnica colombiana NTC- 2521

Los resultados del ensayo del hidrómetro permiten determinar el contenido de arcilla presente en el suelo usado para la elaboración de los BTC, en la tabla 9 a la 11 se incluyen los resultados obtenidos durante el ensayo.

Tabla 9. Datos iniciales del hidrómetro

Datos previos y constantes	
corrección por menisco	$0,6 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
Fm	1
Hidrómetro 151 H	0.006
Gs	2.55
Constante	1.02
Ct (densidad g/cm^3)	0.006
Lectura del hidrómetro en agua destilada	1
Lectura del hidrómetro en agua destilada más defloculante	1.003
Cd	-0.003

Fuente: los autores

Tabla 10. Datos del hidrómetro: sedimentación contra el tiempo

Tiempo	Tiempo (min)	Temperatura	Lectura hidrómetro <u>R</u>
1	1	24	1022
2	2	24	1020
5	5	24	1011
15	15	22	1007.2
30	30	23	1005
60	60	22	1004.5
120	120	23	1003.5
250	250	25	1003
1440	1440	23	1001

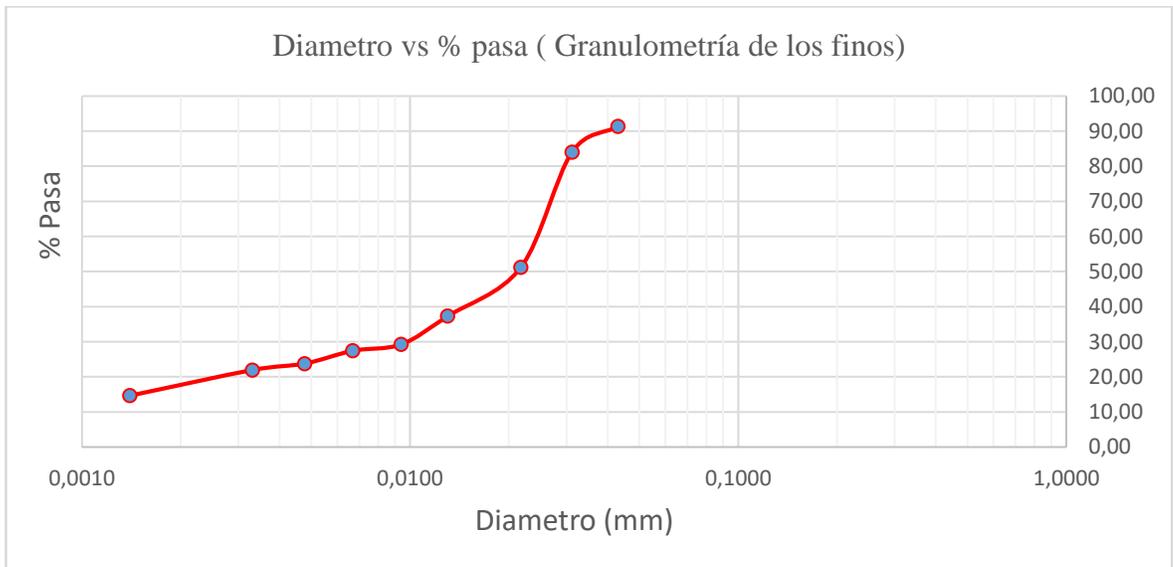
Fuente: los autores

Tabla 11. Cálculos del hidrómetro

Lectura corregida (gr/cm ³)	% más fino	L (mm)	R corregida	D	k
1.022	91.37	105.0	1.03	0.043	0.004
1.020	84.07	110.0	1.02	0.031	0.004
1.011	51.18	134.0	1.01	0.022	0.004
1.007	37.29	144.0	1.01	0.013	0.004
1.005	29.25	150.0	1.01	0.009	0.004
1.004	27.43	152.0	1.01	0.007	0.004
1.004	23.77	155.0	1.01	0.005	0.004
1.003	21.95	155.0	1.01	0.003	0.004
1.001	14.64	160.0	1.00	0.001	0.004

Fuente: los autores

Gráfica 4. Granulometría de los finos



Fuente: los autores

Según los resultados dados en la gráfica 4, el porcentaje de material pasante del T200 corresponde al 14.64%, esto será un valor importante debido a que se debe partir de un % de arcilla natural del material.

12.1.4 Gravedad específica de suelos finos: norma I.N.V.E -128-07

Al realizar el ensayo de gravedad específica se puede observar en la Tabla 12, que el valor de la misma corresponde a suelos Limo arenosos, valores superiores a los obtenidos en la literatura en suelos derivados de cenizas volcánicas.

Tabla 12. Cálculos para determinación de la gravedad específica según la I.N.V.E 128-07

GRAVEDAD ESPECÍFICA	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		
peso picnómetro vacío (gr)	80.5	80.5	80.5		
peso picnómetro + agua (gr)	330.56	330.56	330.56		
peso picnómetro con agua corregida (gr)	329.50	329.50	329.50		
peso agua (gr)	250.06	250.06	250.06		
peso picnómetro con suelo y agua (gr)	354.03	355.3	345.76		
peso seco (gr)	39.25	41.87	25.38		
temperatura del ensayo (°c)	26	26	26		
factor de corrección $t = ^\circ c \rightarrow (k)$	0.99	0.99	0.99		
densidad del agua a $t = ^\circ c$ (g/cm^3)	0.99	0.99	0.99		
G1	G2	G3	G (Prom)	2.68	
2.66	2.60	2.78			

Fuente: los autores

12.1.5 Compactación de suelos: Proctor Modificado NTC 2122

El ensayo de compactación permitió definir la densidad buscada en los bloques de tierra comprimida y la humedad de compactación que permanecería constante durante el proceso de elaboración de los mismos. Las tablas 13 a 15 presentan los resultados obtenidos

Tabla 13. Valores iniciales del molde con suelo

Punto	W (Molde) (kg)	V (Molde) [cm ³]	W Molde + Suelo [Kg]
1	3.356	930.00	4.496
3	3.356	930.00	4.939
3	3.356	930.00	4.886

Fuente: los autores

Tabla 14. Valores para la determinación de peso húmedo

W Tara [gr]	W Tara + Suelo [gr]	W Tara + Suelo Seco [gr]	Wh (kg)
387.3	1527.3	1389.92	1.14
370.11	1949.3	1590.21	1.58
183	1706	1243	1.53

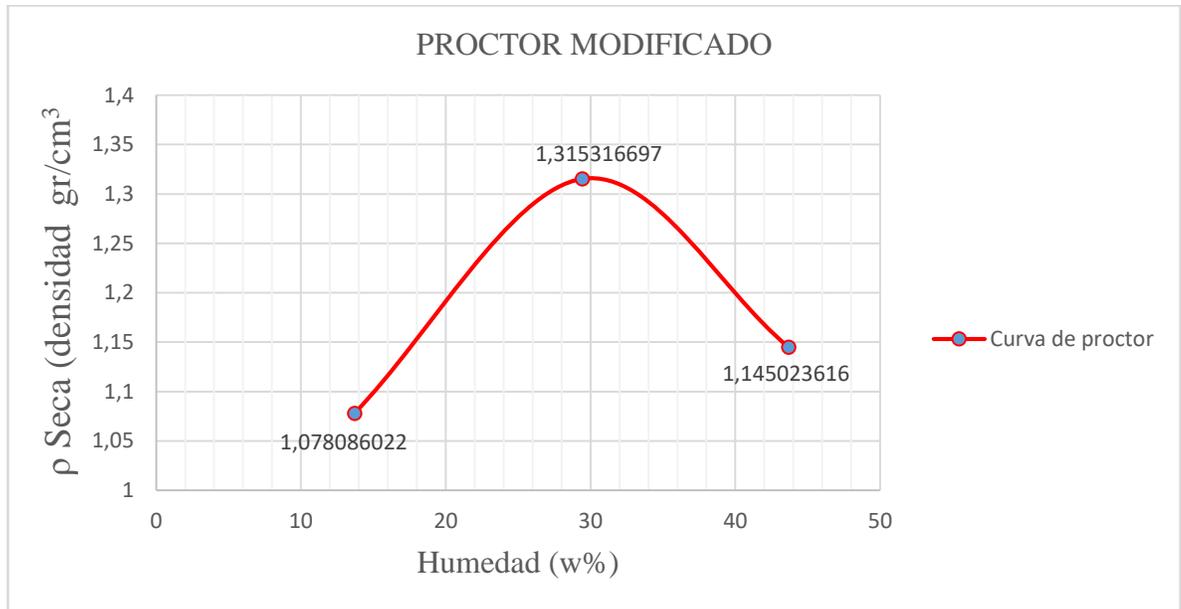
Fuente: los autores

Tabla 15. Determinación de densidad seca

Ws (kg)	Ww (kg)	ρ Seca	W %
1.00262	0.1374	1.078	13.7021
1.223	0.360	1.3153	29.431
1.064	0.465	1.145	43.679

Fuente: los autores

Gráfica 5. Curva puntos de Proctor modificado



Fuente: los autores

Según la gráfica 5 se puede encontrar que el punto numero 2 es un punto máximo, por lo tanto, los valores dados en el corresponderán a la densidad y humedad óptima del suelo, dando como resultado.

Tabla 16. Densidad seca – humedad optima

ρ Seca (gr/ cm³)	W %
1.315	29.431

Fuente: Autor

12.1.6 Compresión no confinada I.N.V.E 152-07

Se fabricaron probetas de suelo con diferentes dosificaciones de cemento para garantizar que los BTC se fabricarían con el porcentaje de cemento que generara mayor resistencia a la compresión no confinada. Los resultados de laboratorio para probeta con 3% de cemento y humedades controladas, se presentan en las tablas 17 a 20.

Tabla 17. Datos iniciales de la probeta

Sensibilidad de la máquina		
0.000393701		
∅1	70.23	mm
∅2	70.93	mm
∅3	70.36	mm
∅ prom	7.05	cm
A	39.04	cm ²
L1	146.46	mm
L2	146.45	mm
L3	146.46	mm
L prom (cm)	14.65	cm
V	571.80	cm ³

Fuente: los autores

Tabla 18. Pesos, humedades y densidades durante el ensayo

Peso tara para W%	56.12	gr
Peso tara para W% + masa h	158.1	gr
Peso tara para W% + masa s	124.32	gr
Masa seca para W%	68.2	gr
W %	50%	-
Peso tara para densidad húmeda	112.07	gr
Peso tara para densidad húmeda + masa	1026.55	gr
Masa húmeda para densidad	914.48	gr
γ _d (peso unitario seco)	1.069539909	gr/cm ³
γ _h (peso unitario húmedo)	1.599291494	gr/cm ³

Fuente: los autores

Tabla 19. Resultados de compresión no confinada con 3% de cemento

Def controlada	(Delta L) (cm)	Fuerza (Kg)	E	Ac (cm ²)	Esfuerzo(kg/cm ²)
10	0,004	4,330	0,000	39,053	0,111
20	0,008	6,820	0,001	39,063	0,175
30	0,012	7,730	0,001	39,074	0,198
40	0,016	7,810	0,001	39,085	0,200
50	0,020	7,830	0,001	39,095	0,200
60	0,024	8,410	0,002	39,106	0,215
70	0,028	8,860	0,002	39,116	0,227
80	0,031	10,290	0,002	39,127	0,263
90	0,035	10,930	0,002	39,137	0,279
100	0,039	12,440	0,003	39,148	0,318
110	0,043	12,830	0,003	39,158	0,328
120	0,047	13,460	0,003	39,169	0,344
130	0,051	14,260	0,003	39,179	0,364
140	0,055	16,250	0,004	39,190	0,415
150	0,059	17,830	0,004	39,201	0,455
160	0,063	20,820	0,004	39,211	0,531
170	0,067	22,870	0,005	39,222	0,583
180	0,071	25,590	0,005	39,232	0,652
190	0,075	28,290	0,005	39,243	0,721
200	0,079	31,240	0,005	39,254	0,796
210	0,083	33,430	0,006	39,264	0,851
220	0,087	36,030	0,006	39,275	0,917
230	0,091	39,470	0,006	39,285	1,005
240	0,094	42,350	0,006	39,296	1,078
250	0,098	45,220	0,007	39,307	1,150
260	0,102	47,030	0,007	39,317	1,196
270	0,106	50,540	0,007	39,328	1,285
280	0,110	51,710	0,008	39,339	1,314
290	0,114	55,060	0,008	39,349	1,399
300	0,118	56,770	0,008	39,360	1,442
310	0,122	57,220	0,008	39,371	1,453
320	0,126	59,260	0,009	39,381	1,505
330	0,130	59,540	0,009	39,392	1,511

Fuente: los autores

Tabla 20. Resultados resistencia a la compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	1.511
Cohesión (Kg/cm²)	0.755

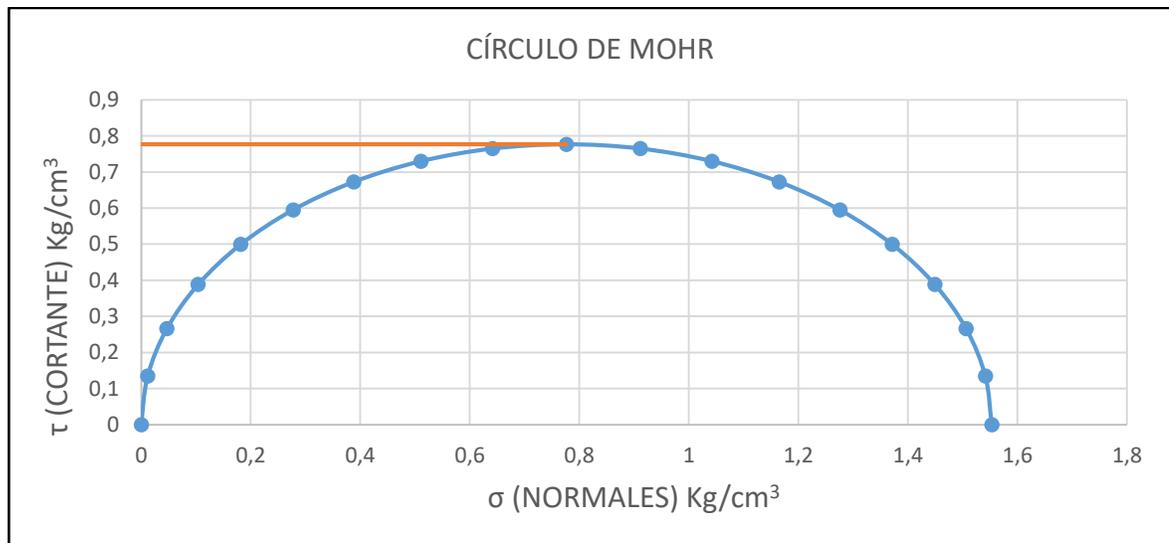
Fuente: los autores

Tabla 21. Consistencias del suelo según su resistencia a la compresión, Fragmento extraído del inciso 5.6 del I.N.V.E 152-07

CONSISTENCIA DEL SUELO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
	kg/cm ²
MUY BLANDA	< 0.25
BLANDA	(0.25 - 0.5)
MEDIANA	(0.5 - 1)
FIRME	(1 - 2)
MUY FIRME	(2 - 4)
DURA	> 4

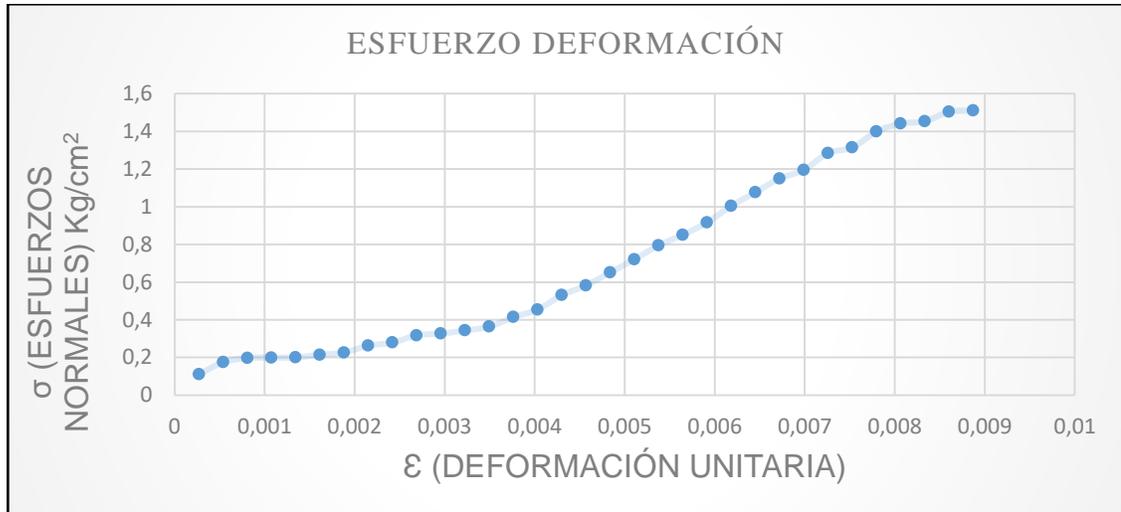
Fuente: los autores

Gráfica 6. Círculo de Mohr para 3% de cemento



Fuente: los autores

Gráfica 7. Esfuerzo deformación para 3%



Fuente: los autores

Según la Tabla 21 de INVÍAS, la resistencia del suelo es correspondiente a muy firme.

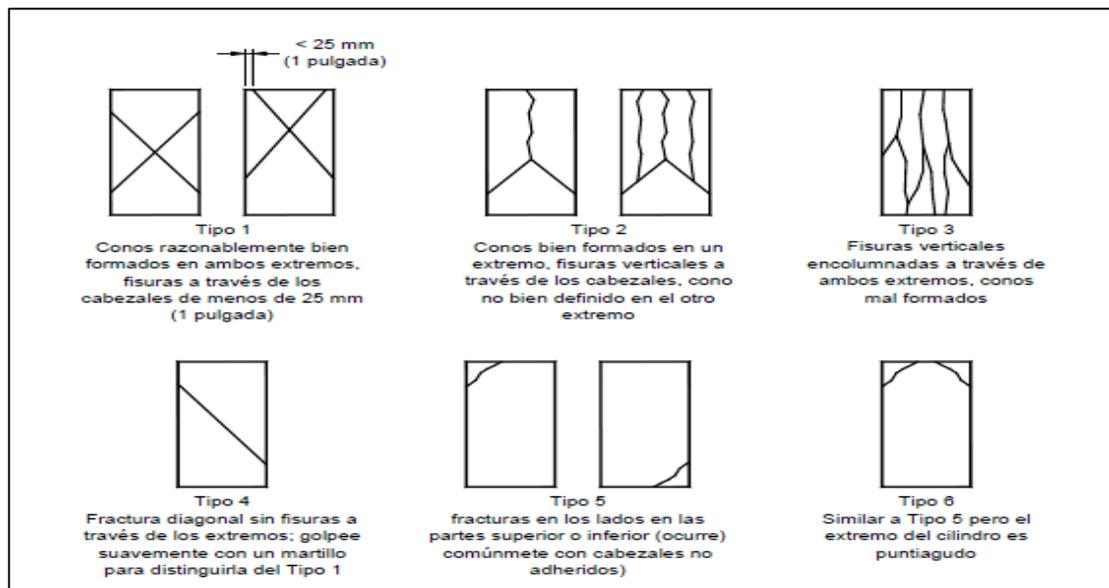
Figura 7. Estado de la muestra con 3% de cemento al final del ensayo



Fuente: los autores

De acuerdo a la Figura 7. La muestra presentó una falla tipo 3 y esta se clasificó como lo indica en la figura 2 de la NTC 673.

Figura 8. Tabla de clasificación de grietas extraída de la NTC 673



Los resultados de laboratorio para probeta con 4% de cemento y humedades controladas, se presentan en las tablas 22 a 24.

Tabla 22. Datos iniciales de la probeta

Sensibilidad de la maquina		
0.0003937		
ø1	70.33	mm
ø2	70.45	mm
ø3	70	mm
ø prom	7.03	cm
A	38.76	cm ²
L1	146.7	mm
L2	146.47	mm
L3	146.8	mm
L prom (cm)	14.67	cm
V	568.58	cm ³

Fuente: los autores

Tabla 23. Resultados de compresión no confinada con 4% de cemento

Def controlada	(Delta L) (cm)	Fuerza (Kg)	E	Ac (cm ²)	Esfuerzo(kg/cm ²)
10,000	0,004	7,990	0,000	38,780	0,206
20,000	0,008	8,700	0,001	38,791	0,224
30,000	0,012	9,720	0,001	38,801	0,251
40,000	0,016	9,770	0,001	38,811	0,252
50,000	0,020	10,010	0,001	38,822	0,258
60,000	0,024	11,060	0,002	38,832	0,285
70,000	0,028	12,270	0,002	38,843	0,316
80,000	0,031	13,810	0,002	38,853	0,355
90,000	0,035	15,350	0,002	38,864	0,395
100,000	0,039	16,190	0,003	38,874	0,416
110,000	0,043	17,750	0,003	38,885	0,456
120,000	0,047	18,970	0,003	38,895	0,488
130,000	0,051	22,840	0,003	38,906	0,587
140,000	0,055	27,210	0,004	38,916	0,699
150,000	0,059	31,440	0,004	38,927	0,808
160,000	0,063	34,470	0,004	38,937	0,885
170,000	0,067	36,800	0,005	38,948	0,945
180,000	0,071	43,970	0,005	38,958	1,129
190,000	0,075	47,970	0,005	38,969	1,231
200,000	0,079	52,240	0,005	38,979	1,340
210,000	0,083	56,510	0,006	38,990	1,449
220,000	0,087	60,950	0,006	39,000	1,563
230,000	0,091	63,340	0,006	39,011	1,624
240,000	0,094	64,790	0,006	39,021	1,660
250,000	0,098	68,160	0,007	39,032	1,746
260,000	0,102	68,350	0,007	39,042	1,751
270,000	0,106	68,360	0,007	39,053	1,750
280,000	0,110	68,460	0,008	39,063	1,753

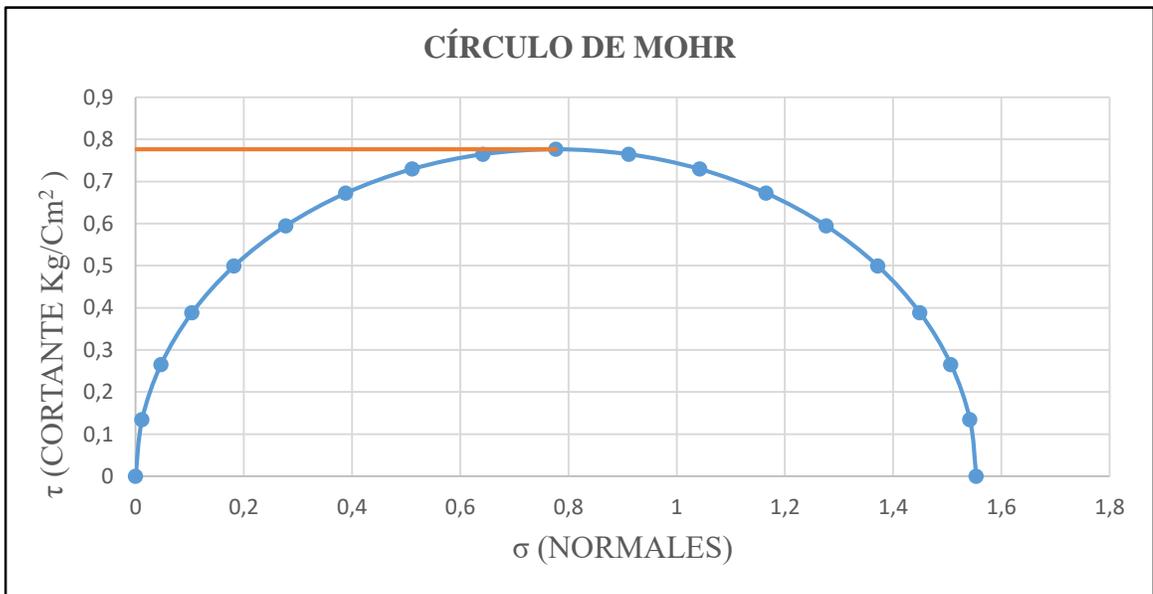
Fuente: los autores

Tabla 24. Resultados resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión	1.753
Cohesión (Kg/cm²)	0.876

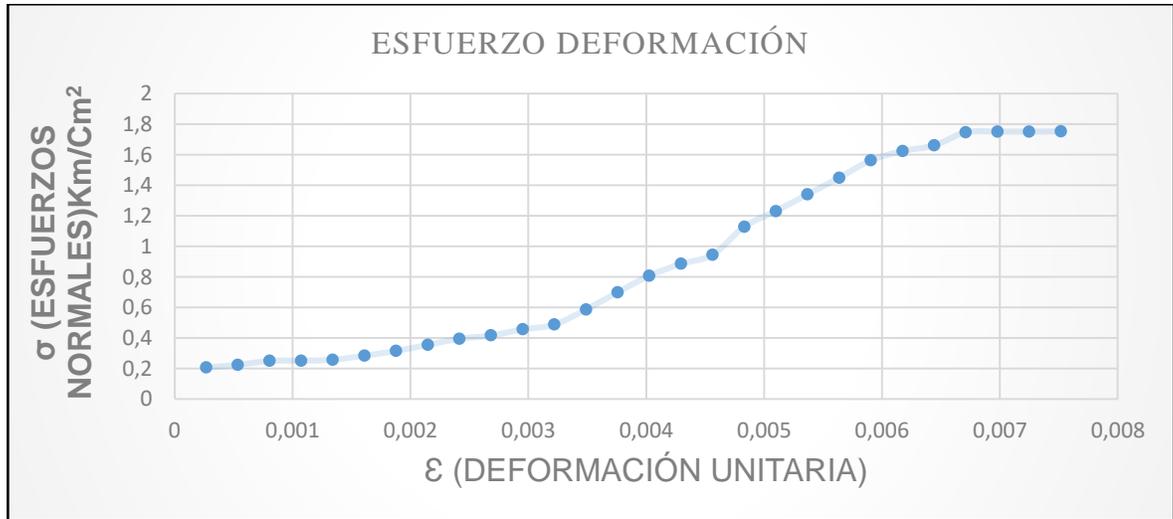
Fuente: los autores

Gráfica 8. Círculo de Mohr para 4% de cemento



Fuente: los autores

Gráfica 9. Esfuerzo deformación para 4%



Fuente: los autores

Figura 9. Estado de la muestra con 4% de cemento al final del ensayo



Fuente: los autores

De acuerdo a la Figura 9 la muestra presentó una falla tipo 5 y esta se clasificó como lo indica en la figura 2 de la NTC 673.

Los resultados de laboratorio para probeta con 5% de cemento y humedades controladas, se presentan en la tabla 25 a la 27.

Tabla 25. Datos iniciales de la probeta

Sensibilidad de la máquina		
0.000393701		
∅1	70.2	mm
∅2	70.1	mm
∅3	70	mm
∅ Prom	7.01	cm
A	38.593	cm ²
L1	146.67	mm
L2	146	mm
L3	146.48	mm
L Prom (cm)	14.638	cm
V	564.943142	cm ³
Peso tara para W%	62.17	g
Peso tara para W% + masa h	103.12	g
Peso tara para W% + masa s	90.38	g
Masa seca para W%	28.21	g
W %	45%	-
Peso tara para densidad húmeda	112.07	g
Peso tara para densidad húmeda + masa	1039.41	g
Masa húmeda para densidad	927.34	g
γd (peso unitario seco)	1.130	gr/cm ³
γh (peso unitario húmedo)	1.641	gr/cm ³

Fuente: los autores

Tabla 26. Resultados de compresión no confinada con 5% de cemento

Def controlada	(Delta L) (cm)	Fuerza (Kg)	E	Ac (cm ²)	Esfuerzo(kg/cm ²)
10,000	0,004	6,580	0,000	38,604	0,170
20,000	0,008	8,690	0,001	38,614	0,225
30,000	0,012	8,710	0,001	38,625	0,226
40,000	0,016	8,760	0,001	38,635	0,227
50,000	0,020	8,770	0,001	38,645	0,227
60,000	0,024	8,790	0,002	38,656	0,227
70,000	0,028	9,030	0,002	38,666	0,234
80,000	0,031	10,820	0,002	38,677	0,280
90,000	0,035	11,870	0,002	38,687	0,307
100,000	0,039	12,950	0,003	38,697	0,335
110,000	0,043	18,340	0,003	38,708	0,474
120,000	0,047	22,230	0,003	38,718	0,574
130,000	0,051	25,400	0,003	38,729	0,656
140,000	0,055	30,260	0,004	38,739	0,781
150,000	0,059	33,390	0,004	38,750	0,862
160,000	0,063	39,670	0,004	38,760	1,023
170,000	0,067	43,180	0,005	38,771	1,114
180,000	0,071	47,960	0,005	38,781	1,237
190,000	0,075	51,690	0,005	38,792	1,333
200,000	0,079	56,530	0,005	38,802	1,457
210,000	0,083	60,690	0,006	38,813	1,564
220,000	0,087	66,720	0,006	38,823	1,719
230,000	0,091	70,370	0,006	38,834	1,812
240,000	0,094	75,560	0,006	38,844	1,945
250,000	0,098	79,500	0,007	38,855	2,046
260,000	0,102	84,090	0,007	38,865	2,164
270,000	0,106	89,010	0,007	38,876	2,290
280,000	0,110	91,370	0,008	38,886	2,350
290,000	0,114	94,160	0,008	38,897	2,421

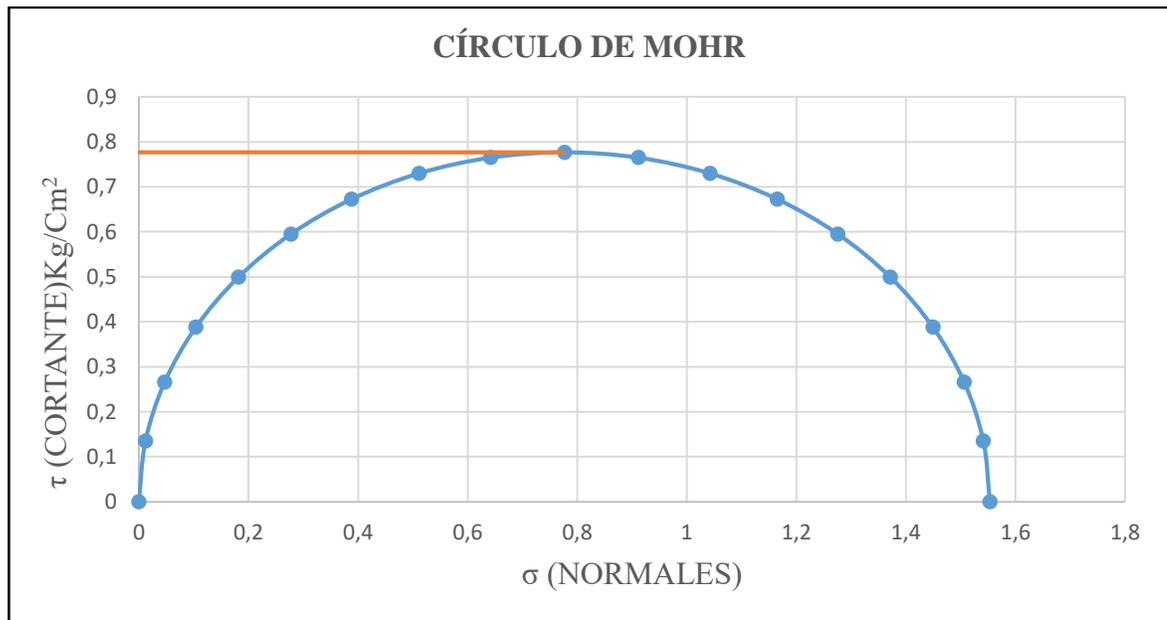
Fuente: los autores

Tabla 27. Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión	2.421
Cohesión (Kg/cm²)	1.210

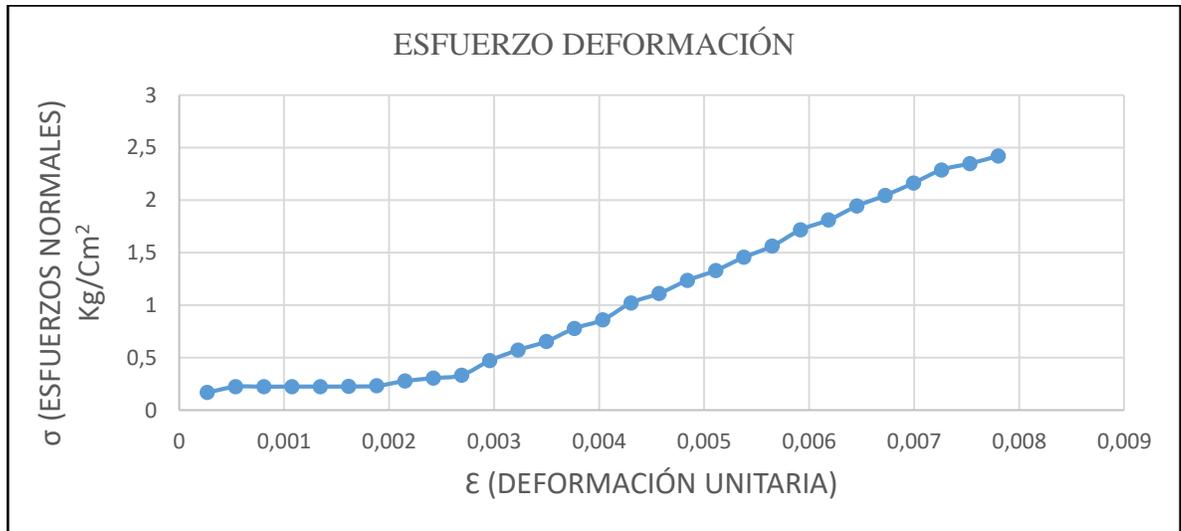
Fuente: los autores

Gráfica 10. Círculo de Mohr para 5% de cemento



Fuente: los autores

Gráfica 11. esfuerzo deformación para 5%



Fuente: los autores

Figura 10. Estado de la muestra con 5% de cemento al final del ensayo



Fuente: los autores

De acuerdo a la Figura 10 la muestra presentó una falla tipo 6 y esta se clasificó como lo indica en la figura 2 de la NTC 673.

En la Tabla 28 se realiza un compendio de los resultados de los ensayos de laboratorio

Tabla 28. Cuadro resumen resultados de laboratorio

Prueba de laboratorio	Unidad	Resultado	Análisis
Limite liquido	% de humedad	62,5	
Limite plástico	% de humedad	42,1	
Índice de plasticidad	% de humedad	20,4	
Lavado tamiz 200	% arena	34,6	
Resultados granulometría	Cu	2,25	pobrementemente gradado
	Cc	0,93	pobrementemente gradado
Ensayo de hidrómetro	% arcilla	14,64	
Gravedad específica	gr/cm ³	2,68	
Proctor modificado	densidad optima (gr/cm ³)	1,31	
	% humedad	29,43	
Compresión confinada 3% no	resistencia a la compresión (kg/cm ²)	1,51	
	cohesión (kg/cm ²)	0,75	
Compresión confinada 4% no	resistencia a la compresión (kg/cm ²)	1,75	
	cohesión (kg/cm ²)	0,7	
Compresión confinada 5% no	resistencia a la compresión (kg/cm ²)	2,42	
	cohesión (kg/cm ²)	1,21	

Fuente: los autores

12.2 PRUEBAS DE RESISTENCIA A LOS BTCS INDIVIDUALES. (NORMAS: RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ABSORCIÓN)

Al tener el BTC seco, se procede a realizar las pruebas de resistencia de absorción de acuerdo con las normas: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla NTC – 4017 y NTC (métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla 4205).

Las pruebas fueron realizadas por el laboratorio geotecnia de ingeniería de la ciudad de Pereira, en la Tabla 29. En ella se observa que los valores obtenidos en los diferentes tratamientos fueron similares.

Tabla 29. Resistencia a la compresión de bloques individuales

Tratamiento	Dosificación	Número de Bloque	Resistencia a la Compresión Mpa	Resistencia a la Compresión Valor Máximo Mpa
1	5% Cemento 0% Arcilla	3	1	
1		4	1,0	
1		5	0,8	
1		6	0,8	
1		Promedio	0,9	1,0
2		5% Cemento 5% Arcilla	3	0,7
2	4		0,5	
2	5		0,8	
2	6		0,6	
2	Promedio		0,7	0,8
3	5%Cemento 10% Cemento		3	0,7
3		4	0,9	
3		5	0,7	
3		6	0,7	
3		Promedio	0,8	0,9
4		5%Cemento 20% Cemento	3	0,7
4	4		0,7	
4	5		0,7	
4	6		0,6	
4	Promedio		0,7	0,7

Fuente: los autores

12.3 PRUEBAS DE RESISTENCIA DE LOS MURETES

De acuerdo con las recomendaciones normas para ladrillo NTC método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Las pruebas fueron realizadas por el laboratorio geotecnia de ingeniería de la ciudad de Pereira. Los resultados se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Resistencia a la compresión de muretes

Tratamiento	Dosificación	Número de Murete	Resistencia a la Compresión Mpa
1	5% Cemento 0% Arcilla	1	0,30
1	5% Cemento 0% Arcilla	2	0,30
2	5% Cemento 5% Arcilla	1	0,30
2	5% Cemento 5% Arcilla	2	0,40
3	5% Cemento 10% Arcilla	1	0,40
3	5% Cemento 10% Arcilla	2	0,30
4	5% Cemento 20% Arcilla	1	0,40
4	5% Cemento 20% Arcilla	2	0,40
Promedio			0,35

13. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se estableció que el suelo extraído en la zona rural en estudio “La Florida”, corresponde a un Limo de alta compresibilidad MH, de acuerdo con el SUCS, con consistencia muy firme cuando está sometido a un proceso de compactación usando el método de Proctor modificado.

Se pudo observar que los suelos finos presentes en la zona de estudio en las capas superficiales susceptibles a ser cortados durante las etapas de descapote y replanteo, suelos objeto de esta investigación presentan altos contenidos de arena (mayores al 30%) y bajos contenidos de arcilla (menores al 15%), esta observación se generó luego de tomar muestras de suelos en diferentes lugares dentro de la zona de estudio.

Se determinó que un porcentaje comprendido entre el 3% y el 5% de cemento aumenta la resistencia a la compresión de probetas del suelo, sin embargo, se pudo evidenciar que el tipo de falla sufrida durante este proceso será de tipo frágil.

La resistencia a la compresión de los bloques individuales se comparó con la norma vigente para bloques de suelo cemento NTC 5324 la cual precisa que la resistencia mínima establecida para BTC debe ser 2 Mpa, en esta investigación se obtuvo una resistencia a la compresión promedio para los bloques del orden de 1MPa, inferior a la establecida en la norma e inferior al valor planteado en la hipótesis de investigación.

El resultado del hidrómetro indicaba que de manera natural la muestra inalterada tiene un 14.64% de arcilla, porcentaje bajo al compararlo con el contenido de arcilla presente en un bloque realizado con suelo arcilloso (más del 50% de arcilla).

Se esperaba que el valor de la cohesión del BTC fuera bajo con el porcentaje de arcilla natural y por el contrario se buscaba el bloque elaborado con mayores porcentajes de arcilla lograra como resultado un aumento en la resistencia a la compresión a continuación, se anexan los resultados correspondientes a los BTC y muretes con 5% cemento y porcentajes de arcilla variantes (0%, 5%,10%,20%).

Según los anexos se puede observar que la mayor resistencia en bloque individual se tiene con la dosificación 5% cemento y 0% arcilla, que tiene como resultado de bloque individual un promedio para cada par de 1 Mpa y 0.8Mpa es decir que el porcentaje de arcilla natural de la muestra genera el comportamiento más óptimo. Sin embargo, si este resultado se compara con la norma vigente NTC 5324 los bloques individuales alcanzan el 50% y 40% de la resistencia mínima especificada, esto indica que el material no debe ser usado para fabricar BTC con ninguna dosificación de este trabajo de investigación.

Se observó que la resistencia del murete fue inferior en un 70% a las resistencias alcanzadas en los bloques individuales, sin importar el tipo de tratamiento que fuera evaluado la resistencia a la compresión sufrió dicha reducción, este hecho se explica por el cambio en la esbeltez entre el bloque y el murete, este comportamiento nos muestra que se genera un error al construir los muretes con bloques divididos en dos.

13.1 COMPARACION CON INVESTIGACIONES NACIONALES.

De acuerdo con el estudio realizado para la revista de facultad de ingeniería UPTC (de Tunja, Boyacá) de julio a diciembre del 2011⁴⁵, en su trabajo titulado bloques de tierra comprimida como material constructivo, estudia los esfuerzos máximos a compresión de los muretes elaborados con bloques de suelo cemento que presentan la siguiente dosificación: mezcla de tierra 82.75%, arena 6.20%, y cemento 11.03%, alcanzando una resistencia de 1.17Mpa, si comparamos este resultado con el de los muretes que alcanzaron mayor resistencia 0.4 Mpa en esta investigación con una dosificación de (5 %de cemento, 34.6%arena, 10% arcilla y un 50.4% de tierra). Se puede apreciar claramente que las diferencias en resistencia son directamente proporcionales al porcentaje de cemento e inversamente proporcionales al porcentaje de arena.

13.2 COMPARACION CON INVESTIGACIONES INTERNACIONALES.

Según el estudio realizado de Juan Carlos Calderón Peña Fiel (de Barcelona) de 05 septiembre de 2013⁴⁶, en su trabajo tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia, estudia los esfuerzos máximos a compresión de los bloques elaborados con la siguiente dosificación: tierra 44.40%, arcilla 48.60%, arena 40% y 75 de cal alcanzó una resistencia de 4.32 Mpa, si se compara este resultado con el obtenido máximo obtenido 1Mpa en esta investigación con una dosificación: 5% cemento, 0% arcilla, 34.6% arena y 60.4% de tierra. Se puede notar con claridad que la arcilla juega un papel importante para determinar la resistencia del bloque individual.

⁴⁵ <http://www.redalyc.org/pdf/4139/413940770005.pdf>

⁴⁶ CALDERÓN PEÑAFIEL, Juan Carlos. *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. 2013. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya.

14. CONCLUSIONES

- Del análisis de resultados podemos concluir que para el material de esta investigación el aumento de arcilla no presenta una estabilización en él, es decir el porcentaje de arcilla natural es el óptimo.
- Analizando la resistencia de los bloques en el laboratorio se pudo observar que la fractura de estos se da de forma inmediata, lo que indica que el bloque seco posee una gran rigidez incluso al momento de cortarse para realizar los muretes se evidencia un desmoronamiento en las esquinas y en las caras de este.
- El resultado de laboratorio lavado del tamiz 200 indica que el contenido natural de arena (30%) del material es muy elevado ya que a pesar de que este le aporte resistencia mecánica disminuye su manejabilidad a la hora de la fabricación de los BTC haciendo que difícilmente se puedan fabricar en serie.
- Según los resultados de laboratorio el BTC posee una resistencia mucho menor que los materiales que son comerciales y que pueden ser producidos en serie haciendo que el costo de fabricación sea menor que los BTC convencionales, ya que la técnica constructiva que se ha llevado a cabo en este proyecto necesita como mínimo un mes de fabricación.

15.RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para alcanzar mayores niveles de resistencia se deberá realizar ensayos de BTC con variaciones en los porcentajes de cemento.
- Se recomienda investigar con materiales que permitan mejorar la ductilidad de los BTC.
- Es recomendable que en materia de investigación no se opte por usar un material que poseen un porcentaje de arena superior al 30%.
- Es recomendable que solo se le mire a los BTC desde el punto de vista ecológico y no económico si la técnica de fabricación es la tradicional.
- Se recomienda realizar las pruebas de los bloques y los muretes con las dimensiones iniciales de los mismos sin realizar su corte, así mismo debe adicionarse al bloque elementos o aditivos que incrementen la cohesión de los mismos evitando el desmoronamiento de las esquinas y aumentando la resistencia a la compresión.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, Eduardo. Sf.. Suelos compactados en la teoría y en la práctica. [En línea] Sf. [Citado el: 25 de junio de 2017.] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573409891/SuelosCompTeoPrat.pdf>.

ARIAS, Lucia, y otros. Diseño y análisis estructural de componentes constructivos con tierra cruda.

ARTEAGA M., Karen y MEDINA , Oscar. 2011. *Bloque de tierra comprimida como material constructivo*. 2011. pág. 14.

BESTRATEN , Sandra y HORMIAS , Emilio. 2012. *Bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de san jose de chiquitos, bolivia*. 2012.

CABALLERO, Magdaleno, SANTOS, Silva y MONTES, José. 2010. Resistencia Mecanica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. [En línea] 2010. [Citado el: 27 de junio de 2017.] http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf.

CALDERÓN PEÑAFIEL, Juan Carlos. Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia. 2013. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya.

CARCEDO , Fernadez. 2012. *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula (Doctoral dissertation, Arquitectura_Tecnica)*. s.l.: Doctoral dissertation, Arquitectura_Tecnica, 2012.

CARHUANBO V., Jhenifer. 2016. Propiedades mecánicas y físicas del abobe compactado con adición de viruta y aserrin, Cajamarca 2016. [En línea] 2016. [Citado el: 10 de julio de 2017.]

positorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7328/CARHUANAMBO%20VILLAN
UEVA%2c%20Jhenifer%20Thajana.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Compressive strength testing of compressed earth blocks. **MOREL, Jean-Claude ,
PKLA, Abalo y WALKER, Peter. 2007.** 2007, Construction and Building Materials,
págs. 303-309.

GATINA, Mariana. 2000. *Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en
base a un material sostenible.* 2000. pág. 13.

GUERRERO, Luis, ROUX, Salvador y SORIA , Francisco. *Calidad de los bloques
de tierra comprimida estabilizados con cal.*

<http://www.redalyc.org/pdf/4139/413940770005.pdf>.

ICONTEC. 2004. NTC 5324 bloques de suelo cemento para muros y divisiones.
definiciones, especificaciones, metodo de ensayo, condiciones de entrega. [En
línea] 2004. [Citado el: 18 de junio de 2017 .] [http://www.libreriadelau.com/ntc-5324-
bloques-de-suelo-cemento-para-muros-y-divisiones-definiciones-especificaciones-
metodos-de-ensayo-condiciones-de-entrega-icontec-null-ingenieria-civil/p](http://www.libreriadelau.com/ntc-5324-bloques-de-suelo-cemento-para-muros-y-divisiones-definiciones-especificaciones-metodos-de-ensayo-condiciones-de-entrega-icontec-null-ingenieria-civil/p).

INGENIERIA CIVIL. 2010. Esfuerzos y Deformaciones Elásticas en los Suelos. [En
línea] 2010. [Citado el: 18 de febrero de 2017.]
[http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/esfuerzos-y-deformaciones-elasticas-
en.html](http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/12/esfuerzos-y-deformaciones-elasticas-en.html).

LBRECHT, Jesica, y otros. *ENSAYOS PARA CONSTRUCCIONES CON TIERRA.*

MORALES , J., ORTIZ , M. y ALVAREZ, R. 2007. *Mejoramiento de las propiedades
mecánicas del adobe compactado. Naturalez y Desarrollo.* 2007.

MORALES, Manuel. 1997. Construcción de viviendas con adobe
(Recomendaciones para su habitabilidad). Guatemala : s.n., 1997.

PONS, Gabriel. 2001. La tierra como material de construcción. [En línea] septiembre
de 2001. [Citado el: 05 de abril de 2017.]
[www.ecosur.org/index.php/...ecosur/manuales?...tierra...material-de-construccion.](http://www.ecosur.org/index.php/...ecosur/manuales?...tierra...material-de-construccion)

REVISTA ARQUIS. 2012. Estabilizacion de suelos. [En línea] 2012. [Citado el: 13 de mayo de 2017.] <http://www.arqhys.com/articulos/suelos-estabilizacion.html>.

Stabilised compressed earth bricks made with coastal solonchak. **HAIYAN, YU, y otros. 2015.** 77, 2015, Construction and Building Materials, págs. 409-418.

ANEXOS

Anexo A. Resultados pruebas de resistencia a los adobes individuales. (normas: resistencia a compresión y absorción)

Tabla 31. Resistencia de bloques 5% cemento ,0% arcilla desde 3 a 6

ESPÉCIMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPEORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
3		14,6	14,8	8,2	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	216	216	20,93	1,0
4		14,5	14,8	8,2	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	215	215	20,94	1,0
5		14,9	14,8	8,2	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	221	221	17,72	0,8
6		14,7	14,8	8,1	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	218	218	18,08	0,8
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												
ENSAYO ELABORADO POR:		AA. CG		GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S. Carrera 10 No. 48 - 176 Mariya TEL. 3363439 - 3136303998 Pereira								

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 32. Resistencia de bloques 5% cemento, 5% arcilla desde 3 a 6

ESPECÍMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
3	14,4	14,7	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	212	212	13,89	0,7
4	14,7	14,9	8,2	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	219	219	11,98	0,5
5	14,5	14,8	8,1	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	215	215	16,96	0,8
6	14,4	14,8	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	213	213	13,41	0,6
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											
ENSAYO ELABORADO POR:		AA. CG		GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S. Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya TEL. 3363439 - 3136360998 Pereira geotecniaingenieria.co							

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 33. Resistencia de bloques 5% cemento, 10% arcilla desde 3 a 6

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESESOR PARED	ESESOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
3	14,8	14,8	8,1	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	219	219	15,34	0,7
4	14,4	14,7	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	212	212	18,25	0,9
5	14,5	14,8	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	215	215	15,34	0,7
6	14,8	14,8	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	219	219	16,21	0,7
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											
ENSAYO ELABORADO POR:		AA. CG		GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S. Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya TEL. 3363439 - 3136303998 Pereira							

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 34. Resistencia de bloques 5% cemento, 20 % arcilla del 3 al 6

ESPECÍMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPEORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
3		14,3	14,8	8,3	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	212	212	14,65	0,7
4		14,5	14,8	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	215	215	14,33	0,7
5		14,8	11,9	8,3	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	176	176	11,50	0,7
6		11,9	14,8	7,9	NA	NA	Bloque de prueba	0,0	176	176	10,22	0,6
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												

ENSAYO ELABORADO POR: AA. CC
 GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S.
 Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya
 TEL. 3363439 - 3136303998
 Pereira
 geotecniaingenieria.co

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Anexo B. Resultados fabricación y pruebas de resistencia de los muretes

Tabla 35. Resistencia de muretes 5% de cemento, 0% de arcilla desde 1 a 2

ESPECÍMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1	14,9	14,7	24,5	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	219	219	6,86	0,3	
2	14,8	14,8	23,7	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	219	219	6,43	0,3	
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												

OBRA: CONTROL DE CALIDAD MURETES
 FECHA DE ENSAYO: JULIO 13 DEL 2017
 FUENTE MATERIAL: 5% CEMENTO 0% ARCILLA
 CLIENTE: CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE
 REVISÓ: ÁDGM

LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
 MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 N.T.C. 4017

CÓDIGO: LB-FT-12
 VERSIÓN: 03
 PÁGINA 1 DE 1

LB-017-586

ENSAYO ELABORADO POR: AA, CG
 GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S.
 Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya
 TEL. 3363439 - 3136303098
 Pereira
 geotecniaingenieria.co

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 36. Resistencia de muretes 5% cemento, 5% arcilla de 1 a 2

ESPECÍMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESESOR PARED	ESESOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1		14,9	14,7	24,6	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	219	219	6,66	0,3
2		14,7	14,7	24,2	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	216	216	8,88	0,4
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												

OBRA: CONTROL DE CALIDAD MURETES LB-017-586
FECHA DE ENSAYO: JULIO 13 DEL 2017
FUENTE MATERIAL: 5% CEMENTO 5% ARCILLA
CLIENTE: CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE
REVISÓ: ÁDGM

LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 N.T.C. 4017

CÓDIGO: LB-FT-12
VERSION: 03
PÁGINA: 1 DE 1

ENSAYO ELABORADO POR: AA, CG
 GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S.
 Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya
 TEL. 3363439 - 3136303998
 Pereira

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 37. Resistencia de muretes 5% cemento, 10% arcilla del a al 2

ESPÉCIMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1	14,5	14,8	8,0	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	215	215	7,60	0,4	
2	14,5	14,6	8,0	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	212	212	7,12	0,3	
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												

OBRA: CONTROL DE CALIDAD MURETES
 FECHA DE ENSAYO: JULIO 13 DEL 2017
 FUENTE MATERIAL: 5% CEMENTO 10% ARCILLA
 CLIENTE: CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE
 REVISÓ: ÁDGM

LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
 MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 N.T.C. 4017

CÓDIGO: LB-FT-12
 VERSIÓN: 03
 PÁGINA 1 DE 1

LB-017-586

ENSAYO ELABORADO POR: AL. CG

GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S.
 Carrera 18 No. 48 - 176 Maraya
 TEL. 3363439 - 3136303998
 Pereira
 geotecniaingenieria.co

Fuente: Geotecnia Ingeniería

Tabla 38. Resistencia de muretes 5% cemento, 20% arcilla 1 a 2

ESPECIMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPESOR PARED	ESPESOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1		14,6	14,8	24,0	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	216	216	9,39	0,4
2		14,7	15,0	24,5	NA	NA	Muretes de prueba	0,0	221	221	9,00	0,4
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN:												

OBRA: CONTROL DE CALIDAD MURETES LB-017-586
FECHA DE ENSAYO: JULIO 13 DEL 2017
FUENTE MATERIAL: 5% CEMENTO 20% ARCILLA
CLIENTE: CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE
REVISÓ: ÁDGM

LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
MÉTODOS PARA MUESTREO Y ENSAYOS DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA Y OTROS PRODUCTOS DE ARCILLA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
 N.T.C. 4017

CÓDIGO: LB-FT-12
VERSIÓN: 03
PÁGINA 1 DE 1

ENSAYO ELABORADO POR: AA. CG
 GEOTECNIA INGENIERÍA S.A.S.
 Carrera 10 No. 48 - 176 Maraya
 TEL. 3363439 - 3136303918
 Pereira

Fuente: Geotecnia Ingeniería