

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MURETES FABRICADOS CON BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA COMPUESTOS POR SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS, CARTÓN Y CAL, COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES**



**Auxiliares de investigación**

**ALEJANDRO LONDOÑO MUÑOZ**

**OSCAR ANDRÉS PARRA ESPITIA**

**LINA MARCELA VALLEJO RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**PEREIRA, RISARALDA**

**2015**

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE MURETES FABRICADOS CON  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA COMPUESTOS POR SUELOS  
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS, CARTÓN Y CAL, COMO  
ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES**

**Auxiliares de investigación**

**ALEJANDRO LONDOÑO MUÑOZ**

**OSCAR ANDRÉS PARRA ESPITIA**

**LINA MARCELA VALLEJO RAMÍREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros Civiles**

**Investigadora principal**

**INGENIERA GLORIA MILENA MOLINA VINASCO**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**PEREIRA, RISARALDA**

**2015**

## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

---

**Jurado 3**

## DEDICATORIA

*A Dios, por permitirme llegar hasta este momento de mi carrera, acompañándome y levantándome en cada tropiezo que se me presentaba, dándome la fortaleza necesaria para continuar y salir adelante; y sobre todo por ser el ejemplo más grande de amor, para ser mejor persona y formarme como profesional.*

*A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificios, porque siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y dándome sus consejos, por el amor y la comprensión que me brindaron a pesar de todas mis falencias y la confianza que me tuvieron, la cual me impulsó a lograr este gran objetivo con el fin de ser un orgullo para ellos.*

*A mi hermana y demás familia, por el apoyo y el ánimo que me brindaban a diario durante todo el transcurso de mi vida universitaria.*

*Lina*

*Porque nunca hubiese sido posible alcanzar la cúspide de este sueño con mis propias fuerzas, dedico este logro a mi Padre Dios por sostenerme en sus brazos, por amarme y cumplir sus promesas cada día de mi vida.*

*A mi mamá, a mi papá, por creer que siempre es posible lograr lo que se anhela, enseñándome por medio de su amor y paciencia el verdadero significado de la perseverancia y la dicha de soñar.*

*A mi hermana, por ser desde el primer día que emprendí este camino, mi ejemplo en cada aspecto y escenario de la vida, mi apoyo y fuente de inspiración.*

*A mis compañeros y amigos, por enseñarme de tolerancia, por su dedicación y confianza.*

*Alejandro*

*A mi hermana Luisa María Parra, por la postergación de sus metas para alcanzar las mías.*

*Oscar*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a la Ingeniera Gloria Milena Molina Vinasco, nuestra directora del proyecto de investigación, por ser quien nos brindara su apoyo constante durante todo el tiempo en el cual se llevó a cabo este proceso y por ser quien nos guiara permanentemente en cada una de las etapas, haciendo posible por medio de su interés y conocimiento que pudiésemos culminar este proceso en búsqueda de finalizar exitosamente nuestra formación como ingenieros.

En segunda instancia, a Mario Alejandro Evia Escalante, laboratorista del programa de ingeniería civil, quien en todo momento nos brindó su respaldo y asesoría en cada uno de los procesos llevados a cabo.

También agradecemos especialmente a algunos docentes del programa, quiénes nos brindaron su ayuda compartiendo su conocimiento por medio de aportes útiles e importantes guías en las diferentes etapas de la investigación, como son: María Ruby Restrepo, Adán Silvestre, Julián Gutiérrez y Natalia Mejía.

Finalmente, agradecemos a nuestra Institución por abrirnos sus puertas y hacernos sentir orgullosos de ser Unilibristas.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
OBJETIVOS .....	16
Objetivo general .....	16
Objetivos específicos .....	16
JUSTIFICACIÓN .....	17
HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	18
DELIMITACIÓN DEL PROYECTO .....	19
IMPACTO AMBIENTAL .....	20
CAPÍTULO 1. MARCOS REFERENCIALES .....	21
1.1 MARCO DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	22
1.1.1 Investigaciones relacionadas .....	24
1.2 MARCO TEÓRICO .....	32
1.2.1 Resistencia de materiales. Esfuerzos de sollicitación axial .....	35
1.2.2 Suelos derivados de cenizas volcánicas .....	38
1.2.3 Actualidad de los trabajos con tierra en bloques de tierra comprimida y características de estabilizantes adicionales .....	43
1.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO .....	47
1.3.1 Normas correspondientes a los ensayos de laboratorio .....	48
1.3.2 Normas correspondientes a la fabricación y a los ensayos realizados a los bloques de tierra comprimida, morteros y muretes .....	52
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA Y FASES DEL PROYECTO .....	55
2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	56
2.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	57
2.2.1 Primera fase: Localización del lugar y extracción inicial del material (suelo inalterado) .....	57
2.2.2 Segunda fase: Ensayos de laboratorio para caracterización de las muestras de suelo .....	59

2.2.3 Tercera fase: Elaboración de cuarenta y cuatro (44) bloques de tierra comprimida.....	65
2.2.4 Cuarta fase: Realización de prueba de absorción a los BTC. ....	67
2.2.5 Quinta fase: Pruebas de resistencia a la compresión de los bloques individuales.....	69
2.2.6 Sexta fase: Elaboración de posibles pegas a utilizar como morteros (alternativas) y ensayos de resistencia a la compresión de los BTC incluyendo el mortero. ....	69
2.2.7 Séptima fase: Elaboración de muretes y pruebas de resistencia a la compresión de los mismos.....	72
CAPÍTULO 3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS .....	74
3.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.....	75
3.1.1 Ensayo de Límites de Atterberg .....	75
3.1.2 Ensayo de Gravedad Específica .....	76
3.1.3 Análisis granulométrico de suelos por tamizado .....	77
3.1.4 Ensayo de Hidrómetro.....	77
3.1.5 Ensayo de Proctor Modificado.....	78
3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BTC Y MURETES .....	79
3.2.1 Ensayos de absorción .....	79
3.2.2 Pruebas de resistencia a la compresión de los bloques individuales .....	82
3.2.3 Pruebas de resistencia a la compresión de los BTC incluyendo el mortero	83
3.2.4 Pruebas de resistencia a la compresión de los muretes .....	85
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN COMPARACIÓN CON INVESTIGACIONES RELACIONADAS.....	88
3.4 COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN BTC .....	99
3.5 COSTOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN MURETE.....	101
3.6 COSTOS DE FABRICACIÓN DE MORTEROS.....	102
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	103
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA .....	107

5.1 BIBLIOGRAFÍA.....108  
CAPÍTULO 6. ANEXOS .....112



## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 01. Diagrama de fluencia .....	36
Imagen 02. Compresión típica de un material .....	37
Imagen 03. Distribución espacial de los volcanes y de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia .....	39
Imagen 04. Clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia en la carta de plasticidad. (Datos resumidos para Pereira obtenidos por Uniandes, 2001).....	40
Imagen 05. Relación de vacíos vs. Esfuerzo vertical efectivo. ....	41
Imagen 06. Ciclo de la cal.....	45
Imagen 07. Localización del lugar.....	57
Imagen 08. Vista microscópica de material inalterado.....	58
Imagen 09. Ejecución del ensayo de gravedad específica .....	60
Imagen 10. Lavado por tamizado.....	61
Imagen 11. Ensayo de granulometría .....	62
Imagen 12. Ensayo del hidrómetro .....	63
Imagen 13. Ensayo Proctor Modificado .....	64
Imagen 14. Ensayo de Proctor Modificado con cartón y cal. ....	65
Imagen 15. Preparación de materiales para la elaboración de los BTC .....	66
Imagen 16. Fabricación de bloques de tierra comprimida .....	67
Imagen 17. Ensayo a la compresión a bloques individuales.....	69
Imagen 18. Elaboración de morteros.....	70
Imagen 19. Sentido del mortero.....	71
Imagen 20. Ensayo de compresión y adherencia de los bloques y el mortero .....	71
Imagen 21. Dimensiones de los muretes.....	72
Imagen 22. Elaboración de muretes y ensayo de resistencia a la compresión.....	73
Imagen 23. Ensayo de absorción. Prueba 1 .....	79
Imagen 24. Ensayo de absorción. Prueba 2 .....	80
Imagen 25. Ensayo de absorción. Prueba 3 .....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 01. Listado de ensayos y norma respectiva .....	59
Tabla 02. Resumen ensayo de caracterización .....	76
Tabla 03. Resultados de ensayos individuales a compresión.....	83
Tabla 04. Resistencia a la compresión (prueba de las pegas) .....	84
Tabla 05. Ensayos de resistencia a compresión de los muretes .....	86
Tabla 06. Comparación de resultados con investigación relacionada (1) .....	88
Tabla 07. Comparación de resultados con investigación relacionada (2) .....	89
Tabla 08. Comparación de resultados con investigación relacionada (3) .....	90
Tabla 09. Comparación de resultados con investigación relacionada (4) .....	91
Tabla 10. Comparación de resultados con investigación relacionada (5) .....	92
Tabla 11. Comparación de resultados con investigación relacionada (6) .....	93
Tabla 12. Comparación de resultados con investigación relacionada (7) .....	93
Tabla 13. Comparación de resultados con investigación relacionada (8) .....	94
Tabla 14. Comparación de resultados con investigación relacionada (9) .....	95
Tabla 15. Comparación de resultados con investigación relacionada (10) .....	96
Tabla 16. Resultados obtenidos vs características de ladrillo farol.....	97
Tabla 17. Comparación de resultados con Norma Técnica Colombiana 5324 .....	97
Tabla 18. Comparación de resultados con Norma Técnica Colombiana 4205 .....	98
Tabla 19. Costos para la elaboración de un BTC .....	99
Tabla 20. Costos para adecuación de lugar de secado para los BTC .....	100
Tabla 21. Costos para la fabricación de un murete.....	101
Tabla 22. Costos de fabricación mortero simple .....	102
Tabla 23. Costos de fabricación mortero simple + suelo .....	102
Tabla 24. Determinación del límite líquido .....	113
Tabla 25. Determinación del límite plástico .....	114
Tabla 26. Índice de Plasticidad y Clasificación del Suelo .....	114
Tabla 27. Datos ensayo N° 1, Gravedad Específica.....	115

Tabla 28. Datos ensayo N° 2, Gravedad Específica .....	116
Tabla 29. Datos ensayo N° 3, Gravedad Específica .....	116
Tabla 30. Resultado del ensayo de lavado por tamizado .....	117
Tabla 31. Resultado ensayo de granulometría luego de lavado por tamizado ....	118
Tabla 32. Datos generales ensayo del hidrómetro.....	119
Tabla 33. Resultados ensayo del hidrómetro.....	120
Tabla 34. Generalidades ensayo del hidrómetro .....	120
Tabla 35. Datos del ensayo de Proctor Modificado.....	121
Tabla 36. Datos del ensayo de Proctor Modificado (con cartón y cal) .....	122

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Resultado ensayo del hidrómetro .....	78
Gráfico 02. Relación densidad de muestra y humedad (Proctor Modificado) .....	78
Gráfico 03. Resistencia según tipo de mortero (Comparación) .....	84
Gráfico 04. Relación Peso- Resistencia (Ensayo a muretes) .....	87
Gráfico 05. Relación Densidad - Resistencia (Ensayo a muretes).....	87
Gráfico 06. Comportamiento límite líquido.....	113
Gráfico 07. Gráfica de plasticidad del USCS .....	115
Gráfico 08. Relación de porcentaje de suelo pasante según el tamiz (lavado por tamizado) .....	117
Gráfico 09. Relación de porcentaje de suelo pasante según el tamiz (granulometría) .....	118
Gráfico 10. Comportamiento Proctor Modificado con Cartón y Cal.....	123

## GLOSARIO

**ARENA:** Material constituido por pequeños granos de mineral desprendidos de las rocas y acumulados en playas, márgenes de río o formando capas sobre un terreno.

**BTC:** Bloque de tierra comprimida. Se considera un sustituto del ladrillo corriente en actividades de construcción; se emplea en la construcción de muros apilándolo manualmente y utilizando una mezcla de los mismos materiales como pega.

**CAL:** Es una sustancia blanca, ligera, cáustica y alcalina que se obtiene calcinando caliza y otros materiales que contienen carbonato cálcico; se emplea para fabricar cementos y para neutralizar terrenos áridos.

**CARTÓN:** Es un material formado por varias capas de papel superpuestas a base de fibra virgen.

**CEMENTO:** Material de construcción en polvo, formado por sustancias calcáreas y arcillosas, que forma una masa sólida y dura al mezclarse con agua.

**CINVA RAM:** La máquina consiste en un molde metálico dentro del cual la mezcla de suelo es compactada mediante un pistón accionado por un mecanismo de palanca, dicha compresión es suficiente para moldear un ladrillo.

**COMPRESIÓN:** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento, fallando debido al fracturamiento de un material.

**HIDRÓMETRO:** El hidrómetro es utilizado para la determinación de la densidad relativa de un material combinado con alguna solución ideal para la dispersión de partículas; éste se deja flotar libremente en la muestra, la lectura es tomada directamente en la escala. Los hidrómetros requieren un termómetro adicional para tomar la lectura.

**PROCTOR MODIFICADO:** Es una prueba de laboratorio que sirve para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se está llevando a cabo una búsqueda constante de mejorar los procesos constructivos y los medios para efectuarlos, sin dejar de lado los conocimientos o experiencias que se han adquirido a lo largo de los años; por ello la incursión del bloque de tierra comprimida como material de construcción ha permitido la visualización de nuevos horizontes respecto al continuo avance que se busca en las actividades descritas.

Este documento es un compendio de las actividades que se deben realizar para la determinación de las características físicas y mecánicas de BTC tradicionales, en búsqueda de la posterior elaboración de muretes que permitan tener una guía para incursionar con nuevas técnicas en el campo constructivo.

“Aparte de sus ventajas altamente conocidas, como su baja conductividad térmica”<sup>1</sup> que vuelve las construcciones de BTC tan acogedoras, se tienen otras igualmente prácticas, como el hecho de que la materia prima está siempre presente en el lugar de construcción, con el ahorro consiguiente en su transporte, ventaja apreciable dado al alto volumen de material necesario para construir las. Aun cuando modernamente se puede usar maquinaria para fabricar BTC, estos bloques tradicionales se siguen caracterizando por su elaboración implementando técnicas que hoy en día podrían considerarse rústicas pero no obsoletas.

Por las situaciones mencionadas es que se pretende enseñar a quien interese, que aun cuando la automatización de todos los procesos de fabricación de elementos utilizados en construcción es una tendencia, siempre es necesario conservar técnicas que no revistan complejidad, esto considerando que infortunadamente el desarrollo de nuevas tecnologías no se da al mismo tiempo que el propio desarrollo de las sociedades.

---

<sup>1</sup>PONS, Gabriel. La Tierra Como Material de Construcción. San Salvador, 2001.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al conocer los factores que se presentan actualmente en la sociedad que conllevan a que exista cada vez mayor demanda en cuanto a la adquisición de vivienda propia sin tener en cuenta de forma general la posición socio económica de las personas, mientras se conoce simultáneamente que para dicha demanda son altas las posibilidades de que en un futuro se tengan necesidades insatisfechas y conociendo además los escasos recursos de las personas pertenecientes a estratos bajos dentro de la misma sociedad, se plantean las características fundamentales de la intención que se tiene de obtener de manera efectiva una verdadera solución para la realidad descrita.<sup>2</sup>

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, 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 BTC tradicionales sean considerados una alternativa efectiva y segura para llevar a cabo procesos constructivos en diversas obras civiles, se requiere tener la certeza de que estos pueden significar una vivienda simple pero segura para 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.

---

<sup>2</sup>ARANGO, Gilberto. Vivienda de Interés social. Colombia, 2001.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar la resistencia de muretes fabricados con bloques de tierra comprimida compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, cartón y cal, como alternativa de construcción de muros no estructurales.

### **Objetivos específicos**

- Determinación de las proporciones óptimas de acuerdo con las características físicas y mecánicas de un suelo inalterado por medio de muestras extraídas en campo.
- Determinar la resistencia de los BTC individuales comparándolos con los estándares mundiales para este tipo de unidades.
- Determinar el tipo de pega (mortero) que ofrezca mayor resistencia para la cohesión entre los BTC.
- Revisar el comportamiento de un murete elaborado con BTC tradicionales.



## JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran importancia que tiene la ejecución de obras civiles y proyectos en una sociedad, y por otra parte las bajas posibilidades que tienen las personas de pocos recursos de ser parte activa de los mismos, se orienta esta investigación a encontrar una solución a este problema.

Teniendo conocimiento de que los bloques de tierra comprimida son unidades de mampostería bastante económicas, y de fácil accesibilidad, ya que la materia prima está casi siempre presente en el lugar de la construcción, ahorrando por consiguiente el transporte del mismo, y considerando que su técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energía, lo cual es una ventaja altamente importante en comparación con el ladrillo común, se desea hacer un estudio más detallado e investigar en gran magnitud, que mejorías en cuanto a los materiales que lo conforman, y las pegas que se utilizan, se pueden llevar a cabo para que éste pueda adquirir mayor resistencia, y de esta manera continuar las construcciones en BTC, pues con el paso del tiempo es una técnica que se ha venido perdiendo, y por los motivos mencionados anteriormente, sería bastante eficiente que se pudiera recuperar.

Aparte de las ventajas mencionadas en cuanto a su elaboración, el BTC también 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 también que luego de estar construida una vivienda en BTC, se cuenta con fácil manejo para modificaciones en futuras reformas, pues es bastante versátil para las instalaciones de tuberías y redes eléctricas, y debido al espesor de los muros, se cuenta con buen aislamiento acústico, lo cual ayuda mucho a la comodidad y a la tranquilidad del hogar.

## **HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

En búsqueda de llegar a determinar la resistencia de muretes fabricados con bloques de tierra comprimida compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, cartón y cal como alternativa de construcción de muros no estructurales, se plantea un proceso metodológico mediante el cual se pretende no solo cumplir con el objetivo mencionado, sino también llevar a cabo procedimientos que de manera significativa permitan la obtención de resultados no solo coherentes sino ideales según la principal finalidad de este proceso investigativo; para ello, se ha planteado una alternativa que contempla el uso de materiales no convencionales en diversos procesos exploratorios encaminados a la materialización de una técnica constructiva que aunque de muchas maneras se ha implementado a lo largo de la historia, permanentemente permite que exista innovación y mejoramiento en lo que a esta respecta.

El uso de materiales de fácil adquisición como lo son, la cal y el cartón, se ha considerado como la alternativa ideal para la elaboración de BTC tradicionales por sus propiedades físicas y mecánicas, esto quiere decir, de manera simplificada, que lo que se espera realmente es que el uso de estos materiales junto con el suelo derivado de cenizas volcánicas permita obtener una mezcla apta para la posterior elaboración de bloques con los que se construirán muretes como prototipo guía para llevar a cabo una observación profunda del posible comportamiento de muros no estructurales que podrían llegar a conformar una edificación de baja altura.

Es importante resaltar que al llevar a cabo cada proceso y/o actividad en búsqueda del cumplimiento del objetivo planteado, será inevitable que diversas variables o situaciones de diferente índole obliguen a adoptar nuevas medidas para que la idea concebida inicialmente pueda efectuarse y materializarse de la mejor manera; sin embargo, es igualmente importante destacar que dichos imprevistos permitirán llegar a plantear conclusiones claras tanto del posible éxito de la investigación considerando lo planteado inicialmente, como de las falencias presentes, esto en búsqueda de la continuación y mejoramiento del proyecto por parte de futuros investigadores.

## DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

Es imprescindible destacar que en un proceso investigativo dentro del cual se hallan diferentes variables, todas encaminadas al cumplimiento de un objetivo planteado con anticipación, se pueden presentar diversos obstáculos que dificulten en cierta medida cumplir a cabalidad con lo planteado. En el proceso de elaboración de muretes fabricados con bloques de tierra comprimida de tipo artesanal, y la determinación de su resistencia como actividad final, se tienen diferentes limitaciones, como:

Limitaciones de tiempo, pues para llevar a cabo la gran mayoría de actividades inmersas en el proceso de investigación se requiere mantener el material en uso expuesto al sol durante determinado tiempo; sin embargo, por razones lógicas en muchas oportunidades los factores climáticos no permiten llevar a cabo la actividad programada por lo cual el aplazamiento de la misma sería obligatorio.

Limitaciones por normatividad, ya que no es sencillo acceder a una documentación legal propiamente relacionada a la actividad principal de la investigación (elaboración de BTC tradicionales y muretes con los mismos), es necesario buscar un compendio de normas que permitan tener una guía legal para el desarrollo del proceso investigativo, por ejemplo, normas referentes a la construcción de edificaciones de poca altura dentro de las cuales se encuentre información sobre las técnicas de construcción que involucren actividades y elementos como los del proyecto en cuestión.

## IMPACTO AMBIENTAL

El permanente impacto negativo que se genera sobre el medio ambiente a partir de las diversas actividades diarias del hombre, es una realidad de la cual seguramente se conoce mucho más que en épocas anteriores, pero que probablemente no recibe la atención que se requiere para encontrar una manera de contrarrestarlo en cierta medida; los procesos y/o actividades de la industria de la construcción no son ajenas a dicha realidad, aun considerándose por muchos, como uno de los principales focos de contaminación en el mundo.

Se conoce perfectamente que por ejemplo en el caso de la fabricación de ladrillo de arcilla cocido, se produce la degradación irreversible de los suelos utilizados como materia prima; la quema de leña en grandes cantidades, con el consiguiente consumo de oxígeno, aporte a la atmósfera de dióxido y monóxido de carbono, más las emanaciones de gases, resultantes de la cocción de tierras<sup>3</sup>, son el principal factor que conlleva a considerar prácticas que presenten un impacto significativamente menor en cuanto a la fabricación y/o elaboración de elementos aplicables en la construcción.

Es posible entonces aseverar que durante la fabricación de bloques de tierra comprimida tradicionales compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas y aditivos como el cartón y la cal, no se genera ningún tipo de riesgo biológico al entorno, ni un proceso contaminante para el ambiente. Se hace esta aclaración ya que es fundamental asegurar que detrás de una idea sobre la cual no se ha tenido mucho conocimiento ni desarrollo, existe un importante nivel de conciencia ambiental; lo anterior se afirma ya que el suelo utilizado como materia prima para la fabricación de los BTC se obtiene de lugares donde no se ve afectado ningún tipo de ecosistema, y éste se extrae por medio de procesos básicos y de forma inalterada.

---

<sup>3</sup> MORALES, Manuel de Jesús. Construcción de viviendas con adobe (Recomendaciones para su habitabilidad). Guatemala, 1997.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCOS REFERENCIALES**

## 1.1 MARCO DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Como lo plantea el Ingeniero Antonio Torres, un bloque de tierra comprimida, especialmente de tipo artesanal, ha sido empleado durante miles de años para la construcción de espacios habitacionales alrededor del mundo.

Es importante resaltar que en el presente año (2015), “un porcentaje importante de las viviendas de poca altura en distintas partes del mundo están construidas con este material; así lo indica el Ingeniero Torres. A su vez expone que la correcta utilización de los bloques de tierra comprimida representa sin duda alguna una alternativa importante y bien encaminada para resolver la problemática de falta de viviendas, esto considerando una propuesta de llevar a cabo una construcción eficiente, eficaz y de bajo costo. No obstante, es de gran importancia resaltar que existe un obstáculo para desarrollar dicha alternativa, explica Torres, pues esta se basa en que gran parte de las técnicas constructivas tradicionales que emplean material o suelo inalterado son el resultado de aprendizaje empírico. Lo planteado conlleva entonces a que aún sea difícil que esta opción ofrezca al mundo bases tecnológicas válidas.”<sup>4</sup>

Para comprender la importancia que tiene la fabricación de bloques de tierra comprimida y la utilización de éstos en nuevas técnicas constructivas, es importante destacar cómo ha sido el desarrollo de dicho tema a lo largo de la historia.

Como relata el Ingeniero Víctor Zelaya, “la civilización Caldea es un claro ejemplo de la gran aplicación de los bloques de tierra comprimida, el cual se evidencia en importantes monumentos fabricados con los mismos; estos permitieron “levantar” los muros de Babilonia, los cuales se caracterizaron por tener aproximadamente 95 metros de alto. Los bloques de tierra comprimida se emplearon también en la construcción de viviendas y otros tipos de edificaciones; las dimensiones que se tenían generalmente en los bloques eran: 0.50 x 0.40 x 0.12 m.”<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> TORRES RAMÍREZ, Antonio. Comportamiento Sísmico del adobe confinado. Variable: Refuerzo Horizontal. Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2012.

<sup>5</sup> ZELAYA JARA, Víctor Antonio. Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres. Universidad Nacional Federico Villarreal Escuela Universitaria de post-grado maestría en gerencia de la construcción moderna, 2007.

“Las dimensiones con las que contaban los bloques llevaban a que en las paredes de las edificaciones importantes se alcanzaran hasta tres metros; en algunos casos, en los exteriores de ciertas construcciones cuyas paredes estaban conformadas por tierra, se permitió aplicar una protección contra la humedad mediante revestimientos conformados casi en su totalidad por arcilla cocida.”

Otro ejemplo importante, como expone Zelaya de la utilización de la tierra a gran escala, es La Gran Muralla China; en el antiguo valle de lo que era antes Mesopotamia, se adoptó como material de construcción el bloque de tierra comprimida, pues no se contaba con gran número de piedras naturales.

Continuando con la recopilación de las más importantes aplicaciones del bloque de tierra comprimida como elemento constructivo, es importante destacar como lo indica Zelaya que “en Persia un método comúnmente empleado como lo es el “apisonado”, se empleó principalmente para los bloques de tierra comprimida; generalmente estos eran de sección cuadrada de 35 cm de lado, cuyo espesor era de aproximadamente 15 cm. Los bloques después de estar bien conformados, se secaban al sol y cuando se consideraba necesario, se cubría alguna de sus caras para evitar daños en este.”

Para contextualizar lo que a la introducción de la utilización de bloques de tierra comprimida concierne, es destacable mencionar que los métodos de construcción con tierra, fueron introducidos por la comunidad Romana en casi todo el territorio europeo, fue así como posteriormente en Normandía se adoptaron técnicas de construcción con tierra apisonada, donde se dio origen al término “pisé” para el método mencionado. Durante los siglos XVIII y XIX, la construcción con el método “pisé” se usó extensamente para la fabricación de varios edificios en Francia.

Para finalizar, el recorrido referente al desarrollo de las técnicas constructivas implementando bloques de tierra comprimida, no está de más mencionar que en Rusia la utilización de la tierra en la construcción se empleó extensamente; esto después de que alrededor de 1715, un incendio de gran magnitud destruyera la ciudad de Moscú; dicha implementación se dio además por la prohibición del uso de madera como material para conformar los elementos estructurales principales en las edificaciones.<sup>3</sup>

### 1.1.1 Investigaciones relacionadas

- **De La Peña 1995<sup>6</sup>. Lleva acabo 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 (México).**

Presenta el autor las principales ventajas de llevar acabo procesos de elaboración de bloques de tierra comprimida que permitan principalmente que se presente un ahorro considerable en energía respecto a los procesos de fabricación de elementos similares en las grandes industrias, justificando que la “arquitectura del bloque de tierra comprimida” permitiría que las personas puedan asegurar una vivienda para su futuro mientras los niveles de contaminación se reducen considerablemente.

- **Morales 1997<sup>3</sup>. Elabora un completo análisis de las situaciones que deben considerarse durante las etapas de construcción de viviendas con bloques de tierra comprimida y principalmente sobre las recomendaciones de habitabilidad en las mismas.**

Teniendo como principal fundamento teórico, las características de los bloques de tierra comprimida, 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 manipulación de los bloques de tierra comprimida de manera que llene con entera satisfacción los aspectos de bienestar y seguridad.

- **Rodríguez 2002<sup>7</sup>. Lleva 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; expone además de qué manera

---

<sup>6</sup>DE LA PEÑA ESTRADA, Diego. Adobe, características y sus principales usos en la construcción. México D.F, 1997

<sup>7</sup> RODRÍGUEZ, Héctor Hugo. Aplicación de la piedra toba y adobes de suelo cemento a la mampostería en la construcción, Mendoza. Argentina, 2002.



los bloques elaborados principalmente con la relación entre la toba 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 alta.

- **Laguna 2011<sup>8</sup>. Propone la elaboración de un nuevo material constructivo inspirado en el bloque de tierra comprimida tradicional y que pueda sustituir al ladrillo convencional cocido.**

Expone la autora la idea de fabricar un “ecoladrillo” 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 cáscaras de arroz como aditivo resistente, suponiendo con éste último la reducción de un gran impacto medio ambiental.

- **Morales Domínguez, Ortiz Guzmán, Alavéz Ramírez 2007<sup>9</sup>. Llevan a cabo un estudio para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del BTC.**

Teniendo los autores conocimiento de que un bloque de tierra comprimida presenta mejores características mecánicas que un adobe artesanal, exponen una investigación en la cual se llevan a cabo varios estudios y experimentaciones para mejorar la calidad del bloque anteriormente nombrado; en dicha investigación, se elaboraron series de bloques de tierra comprimida, estabilizados con ocho porcentajes de cemento que variaron entre el 2 % y el 16 % en peso.

- **Saldivar, Bustos, Albarracín, Pereyra 2004<sup>10</sup>. Desarrollan nuevas alternativas con el objeto de determinar las características sismo resistentes del sistema estructural cuya mampostería está compuesta por bloques de suelo cemento.**

Con el objeto de demostrar que es posible desarrollar alternativas tecno-espaciales de carácter espontáneo, que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de habitabilidad de las viviendas maximizando los recursos materiales, humanos y económicos disponibles, en procesos participativos facilitadores de la re inclusión social, los autores llevan a cabo verificaciones

---

<sup>8</sup>LAGUNA, Cabo María. Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. España, 2011.

<sup>9</sup>MORALES DOMÍNGUEZ, Valentín Juventino; ORTIZ GUZMÁN, Margarito; ALAVÉZ RAMÍREZ, Rafael. Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. México, 2007.

<sup>10</sup>SALDIVAR, Mary; BUSTOS, José Luis; ALBARRACÍN, Osvaldo; PEREYRA, Arturo. Ensayo bajo cargas horizontales de muro construido con mampuestos de suelo cemento. Argentina, 2004.

experimentales de una tipología estructural basada en mampostería de suelo cemento con vigas de encadenado inferior y superior y contrafuertes laterales, sin columnas de encadenado.

- **Rodríguez 2007<sup>11</sup>. Propone un cambio de paradigma, donde los avances científicos y tecnológicos se han olvidado de mirar la naturaleza, los hombres y la vida como si fueran una sola cosa; por ello, se hace necesario, una nueva conciencia donde predomine una visión integrada y sistémica.**

Expone el autor la idea de incursionar el uso de la tierra como elemento constructivo en Brasil, teniendo en cuenta que la utilización de esas técnicas ha predominado desde las primeras ocupaciones en el periodo colonial hasta el final del siglo XIX; pero se puede decir que en algunas regiones, sobre todo en las ubicadas cerca del litoral, la piedra fue muy empleada como cimentación y también como pared. A pesar del prejuicio existente, las técnicas en tierra todavía son muy utilizadas: según la ONU, la quinta parte de la población mundial habita en viviendas hechas en estas técnicas.

- **Mattone 2007<sup>12</sup>. Propone desarrollar el conocimiento del material de base (tierra cruda) y proporcionar modos de optimizar la producción y la colocación de bloques de tierra estabilizada y comprimida, prestando particular atención a trabajos realizados en países en vías de desarrollo.**

El interés cada vez mayor en las edificaciones de tierra cruda en los últimos años deriva de la toma de conciencia acerca de los problemas ecológicos que se están presentando; es por ello, que el autor propone las posibilidades de construir con este material de facilidad de reciclado y limitado coste energético, que con técnicas de elaboración muy diferentes entre sí, está presente en los modos tradicionales de construcción de todo el mundo.

---

<sup>11</sup>RODRÍGUEZ FILHO, Raymundo. El uso de la tierra como elemento constructivo en Brasil: un corto panorama del proceso histórico, manejo, usos, desafíos y paradigmas. Brasil, 2007.

<sup>12</sup>MATTONI, Roberto. Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción. Brasil, 2007.

- **Bestraten, Hormías, Altemir 2011<sup>13</sup>. Ofrecen una visión actual sobre la construcción con tierra a nivel internacional, aportando datos técnicos de su utilización en proyectos arquitectónicos contemporáneos.**

Teniendo el autor conocimiento de que la construcción con tierra durante la primera década del siglo XXI ha resurgido en todo el mundo como un material con propiedades sostenibles, de bajo impacto ambiental y de gran capacidad expresiva, se ha experimentado un crecimiento a nivel de proyectos e investigaciones sobre el material relacionado con el aumento de número de asociaciones, instituciones, universidades y eventos alrededor de este sector. Los proyectos actuales han sabido modernizar las técnicas tradicionales de construcción con tierra para adaptarlas a las necesidades proyectuales y constructivas, siendo ampliamente reconocidos por su calidad. A las puertas de la actual visión de la arquitectura sostenible, es obligado recuperar la tierra cruda como material de construcción, tan conocido y validado por la historia como también casi olvidado por el progreso del siglo XX. El objetivo del autor es ofrecer una visión actual sobre la construcción con tierra, aportando datos técnicos y ejemplos reconocidos de la aplicación de estas técnicas emergentes en todo el mundo.

- **Galíndez 2009<sup>14</sup>. Lleva a cabo un estudio a través de diversas pruebas para determinar cuál es el comportamiento del bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, un material alternativo para la construcción de muros. Dado que presenta importantes ventajas económicas y medioambientales frente a materiales tradicionales basados en el empleo de cemento, el BTC es una opción interesante para el mundo de la construcción.**

Presenta el autor la proposición de estudiar el comportamiento de un material alternativo (bloque de tierra cruda comprimida sin adición de cemento o BTC) para la construcción de muros. Este mampuesto elimina en su fabricación la etapa de cocción, que implica la mayor afectación ambiental no sólo por la emisión de contaminantes a la atmósfera (con su correspondiente aportación al efecto invernadero), sino también por el consumo de recursos no renovables (leña de bosques nativos y gas natural) en la producción de las importantes cantidades de energía requeridas en el proceso. Existen probadas experiencias del buen funcionamiento de los bloques comprimidos de suelo-cemento; sin embargo, no se han hallado investigaciones sobre el comportamiento de los bloques sin cemento.

---

<sup>13</sup>BESTRATEN, S.; HORMÍAS, E.; ALTEMIR, A. Construcción con tierra en el siglo XXI. España, 2011.

<sup>14</sup>GALÍNDEZ, Fernando. Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC). Aportación al ahorro energético. Argentina, 2009.

- **Vázquez Espí 2001<sup>15</sup>. Lleva a cabo un análisis en cuanto al relativo mérito de distintas formulaciones del coste físico de la construcción: energía incorporada, coste energético y coste material. También la estructura del coste físico agregado, incluyendo la valoración relativa de sus términos más significativos. Como ejemplos concretos, se evalúa la energía y la materia incorporada por distintas funciones constructivas según el material empleado (tierra, acero, ladrillo, hormigón).**

El autor tiene como objeto principal, cuantificar el impacto negativo sobre el ambiente de las técnicas industriales; el coste energético se ha popularizado como indicador. Así, en el actual contexto industrial, con un consumo casi exclusivo de fuentes energéticas contaminantes, para procesos comparables de fabricación de un producto, el coste energético de cada uno es esencialmente proporcional a la contaminación mediante diversas sustancias (óxidos de carbono, de azufre, etc). El autor también ilustra a grandes rasgos la estructura general de los impactos sobre el ambiente asociados a la construcción, desentrañando las variables más significativas sobre las que prioritariamente debería incidirse.

- **Cid, Mazarrón, Cañas 2011<sup>16</sup>. Propone estudiar el panorama normativo para las construcciones con tierra cruda a nivel internacional, analizando cincuenta y cinco normas y reglamentos de países repartidos por los cinco continentes, que representan el estado del arte de la normalización de la tierra cruda como material de construcción.**

Los autores llevan a cabo un estudio referenciado sobre las normas y reglamentos vigentes desarrollados por los organismos nacionales de normalización o autoridades correspondientes. Se presentan las normativas y los organismos que las emiten, analizando la estructura y contenido de cada una. Se estudian y analizan los aspectos más relevantes, como la estabilización, selección de los suelos, requisitos de los productos y ensayos existentes, comparando las diferentes normativas, siendo de gran utilidad para el desarrollo de futuras normas y sirviendo como referencia para arquitectos e ingenieros que trabajen con tierra.

---

<sup>15</sup>VÁZQUEZ ESPÍ, Mariano. Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. España, 2001.

<sup>16</sup>CID, J.; MAZARRÓN, F. R.; CAÑAS, I. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. España, 2011.

- **Maldonado Ramos, Castilla Pascual, Vela Cossío 2001<sup>17</sup>. Llevan a cabo esta investigación con el fin de recurrir a fuentes convencionales que proporcionen el calor o frío necesario en cada momento; en climas continentales extremos como el de Segovia, es necesario utilizar energía para calefactar las viviendas durante una buena parte del año.**

Uno de los factores que más influye en la arquitectura tradicional y, en consecuencia, en la arquitectura bioclimática es el aporte térmico solar, que, junto con la capacidad de acumulación de determinados elementos constructivos, permite disminuir enormemente los aportes externos de energía. Las ventajas de este recurso son indiscutibles. Sin embargo, los sistemas constructivos actuales tienden a la construcción ligera y a la industrialización del proceso constructivo, favorecidos por las exigencias de ahorro económico y de espacio, lo que dificulta enormemente la utilización de elementos masivos en la construcción. Es por esto que los autores realizan estudios para demostrar que los sistemas tradicionales de construcción con tierra ofrecen un mejor rendimiento energético y confort climático que los utilizados en la actualidad.

- **Saroza, Rodríguez, Menéndez, Barroso 2008<sup>18</sup>. Llevan a cabo un estudio sobre la resistencia a compresión simple que presenta el BTC elaborado con diferentes suelos procedentes del pueblo de Crescencio Valdés, situado en el municipio de Camajuaní, Villa Clara, Cuba.**

Con el objetivo de llevar a cabo el trabajo propuesto por los autores, se seleccionaron 12 suelos del pueblo Crescencio Valdés, tomados en diferentes lugares del mismo. Estos suelos se han identificado como S1, S2,..., S12. Una muestra representativa de dichos suelos se ha llevado posteriormente al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Central de las Villas, en Villa Clara, Cuba, para la realización del estudio de laboratorio.

---

<sup>17</sup> MALDONADO RAMOS, Luis; CASTILLA PASCUAL, Francisco; VELA COSSÍO, Fernando; Colaborador: RIVERA GÓMEZ, David. Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida. España, 2001.

<sup>18</sup> SAROZA, B; RODRÍGUEZ, M. A; MENÉNDEZ, J. M; BARROSO, I. J. Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. Colombia, 2008.

- **Barros, Imhoff 2010<sup>19</sup>. Presentan el desarrollo y evaluación de un sistema constructivo-estructural a base de tierra cruda, que ofrece mejorar la sismo resistencia dentro de un rango aceptable.**

La investigación consistió en analizar y elaborar en laboratorio un material llamado suelo-cemento. Luego se procedió al desarrollo de un sistema constructivo estructural a base de tapial en suelo-cemento post tensado. A continuación se fabricaron dos prototipos físicos escala 1:6 que fueron sometidos a ensayos de resistencia en el Laboratorio de Construcción Sismo resistente del Departamento de Obras Civiles UTFSM, para evaluar su comportamiento frente a sollicitaciones sísmicas.

- **Ruiz Sibaja, Vidal Sánchez 2015<sup>20</sup>. Presentan los resultados de una campaña de caracterización mecánica del BTC tradicional utilizado en la región de Tuxtla Gutiérrez. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, durante el segundo semestre de 2008.**

Las construcciones con bloques tradicionales son de muros de mampostería (habitualmente sin refuerzo) hechos con ladrillos crudos (manufacturados localmente) y unidos generalmente con un mortero de barro. Son estructuras en las que no intervienen técnicos especializados por lo que forman parte de las edificaciones conocidas como "no dirigidas" o "sin supervisión técnica".

---

<sup>19</sup>BARROS, L. P; IMHOFF, F. A. Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. Chile, 2010.

<sup>20</sup>RUIZ SIBAJA, J. Alejandro; VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. México, 2015.

- **Roux, Espuna 2012<sup>21</sup>. Exponen la problemática que se vive en México respecto a la adquisición y/o construcción de vivienda, la cual ha dejado de ser una realidad exclusiva de las personas del sector informal, pasando a ser también parte del sector laboral formal; presentan pues la alternativa de construcción por medio de bloques de tierra comprimida buscando a su vez la generación de empleos para la puesta en marcha de esta iniciativa.**

El objetivo principal de la investigación ha sido llevar a cabo la caracterización del correcto procedimiento de utilización de la fibra de coco como refuerzo en bloques de tierra comprimida con cemento Portland tipo I al 6% para la fabricación de los BTC.

---

<sup>21</sup> ROUX Rubén, ESPUNA José Adán. Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales. Universidad autónoma de Tamaulipas. Facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 2012

## 1.2 MARCO TEÓRICO

Como indica Torres Ramírez, “la implementación de bloques de tierra comprimida presenta muchas ventajas, entre ellas la de su similitud constructiva y en cuanto a apariencia con el ladrillo común. La construcción de edificaciones de baja altura con estos bloques es ideal en cuanto a los procesos de fabricación, pues permiten que una cantidad considerable de personas se integren laboralmente durante procesos como: pisado y modelado; sin embargo, se debe tener en cuenta de qué manera se dará control durante el proceso de producción para disminuir considerablemente la variación de las dimensiones y la irregularidades de los bloques. Es posible destacar además que los muros conformados por BTC, presentan un excelente comportamiento en lo que respecta al aislamiento acústico y térmico, esto gracias a las características físicas y mecánicas de los materiales que componen las piezas.”<sup>4</sup>

Indiscutiblemente, la técnica de elaboración de BTC presenta a su vez desventajas de diferentes tipos, así lo afirma el Ingeniero De La Peña; “estas se hallan en función del propio riesgo que genera la fabricación no porque se ponga en peligro la vida de quienes la llevan a cabo, sino por el mismo proceso que puede resultar lento, pues se requieren de días y hasta semanas para la correcta utilización de las piezas, cuando la producción se realice en el lugar donde se vaya a realizar la edificación.”<sup>6</sup>

Otros factores que se convierten en un valor adicional en cuanto a las dificultades que pueden darse al incursionar en la técnica expuesta, son por ejemplo: que el correcto proceso de fabricación depende en gran manera tanto de las áreas de pisado, como las de secado, que en términos generales, indicarán cuál será la continuidad de toda la línea de producción, considerando que ya estarán en un proceso de secado, las piezas conformadas con anterioridad.”



Es de suma importancia tener claridad acerca de lo que se pretende llevar a cabo después de tener elaborados los BTC, estas consideraciones teniendo en cuenta que la técnica en cuestión está direccionada a la aplicación en la vida diaria en diversos escenarios; es por esto que se hace énfasis en que con los bloques tradicionales se pretende conformar muros no estructurales en edificaciones de poca altura; sin embargo, alrededor de esta finalidad siempre se hallan factores cuyo cuidado y estudio es obligatorio, pues de estos depende la efectividad que se busca y la seguridad que se va a tener.

Es por esto, que se exponen a continuación algunas consideraciones referentes al comportamiento de las estructuras mencionadas y los diversos inconvenientes que se tienen a diario, tal como lo indica Zelaya. Por ejemplo, se tiene que las principales causas por las se genera algún tipo de falla en las estructuras conformadas por bloques de tierra comprimida son: “1) La construcción en terrenos no aptos, para los cuales no se ha considerado el peso significativo que aporta cada una de las piezas. 2) La construcción de edificaciones de más de un piso que no se consideran aptas para soportar los sismos. 3) Bloques de baja calidad, en cuanto al material utilizado y más importante aún, las proporciones consideradas para los mismos. 4) Variación en las dimensiones de los bloques, que pueden generar inestabilidad a largo plazo en los muros no estructurales. 5) La falta de protección de los bloques frente a procesos de erosión.”<sup>5</sup>

Es entonces importante destacar que las fallas y/o inconvenientes descritos en el párrafo anterior, pueden ser corregidos parcial o totalmente, según lo expuesto por Zelaya. Dichas correcciones o medidas radican por ejemplo en: 1) Llevar a cabo controles periódicos a los procesos que se dan en cada etapa de la técnica que se plantea en la investigación. 2) Dimensionar con el mayor detalle posible, tanto las piezas, como los muros no estructurales que se fabrican con éstas. 3) Establecer antes de la construcción e igualmente después de terminar la estructura, qué tipo de recursos se requiere utilizar para brindar protección frente a la lluvia y la humedad natural a los bloques y/o a la estructura en general.

Teniendo absoluta claridad sobre cuál es la finalidad u objetivo principal de la presente investigación, es indispensable conocer de manera simple pero concreta, en qué consiste dicho objetivo y por qué representa un avance importante en lo que a innovación en técnicas de construcción respecta. Es por esto, que se presenta a continuación un soporte científico para lograr dimensionar la verdadera finalidad del proceso investigativo.

Como ya se ha dejado claro, el objetivo que se tiene es poder determinar la resistencia a la compresión de muretes fabricados con BTC, por esto es necesario resaltar a qué se hace referencia cuando se habla sobre la resistencia a la compresión del suelo o resistencia a la compresión no confinada.

“El mínimo esfuerzo de compresión que se necesita para lograr que una muestra no confinada de suelo se rompa, se denomina *Resistencia a la compresión no confinada*; en la presente investigación, este parámetro es el punto de partida y al mismo tiempo la visión generalizada respecto a lo que quiere lograr, pues en este caso la resistencia a la compresión no confinada se considera como la máxima carga que se tiene por unidad de área durante la aplicación de una fuerza externa”.<sup>22</sup>

Lo anterior, es indispensable tener presente, pues cada uno de los procedimientos que son necesarios llevar a cabo durante todo el proceso investigativo, está dirigido a obtener bloques o piezas de gran calidad con los cuales sea posible conformar muros no estructurales a los que sea posible determinar el comportamiento cuando se hallen sometidos a ciertas cargas; esto quiere decir según explica Cano que la resistencia a la compresión que se pretende observar y determinar en los muros no estructurales, se refiere “al máximo esfuerzo que estos pueden soportar al encontrarse bajo una carga de aplastamiento”.

Es entonces importante mencionar que “la resistencia a la compresión de un material que presenta algún tipo de falla debido a una serie de fracturas, se puede determinar con límites precisos y pequeños; no obstante, la resistencia a la compresión de materiales que no revelan fracturas a causa de la misma compresión, se puede definir como el esfuerzo que se requiere para deformar dicho material en un porcentaje considerable.” Es preciso tener presente que la

---

<sup>22</sup>JOVER, Roberto / CANO GONZALES, Miguel. Ensayo Compresión Simple, Universidad De Alicante, Universidad de la Laguna, Gobierno de Canarias.

resistencia a la compresión se debe calcular dividiendo la carga externa aplicada por el área del elemento en estudio.<sup>22</sup>

Para poder llevar a cabo los cambios que se van a generar en las características físico – mecánicas del suelo en estudio, y de esta manera ir en búsqueda de obtener bloques uniformes y aptos para la conformación de muros no estructurales, es necesario destacar que la cal, siendo unos de los materiales protagonistas en el proceso investigativo, por ser un material cementante empleado en gran medida para la estabilización de suelos, juega un papel fundamental al encontrarse en presencia del material base como lo es el suelo derivado de cenizas volcánicas. Además es fundamental no olvidar que el éxito de la mezcla que se quiere tener en todo momento para la fabricación de los BTC, depende también de la implementación de cartón en la mezcla mencionada, pues este al estar formado por varias capas de papel superpuestas, tiene la capacidad de absorber cierto contenido de agua que puede ser innecesario en la mezcla.

Finalmente, es importante tener claro que para la elaboración de los BTC, se emplea una máquina que recibe el nombre de *Cinva - Ram*, la cual permite por medio de un sencillo mecanismo de palanca, ejercer la presión necesaria sobre la mezcla de suelo, cartón, cal y agua, para la conformación del adobe; esta máquina recibe su nombre 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.<sup>23</sup>

### **1.2.1 Resistencia de materiales. Esfuerzos de sollicitación axial**

Un material se comporta de manera elástica cuando la deformación que experimenta bajo la acción de una carga, cesa al desaparecer la misma. Son materiales elásticos: el acero, el hormigón, la mampostería, la madera, las membranas textiles y el aluminio.

Un material se comporta como linealmente elástico cuando la deformación que experimenta bajo la acción de una carga es directamente proporcional a la

---

<sup>23</sup> RAMÍREZ RAMÍREZ, Raúl. *Cinva-Ram Máquina para fabricar adobes de suelo – cemento*, Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (Proyecto regional para la superación de la pobreza extrema), Colombia.

magnitud de la misma. Son materiales linealmente elásticos: el acero, el hormigón, la mampostería, la madera, las membranas textiles y el aluminio.

La relación entre la tensión a la que está sometido un material y su deformación, se denomina módulo de elasticidad (E).

$$\text{Deformación} = \text{Tensión} / E \quad (\text{Ley de Hook})$$

Se tiene por ejemplo:

$$E \text{ del acero} = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E \text{ del aluminio} = 700.000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E \text{ del hormigón} = 220.000 \text{ Kg/cm}^2$$

Esto significa entonces que a la misma tensión el aluminio se deforma 3 veces más que el acero.

Nota: Los materiales que se utilicen en una estructura resistente deben comportarse en forma linealmente elástica, durante toda la vida útil de la misma.

El período elástico de un material se verifica hasta una determinada tensión, a partir de la cual las deformaciones dejan de ser proporcionales a la carga. (Ver *Imagen 01. Diagrama de fluencia*). En este punto el diagrama deja de ser recto y se denomina límite de fluencia.



Imagen 01. Diagrama de fluencia

Fuente: Resistencia de materiales, esfuerzos de sollicitación axial. Canciani José M. 2009

Al seguir incrementando la tensión, se produce la rotura, en un punto denominado tensión de rotura. Esta forma de rotura se denomina rotura dúctil, porque antes que ocurra la misma se producen grandes deformaciones, hecho muy conveniente porque la estructura “avisa” que está teniendo problemas, dando tiempo para repararla y evitar el colapso. Ejemplos: acero, hormigón, madera y aluminio entre otros.

Son materiales isotrópicos aquellos cuya resistencia no depende de la dirección en la cual se aplican las cargas. Son materiales isotrópicos: el acero y el aluminio.

Son materiales no isotrópicos aquellos cuya resistencia depende de la dirección en la cual se aplican las cargas.

Ejemplos: La madera, cuya resistencia varía si la carga se aplica en la dirección de la veta o perpendicular a la misma.

El hormigón armado, cuya resistencia varía de acuerdo a la posición de las armaduras.

### 1.2.1.1 Compresión

Es el esfuerzo que empuja las partículas del material unas contra otras. Todos los materiales estructurales pueden desarrollar esfuerzos de compresión (Ver *Imagen 02. Compresión típica de un material*), excepto las membranas textiles.

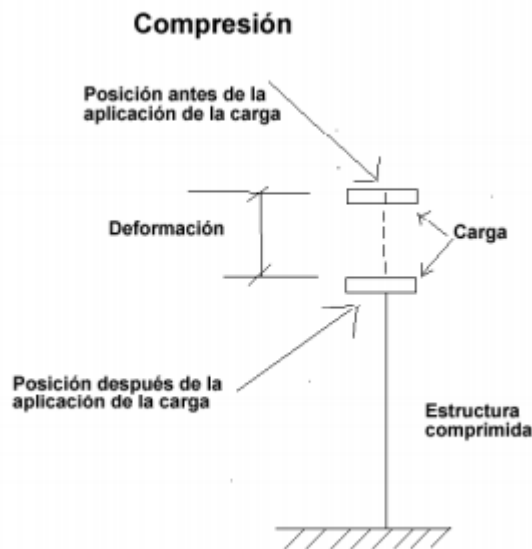


Imagen 02. Compresión típica de un material

Fuente: Resistencia de materiales, esfuerzos de sollicitación axial. Canciani José, et al.2009

Los elementos estructurales sometidos a compresión simple son muy comunes, pues en última instancia todas las cargas deben transferirse a la tierra: aparecen tanto en los modernos como en los templos de piedra griegos.

Los materiales incapaces de resistir tracción son a menudo resistentes a la compresión: la piedra, la mampostería, el mortero, el hormigón pueden desarrollar tensiones de compresión muy elevadas.<sup>24</sup>

### **1.2.2 Suelos derivados de cenizas volcánicas**

“Los suelos de cenizas volcánicas representan aproximadamente el 0,84% de los suelos a nivel global y se localizan predominantemente en regiones tropicales. (Ver *Imagen 03. Distribución espacial de los volcanes y de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia*). Los depósitos de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia ocupan cerca del 11,6% del territorio y se localizan en regiones de importante crecimiento demográfico y económico. Estos suelos se extienden desde el Eje Cafetero (departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío) en el centro del país, hasta los departamentos de Tolima, Cauca y Nariño hacia el sur oeste del mismo. En regiones del oriente de Colombia, como Bogotá y los Llanos Orientales, se han encontrado depósitos de estos suelos, distribuidos aleatoriamente, sin que presenten un patrón definido.

---

<sup>24</sup>CANCIANI José María. Resistencia de materiales, esfuerzos de sollicitación axial. Buenos Aires, Argentina. 2009

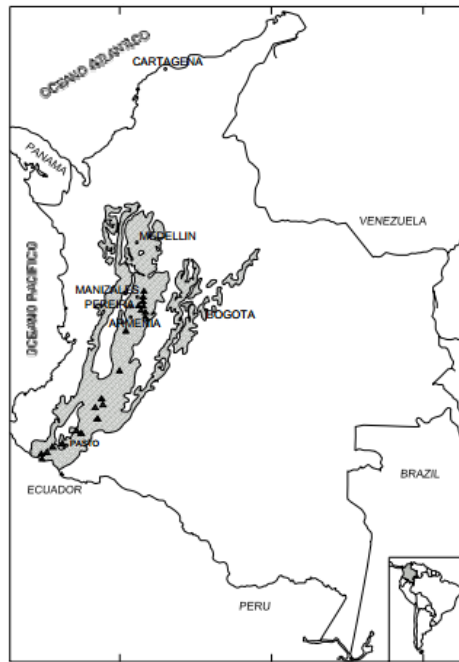


Imagen 03. Distribución espacial de los volcanes y de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia

Fuente: Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Lizcano et al, 2006

Las cenizas volcánicas son generadas a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán provenientes de erupciones anteriores. Tres mecanismos han sido identificados como los principales generadores de cenizas volcánicas: la ruptura del magma debido a vesiculación, la fragmentación del magma debido a los elevados esfuerzos térmicos y la pulverización de la lava en las paredes de la chimenea del volcán durante la erupción.

La morfología y textura de las cenizas volcánicas varía desde que son emanadas hasta su deposición. Las propiedades superficiales de las partículas depositadas dependen ampliamente de la abrasión que soportan durante su transporte. La distancia de transporte depende de características de las partículas que incluyen forma, esfericidad, rugosidad, superficie específica, composición química y carga electrostática.<sup>25</sup>

<sup>25</sup> LIZCANO A., HERRERA M.C., SANTAMARINA J.C. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia / Georgia Institute of Technology. Atlanta, USA.

### 1.2.2.1 Propiedades físico – químicas

Los límites de Atterberg de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia han sido estudiados a humedad natural y después de ser sometidos a secado. Los resultados indican que estos suelos son por lo general, limos de alta o baja plasticidad respectivamente. Los límites de Atterberg pueden alcanzar valores significativamente altos cuando los ensayos son realizados a partir de la humedad natural y sin previo secado del material.

De los minerales presentes en la fracción arcillosa, la alofana y la imogolita son los que más contribuyen al incremento de la plasticidad como se indica en la *Imagen 04. Clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia en la carta de plasticidad. (Datos resumidos para Pereira obtenidos por Uniandes, 2001)*. El secado del suelo antes del ensayo reduce los límites de Atterberg y la plasticidad de estos suelos. Los cambios se hacen más severos para suelos con una plasticidad natural alta y a medida que ocurre mayor pérdida de humedad previa al ensayo.

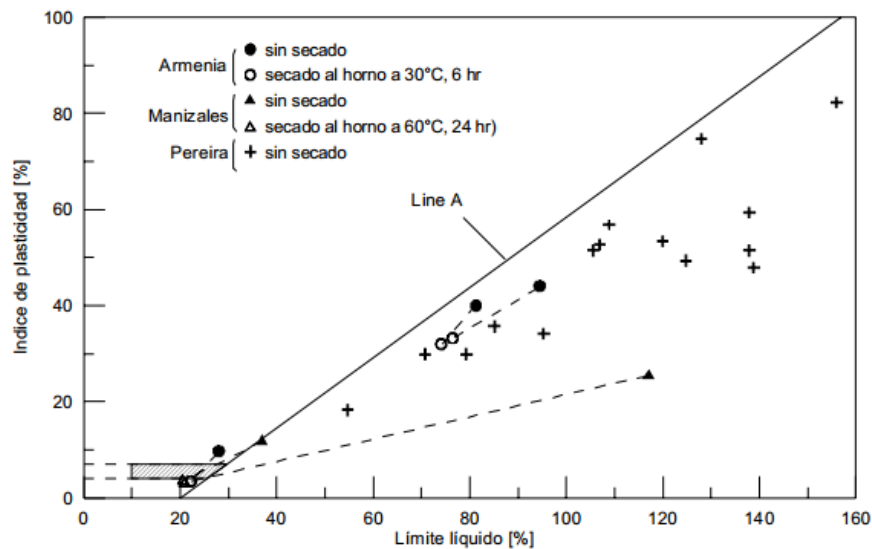


Imagen 04. Clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia en la carta de plasticidad. (Datos resumidos para Pereira obtenidos por Uniandes, 2001).

Fuente: Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Lizcano – et al. 2006



### 1.2.2.2 Propiedades mecánicas

La historia de formación y los resultados experimentales indican que los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia son suelos cementados que evolucionan a partir de la meteorización de cenizas volcánicas. Diferentes mecanismos químicos y físicos gobiernan el acercamiento de las partículas y la formación de agregaciones.

Actualmente los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia presentan propiedades mineralógicas y físicas notablemente distintas de las que exhiben los sedimentos de cenizas volcánicas recién depositadas. Mientras que las cenizas emanadas se sedimentan alcanzando relaciones de vacíos que varían entre  $e = 0,8$  y  $e = 1,7$  como se muestra en la *Imagen 05. Relación de vacíos vs. Esfuerzo vertical efectivo*. La meteorización química lleva a la disolución y re precipitación de nuevos minerales y a la formación de suelos residuales con una relación de vacíos muy alta y evidentes características de cementación.

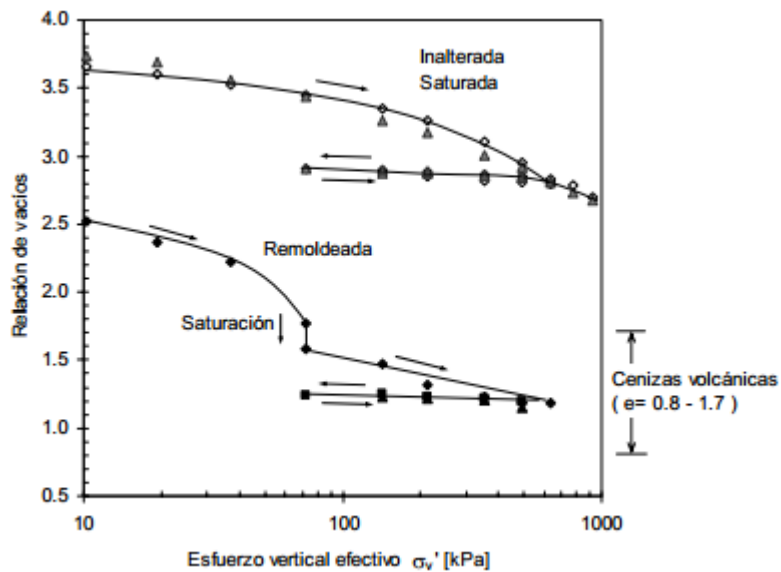


Imagen 05. Relación de vacíos vs. Esfuerzo vertical efectivo.  
(Muestras inalteradas saturadas sin esfuerzo aplicado y muestras remoldeadas preparadas con material secado pasando tamiz No. 200)  
Fuente: Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Lizcano, Herrera, Santa marina

La acción cementante es realizada por los minerales de la fracción de arcilla derivados de la meteorización de las cenizas volcánicas, principalmente por haloisita y posiblemente por alofana e imogolita. Estos minerales son susceptibles de disolverse en soluciones ácidas (ácido sulfúrico) y presentan baja solubilidad en agua. Otros agentes cementantes como el carbonato de calcio, comúnmente encontrado en suelos, no está presente en los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia.

La estructura natural del suelo explica índices de consistencia muy bajos ( $I_c \sim 0$ ) y altas humedades in situ ( $w_o = 98\% - 131\%$ ). Esta estructura es igualmente responsable de las propiedades de resistencia, compresión y conducción.

### **1.2.2.3 Compactación**

Tradicionalmente el criterio de compactación del suelo implica la aplicación de un procedimiento por medio del cual se reducen los vacíos del suelo con el fin de obtener una estructura más rígida, con mayor resistencia y menor compresibilidad y permeabilidad. En los suelos derivados de cenizas volcánicas la aplicación de este criterio ha llevado a resultados disímiles respecto a los que son convencionalmente encontrados. Estos resultados disímiles son controlados por el grado de secado y remoldeo aplicados al material (Townsend, 1985; Wesley, 2003).

La curva de compactación de suelos derivados de cenizas volcánicas altamente meteorizados puede variar considerablemente con el secado del material (Wesley, 2003). Cuando el suelo está en sus condiciones in situ, el máximo valor de densidad seca en la curva de compactación no es apreciable y consecuentemente tampoco lo es la humedad óptima. Este comportamiento es gobernado por la contracción del suelo.

Esto implicaría que el suelo natural, caracterizado por tener una estructura cementada altamente porosa y capaz de alojar grandes cantidades de agua se densificará ante la reducción de la humedad. La densificación es controlada por la cementación; mientras que ésta permanezca, el aumento de la densidad por la reducción de la humedad será muy bajo para un rango amplio de humedades.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan cambios fuertes e irreversibles en compactación debidos a desecación. Cuando estos suelos han sido secados y rehumedecidos, la curva de compactación en laboratorio se asemeja a la encontrada tradicionalmente, en la cual es claramente identificado el punto de máxima densidad seca y humedad óptima. Este comportamiento es posiblemente debido a la pérdida irreversible del agua retenida por los minerales arcillosos que caracterizan los suelos de origen volcánico (alofana, imogolita y haloisita) y los consecuentes cambios de volumen.”<sup>25</sup>

### **1.2.3 Actualidad de los trabajos con tierra en bloques de tierra comprimida y características de estabilizantes adicionales.**

“Los bloques de tierra comprimida (BTC) están actualmente siendo estudiados en gran parte del mundo con diferentes estabilizantes para mejorar algunas de sus características. Esta situación es debida a la importancia que la tierra cruda tiene en el planeta como material de construcción. Su fácil disponibilidad, bajo coste e inercia térmica hacen de la tierra una materia prima fundamental para las viviendas de ciertas poblaciones en el mundo.

La tierra sigue siendo el principal componente de construcción en las poblaciones con recursos económicos precarios, ya que es un material de fácil consecución, ilimitado y de eficiencia altamente contrastada. Este tipo de arquitectura es fundamental para las sociedades que edifican sus viviendas mediante la autoconstrucción. Por ello, aparte de ser un factor económico fundamental para ellos, se convierte en un importante factor social y clave a la hora de hablar de su papel en la vida de estas poblaciones.

Por otro lado, su resistencia mecánica le confiere unas características suficientes para viviendas de una o dos plantas, siempre que no haya límites establecidos para el grosor de sus muros, condición que se cumple fácilmente en los territorios donde estas poblaciones construyen sus casas. Profundizando en los resultados de la construcción con tierra, se puede decir abiertamente que favorece la sostenibilidad del medio, ya que es un material que no necesita de combustibles para su extracción, implementación o destrucción. Por este aspecto principalmente la tierra se convierte a su vez en un factor ecológico positivo.

### **1.2.3.1 Bloque de tierra comprimida (BTC)**

“Como el adobe, los BTC son piezas prismáticas de tierra que se fabrican con moldes. Sin embargo, la principal característica del BTC es que la tierra es comprimida dentro del molde, aumentando su compactación y así, su resistencia mecánica. La mezcla suele llevar estabilizantes como cal o cemento. Suelen ser más pequeños que el adobe, pero el sistema de construcción posterior es idéntico.

Otra diferencia es que, para que la compactación sea óptima, obliga que la tierra carezca de áridos superiores a 20 mm. Y debe contener finos y limos en proporciones suficientes. Además, la capa vegetal del suelo, que no es aconsejable para la construcción con tierra en general, es especialmente intolerable en los BTC, ya que su descomposición dejaría huecos que no deberían existir.”<sup>9</sup>

### **1.2.3.2 Cal**

La cal es uno de los estabilizantes más antiguos de la historia, empleado en revoques y morteros con habitualidad en las épocas griega y romana; pero existente en la construcción desde las pirámides de Keops en el antiguo Egipto, en el año 2600 a. C.

Para comprender las reacciones químicas que la cal produce en los BTC se debe describir el proceso conocido como el ciclo de la cal, como se muestra en la siguiente imagen:

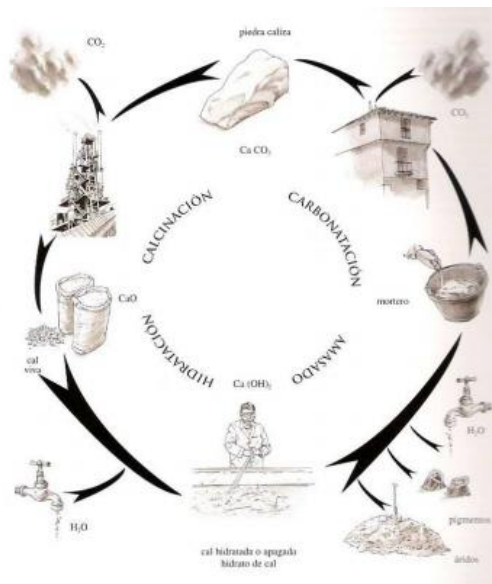


Imagen 06. Ciclo de la cal

Fuente: Resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice. Caicedo, Miguel

“La cal pasa por cuatro fases durante las cuales se transforma debido a su reacción con otros agentes y en la que al final vuelve a su estado original.

## 1. Calcificación

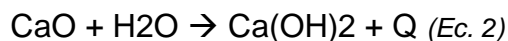
El ciclo de la cal se inicia con la calcificación o cocción a unos 900°C de la piedra caliza o carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ .



Produciendo óxido de calcio o cal viva,  $\text{CaO}$ , al disociarse el dióxido de carbono del carbonato cálcico. El aspecto de la cal viva es de fragmentos irregulares.

## 2. Apagado

La cal viva se mezcla con agua, dando lugar a la cal apagada o hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ .



Cuando es apagada con agua, reacciona exotérmicamente transformándose en una pasta blanca o en un polvo seco según la cantidad de agua aportada. En el caso de ser apagada con abundante agua, se consigue una pasta de cal que se

conserva en balsas un mínimo de seis meses donde envejece, ocurriendo el proceso de micro cristalización pasando de cristales grandes a más pequeños. Cuanta mayor edad, se obtiene mayor extensión en superficie, mayor elasticidad y plasticidad, mejorando la adherencia y la resistencia.

### 3. Pasta de mortero de cal

A la cal apagada se le añade el agua y la arena para obtener el mortero de cal. El uso de la cal se da en esta fase, ya sea para morteros de unión, de cimentación, revoques o estucos.

### 4. Carbonatación

El mortero de cal va carbonatando con el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, desde la superficie hacia adentro, conservando un núcleo húmedo, que es el que le confiere sus propiedades y elasticidad, gracias a la cual tiene un comportamiento mecánico más flexible, convirtiéndose con el tiempo en una costra pétreo de carbonato cálcico, similar a la piedra original.



---

<sup>26</sup>CARCEDO Miguel. Resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula. Universidad Politécnica de Madrid. España.

## 1.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

En la presente investigación se tienen en cuenta las normas que rigen la elaboración de ladrillos; debido que hasta el momento no se cuenta con normatividad para la fabricación de bloques de tierra comprimida en Colombia.

En la década de los ochenta, el ICONTEC tradujo una norma ASTM sobre piezas estructurales de arcilla para muros cargueros (C-34: Structural clay load-bearing wall tile) y con base en ésta se expidió la norma ICONTEC 2153: ladrillos estructurales de arcilla; por esto, cuando un uso cualquiera de ladrillos se consolida, el grupo de características o propiedades específicas se reúnen en un catálogo llamado Norma Técnica.

De esta manera, existen normas para cada tipo de ladrillo. Cada grupo de ladrillos se puede subdividir para dar lugar a normas cada vez más especializadas: ladrillos para mampostería que sean estructurales – o que no lo sean- que sirvan para fachada o que se limiten a muros interiores, que sean macizos, o que sus perforaciones sean verticales, que sirvan sólo para pavimentar vías de tráfico peatonal o vehicular liviano o que además, admitan el tránsito de vehículos pesados.

Las normas del mundo son por lo tanto muy variadas, siendo posiblemente las más prolíficas las norteamericanas, que tienen tantas como subgrupo de ladrillos es posible. En Colombia, las normas Icontec son más generales, por lo que resultan menos numerosas, pero igualmente son claras en cuanto al alcance u objeto de lo que normalizan.

El desarrollo de las actuales normas NTC (Normas Técnicas Colombianas) por el Icontec, se ha hecho con el concurso de fabricantes, universidades, gremios, constructores, laboratorios de materiales, etcétera. Existen normas para ladrillos de mampostería, para adoquines, para baldosas de gres, ladrillos refractarios, tejas de arcilla, baldosines cerámicos, etcétera. También se normalizan los métodos de ensayo, las dimensiones modulares y demás normas accesorias.

### 1.3.1 Normas correspondientes a los ensayos de laboratorio

➤ ***NTC 125. Consistencia y Plasticidad de Suelos: Límite Líquido y Límite Plástico***<sup>27</sup>

Se exponen a continuación las generalidades que se deben tener en cuenta para la caracterización de una muestra de suelo según la norma indicada:

Para realizar el procedimiento del ensayo, primero se debe poner la muestra en el plato de evaporación y agregarle una cantidad considerable de agua destilada, se mezcla hasta que quede una pasta uniforme. Esta pasta debe moldearse el tiempo que se necesite para que la humedad se distribuya uniformemente; luego de esto, se deposita en la taza de la máquina de Casagrande entre 50 y 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 cm<sup>3</sup> 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, luego se toma una parte de la muestra de aproximadamente 10 gramos para determinar la humedad y 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.

➤ ***NTC 1522. Granulometría por tamizado y lavado tamiz N° 200***<sup>28</sup>

A continuación se muestra un resumen del procedimiento que se debe realizar para llevar a cabo la granulometría por tamizado y el lavado por el tamiz N° 200 según la norma técnica colombiana 1522 correspondiente al ensayo anteriormente nombrado:

---

<sup>27</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 125. Consistencia y Plasticidad de Suelos: Límite Líquido y Límite Plástico. Bogotá, 2003.

<sup>28</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 1522. Granulometría por tamizado y lavado tamiz N° 200. Bogotá, 2003.



Lo primero que se debe realizar es el secado de la muestra al aire, luego de que se encuentre seca, se toman 2 porciones con más o menos 115 gramos, se debe lavar 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 N° 10, por último se pesa la masa retenida en cada tamiz.

➤ **NTC 2521. Ensayo Hidrómetro<sup>29</sup>**

Teniendo en cuenta la norma que rige el ensayo del hidrómetro (NTC 2521), se realiza el procedimiento correspondiente para la muestra de suelo que se está trabajando en el proyecto, como se indica a continuación:

Inicialmente se debe seleccionar una muestra de más o menos 50 gramos que pase por el tamiz N° 200 y a lo que quede retenido en este tamiz, se le hace un lavado. 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 N° 200.

La muestra que pasa el tamiz N° 200 se deposita en una tara; posteriormente se añaden 200 cm<sup>3</sup> de agua y aproximadamente 20 cm<sup>3</sup> 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) y después de haber sido sometida 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 la dispersión de la muestra de 5 a 10 minutos.

La muestra dispersa se lleva a un cilindro graduado y se le agrega agua hasta los 1000 cm<sup>3</sup>; 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, posteriormente 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.

---

<sup>29</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 2521. Ensayo Hidrómetro. Bogotá, 2003.

➤ **Norma I.N.V.E -128-07. Gravedad específica de suelos finos<sup>30</sup>**

Con el fin de obtener el valor correspondiente a la gravedad específica del material que se está trabajando, se lleva a cabo el laboratorio teniendo como referencia los pasos indicados en el procedimiento establecido en la Norma I.N.V.E -128-07:

El primer paso que se debe realizar es pesar el picnómetro y limpiarlo completamente, para luego determinar el contenido de agua de una porción de la muestra. Posterior a esto, se debe dispersar el suelo utilizando una licuadora, se agrega al suelo aproximadamente 100 ml de agua aireada y se pone la lechada en el picnómetro; luego se lava el embudo y se vierte el agua con las partículas retenidas en el embudo al picnómetro.

El siguiente paso es extraer el aire atrapado en la lechada, esto se puede hacer usando una bomba de vacío o mediante la combinación del calor y aspiración; luego se debe llenar el picnómetro con agua aireada introduciendo el agua por un tubo delgado, se llena el picnómetro hasta la marca, se mide y se anota la masa de picnómetro con suelo y agua para posteriormente determinar la temperatura del picnómetro; se mide y se anota la temperatura de la lechada de suelo. Finalmente se saca el espécimen hasta obtener una masa constante en un horno de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , se pesa el suelo seco y el recipiente.

La ecuación que se utiliza para determinar el valor de gravedad específica es:

$$G_s = \frac{W_s * K}{(W_s + W_a) - W_b} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

**Ws:** Peso seco

**Wa:** Picnómetro + Agua

**Wb:** Picnómetro + Agua + Suelo

---

<sup>30</sup> Norma I.N.V.E -128-07. Gravedad específica de suelos finos.

➤ **NTC 2122. Compactación de suelos: Proctor Modificado**<sup>31</sup>

Con el fin de determinar la compactación máxima de la muestra de suelo en cuestión; en relación con su grado de humedad, se realiza el laboratorio de compactación de suelo, más conocido como Proctor Modificado, teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana 2122:

Inicialmente, 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 KN/m<sup>2</sup>, de esta forma 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 a partir de la curva de compactación.

En cuanto a los procedimientos para la elaboración y ensayo de los muretes fabricados con bloques de tierra comprimida; y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de los mismos; se tuvieron como referencia dos normas: La Norma Técnica Colombiana NTC 3495 y el Título D de la Norma Sismo resistente NSR 10.

---

<sup>31</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 2122. Compactación de Suelos: Proctor Modificado. Bogotá, 2003

### 1.3.2 Normas correspondientes a la fabricación y a los ensayos realizados a los bloques de tierra comprimida, morteros y muretes

- ***NTC 3495. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería<sup>32</sup>***

Con el fin de realizar la construcción de los muretes fabricados con bloques de tierra comprimida; se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

Primero se debe revisar que las unidades de bloques estén a ras de la superficie, de no ser así, se deben remover las partes sobresalientes por medio de corte, con sierra de disco; luego de realizar esta revisión, se procede a construir los muretes dentro de una bolsa abierta, que sea impermeable, con un tamaño suficiente el cual pueda contener el murete completo y sellarlo totalmente.

Se debe tener en cuenta que la superficie donde se realiza la construcción de los muretes debe estar plana y nivelada; y en un lugar tal que se puedan conservar hasta que se tengan que transportar para su ensayo.

Los muretes se deben elaborar con pegas completas; se debe usar un espesor de junta y un método de alineamiento y posicionamiento de las juntas; estas deben ser planas (completamente llenas de mortero y acabadas a ras con la superficie de las paredes).

Los muretes deben tener al menos dos unidades de altura, con una relación (altura/espesor) del murete entre 1.3 y 5.0; y finalmente luego de terminar la elaboración de los muretes; se deben sellar las bolsas impermeables que los contienen.

---

<sup>32</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 3495. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá, 2003

- **NTC 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.**<sup>33</sup>

Esta norma se aplica a bloques de suelo cemento destinados a la construcción de muros y divisiones en edificaciones; aplicándose únicamente a los bloques destinados a ser utilizados en edificaciones u obras que no estén sometidas a las condiciones de hielo y deshielo. El fabricante que declare el cumplimiento de su producto respecto a la presente norma o un requisito de la misma, debe estar en condiciones de comprobar que se cumple con las características enumeradas y, en particular, que se han determinado conforme a los ensayos correspondientes.

### **Características de materiales según la NTC 5324**

**Suelo (Agregados):** El suelo o agregado destinado a la construcción de bloques de suelo cemento es un material de base compuesto esencialmente y en proporciones dadas, por gravillas, arenas, limos y arcillas. Estos componentes pueden estar definidos de acuerdo con una clasificación granulométrica o en lo que concierne a los elementos finos por su naturaleza mineralógica.

NOTA: Numerosos suelos son aceptables para la fabricación del BSC, siempre y cuando no se traten de suelos orgánicos.

- **NTC 4205. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos**<sup>34</sup>

Se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería de arcilla cocida: según la disposición de sus perforaciones y del volumen que estas ocupan; perforación vertical (ladrillos y bloques) (PV); perforación horizontal (ladrillos y bloques) (PH) y macizos (M). La aplicación de cada tipo de unidad de mampostería dentro de la edificación debe estar acorde con los cálculos y requisitos que para ello establezca la norma sismo resistente correspondiente, con el fin de que se garantice la estabilidad de la estructura.

---

<sup>33</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. Bogotá, 2003

<sup>34</sup> NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 4205 Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá, 2003

## **Clases de unidades:**

El uso o función principal de cualquier tipo de unidad de mampostería determina la clase a la que corresponde y los requisitos físicos que debe cumplir. Para efectos de esta norma, se consideran las unidades estructurales (portantes) y las unidades no estructurales (divisorios o de cierre); las unidades de mampostería de uso exterior, o de fachadas, y las unidades de uso interior.

Se denominan unidades de mampostería de uso interior a aquellas que solo son aptas para usarse en muros que no estén expuestos a la intemperie, como muros divisorios interiores que pueden estar o no a la vista, o en muros exteriores que tengan un acabado de protección de revoque o pañete, enchape u otra mampostería que impida la exposición a la intemperie. Las unidades de mampostería de uso exterior o para fachada, son aptas para construir muros a la vista que estén expuestos a la intemperie.

### ➤ ***Título D. Mampostería estructural. NSR 10<sup>35</sup>***

El Título D de este Reglamento establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Estas estructuras tienen un nivel de seguridad comparable a las estructuras de otros materiales, cuando se diseñan y construyen de acuerdo con los requisitos del presente reglamento.

Los procedimientos y las especificaciones establecidas constituyen los requisitos mínimos que deben cumplir el diseño y la construcción de estructuras de mampostería; éstas deben diseñarse por el método del estado límite de resistencia. No obstante, se permite el diseño de estructuras de mampostería por el método de esfuerzos de trabajo admisibles. Todo el diseño de la estructura debe realizarse por uno de los dos métodos.

---

<sup>35</sup> REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE (NSR -10); Título D – Mampostería Estructural. Bogotá, D.C: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 1997.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA Y FASES DEL PROYECTO**

## 2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el buen desarrollo de una metodología se deben llevar a cabo distintos tipos de estudios, por tal motivo, para el enfoque del desarrollo de este proceso investigativo, se ha considerado una metodología de dos tipos: descriptiva y experimental, la cual conlleva a que los resultados de la investigación sean de tipo cualitativos y cuantitativos.

Dentro del proceso investigativo se resalta además un conjunto de variables como lo son, los tiempos de secado y dosificaciones, siendo la primera una variable independiente y la segunda dependiente; estas consideraciones se plantean ya que existen factores externos que impiden un control sobre las variables independientes. Por otro lado, se tiene un grupo de factores y/o situaciones que se consideran constantes, pues a pesar de los procesos y actividades que se realizan, no es posible alterarlos de alguna manera, por ejemplo, las características y condiciones iniciales del suelo empleado.



## 2.2 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Se detallan a continuación cada una de las fases o etapas que conformaron todo el proceso investigativo:

### 2.2.1 Primera fase: Localización del lugar y extracción inicial del material (suelo inalterado).

El lugar elegido para llevar a cabo la extracción del material, como se muestra en la *Imagen 07. Localización del lugar*, es un lote que se halla en el sector San Jacinto, el cual hace parte del terreno que conforma en su totalidad la urbanización Portal de San Jacinto, éste en el Municipio de Pereira, con coordenadas Norte:  $4^{\circ} 47' 59.00''$ . Oeste:  $75^{\circ} 42' 57.92''$  y elevación: 1324 msnm.



Imagen 07. Localización del lugar  
Fuente: Google Earth. 2013<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Imágenes Google Earth. 2013.

Se presenta a continuación una **imagen microscópica** (Ver *Imagen 08. Vista microscópica del material inalterado*), tomada en laboratorio, del suelo que se empleará para la elaboración de los bloques de tierra comprimida. El suelo se ha secado al sol con anterioridad.



Imagen 08. Vista microscópica de material inalterado  
Fuente propia

### 2.2.2 Segunda fase: Ensayos de laboratorio para caracterización de las muestras de suelo.

Con el objetivo de conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo con el cual se pretende elaborar los bloques de tierra comprimida, se presenta en la *Tabla 01. Listado de ensayos y norma respectiva*, un resumen de los ensayos de laboratorio que se requieren llevar a cabo para el fin mencionado.

Consistencia y Plasticidad de suelos: Límite Líquido y Límite Plástico	<i>NTC 125</i> <sup>27</sup>
Granulometría por tamizado y lavado tamiz número 200	<i>NTC 1522</i> <sup>28</sup>
Ensayo Hidrómetro	<i>NTC 2521</i> <sup>29</sup>
Gravedad específica de suelos finos	<i>I.N.V.E -128-07</i> <sup>30</sup>
Compactación de suelos: Proctor Modificado	<i>NTC 2122</i> <sup>31</sup>

Tabla 01. Listado de ensayos y norma respectiva

Se presenta a continuación, un resumen ilustrado de los ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo para la caracterización del material.

Nota: Los resultados de dichos ensayos, se indican detalladamente en el capítulo 3 del presente documento.

El primer ensayo de laboratorio que se lleva a cabo, es el de **gravedad específica** (Ver *Imagen 09. Ejecución del ensayo de gravedad específica*), según las especificaciones dadas en el numeral 1.3.1.



Imagen 09. Ejecución del ensayo de gravedad específica  
Fuente propia

Por medio del ensayo de **lavado por tamizado**, se pretende como se indica en la *Imagen 10*. *Lavado por tamizado*, establecer según el peso del material retenido en el tamiz N° 200, cuál es el porcentaje de materiales finos contenidos en el suelo.



Imagen 10. Lavado por tamizado

a) Peso del material para ensayo lavado por tamizado. b) Lavado del suelo empleando tamiz 200  
Fuente propia

Posteriormente, se lleva a cabo el ensayo de **granulometría de suelo retenido**, por medio del cual se pretende realizar una clasificación del suelo, respecto al tamaño de las partículas que este componen. Ver *Imagen 11. Ensayo de granulometría.*



Imagen 11. Ensayo de granulometría  
a) Preparación ensayo granulometría. b) Material que retiene el tamiz.  
Fuente propia

Con el propósito de determinar el porcentaje de limos y arcillas presentes en el suelo, teniendo como referencia la cantidad de partículas que pasan el tamiz N° 200, como se indica en el numeral 1.3.1, se lleva a cabo del ensayo del **hidrómetro**, como se muestra a continuación:



Imagen 12. Ensayo del hidrómetro  
a) Suelo con solución para dispersión de partículas.  
Fuente propia

Con el objetivo de determinar la compactación máxima de la muestra de suelo en relación con su grado de humedad, se lleva a cabo el ensayo de **proctor modificado**, como se muestra en la siguiente imagen:



Imagen 13. Ensayo Proctor Modificado

a) Tamizado de suelo seco (empleando tamiz #40). b) Mezcla lista para llevar a cabo el ensayo de proctor al día siguiente. c) Adición de material al molde para inicio del ensayo. d) Compactación de material (25 golpes)

Fuente propia



Teniendo la mezcla de suelo con los aditivos (cal y cartón), se procede a realizar nuevamente el ensayo de **proctor modificado** como se indica en la *Imagen 14. Ensayo de Proctor Modificado con cartón y cal.*



Imagen 14. Ensayo de Proctor Modificado con cartón y cal.  
a) Eliminación de exceso de agua de cartón. b) Mezcla de suelo, cartón y cal. c) Primera capa compactada después de 25 golpes.  
Fuente propia

### 2.2.3 Tercera fase: Elaboración de cuarenta y cuatro (44) bloques de tierra comprimida

Al momento de escoger los materiales que se utilizaron para la elaboración de los BTC, se tuvo en cuenta principalmente que el impacto negativo sobre el medio ambiente fuera mínimo, de igual forma se buscaron materiales que proporcionaran una alternativa económica y confiable para la sociedad; los materiales utilizados fueron: cartón y cal, además del suelo inalterado y agua, como se muestra en la *Imagen 15. Preparación de materiales para la elaboración de los BTC.*

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 cal y cartón se determinaron con base en investigaciones y aplicaciones, y el de la humedad se determinó en el ensayo de proctor modificado. Los porcentajes definidos por unidad de peso del suelo son:

- ❖ 2% de Cal.
- ❖ 5% de Cartón.
- ❖ 51.43% de Humedad.

Teniendo establecidos estos porcentajes, se procedió a mezclar todos los materiales; y por medio de la maquina Cinva Ram, se elaboraron los BTC. El funcionamiento de esta máquina consiste en llenar el molde con una buena cantidad de suelo mezclado, posteriormente se cierra la tapa del molde y se lleva la palanca hasta la posición vertical; se suelta el pestillo y se continua tirando de la palanca hasta ponerla horizontal, de esta manera queda comprimido el bloque y listo para ser retirado y poner a secar durante un periodo de 7 semanas al aire libre. (Ver Imagen 16. *Fabricación de bloques de tierra comprimida*).



Imagen 15. Preparación de materiales para la elaboración de los BTC  
a) Cal. b) Cartón. c) Cartón en proceso de remojo. d) Preparación de la mezcla para los adobes.  
Fuente propia



Imagen 16. Fabricación de bloques de tierra comprimida  
 a) Mezcla para elaboración de BTC. b) Elaboración de BTC fase1. c) Elaboración de BTC fase 2.  
 d) Elaboración de BTC fase 3. e) BTC terminados sin ser secados. f) BTC terminados completamente secos.  
 Fuente propia

#### 2.2.4 Cuarta fase: Realización de prueba de absorción a los BTC.

Para llevar a cabo el ensayo de absorción de los bloques, se procede con anterioridad a cortar dos de estos bloques, teniendo así cuatro mitades con las cuales se llevará a cabo el ensayo en cuestión.

Para llevar a cabo la *prueba N° 1* en búsqueda de la determinación de la absorción que presentan los bloques, se procede a pesar cada una de las mitades en estado seco y posteriormente se sumergen las mismas en un

recipiente con agua, de tal manera que queden completamente cubiertos. La verificación de su estado se lleva a cabo 24 horas después.

Considerando después de la verificación del estado de los BTC, que los resultados obtenidos en cuanto a la conservación de las características físicas de los mismos, no fueron los esperados, se procede entonces a efectuar la *prueba N° 2*, la cual consiste en buscar un producto impermeabilizante con el cual se pueda dar un recubrimiento a los BTC y de esta manera llevar a cabo nuevamente el ensayo de absorción.

Para el fin mencionado, se consigue en el mercado un producto que es básicamente una dispersión acuosa densa de un copolímero del ester acrílico que actúa como ligante de alto poder y de gran elasticidad, que a su vez cumple la función de impermeabilizar. Se toman entonces nuevamente dos mitades y se cubren con el material impermeabilizante mencionado y después de dejar secar el mismo, se procede a repetir el ensayo de absorción tal y como se ha descrito anteriormente.

Aunque transcurridas 24 horas, se pudo observar mejoría en cuanto al estado de los bloques después de encontrarse sumergidos teniendo aplicado el producto impermeabilizante, la estructura de los mismos se vió muy afectada, por lo cual se optó por implementar una nueva medida o estrategia (*prueba N° 3*).

Se opta entonces por recubrir un nuevo bloque con un mortero conformado por cemento, arena, agua y suelo (del mismo suelo inalterado con el cual se elaboraron los adobes). El recubrimiento se hizo con un espesor de 1 cm aproximadamente. En primer lugar, es importante destacar que al estar completamente seco, el mortero presentó algunas grietas. Por otra parte, transcurridas las 24 horas en las cuales permaneció sumergido el bloque recubierto, se observó que a pesar de que el contenido de agua absorbido continuaba siendo elevado, la estructura del bloque no se encontraba en tan mal estado como al realizarse las dos pruebas anteriores.

### 2.2.5 Quinta fase: Pruebas de resistencia a la compresión de los bloques individuales.

Los ensayos para determinar la resistencia a la compresión de los BTC de forma individual, se llevan a cabo al igual que en el ensayo de absorción con los adobes cortados por la mitad, como se indica en la *Imagen 17. Ensayo a la compresión a bloques individuales.*

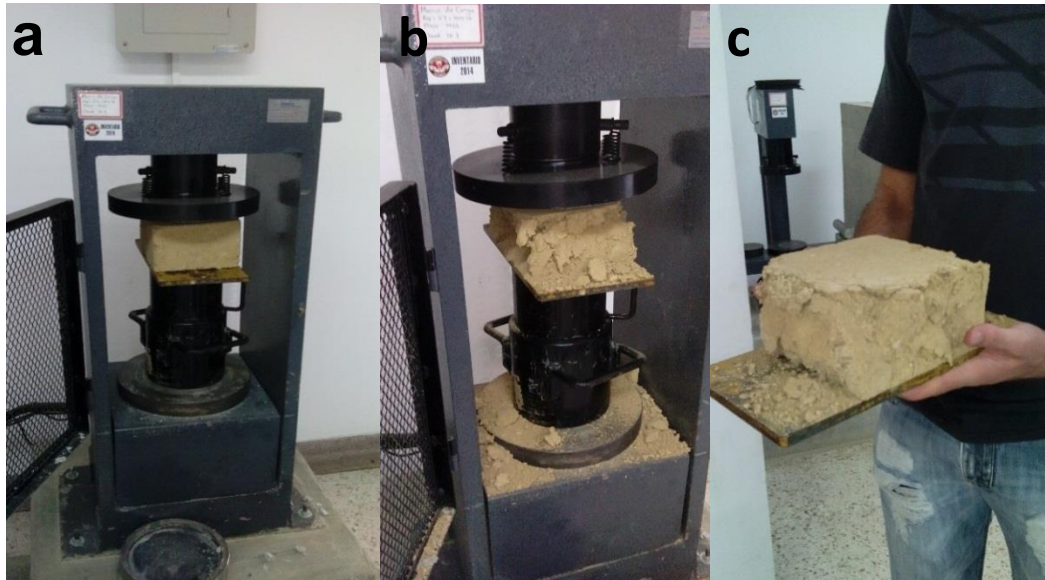


Imagen 17. Ensayo a la compresión a bloques individuales  
a) Ensayo a compresión BTC. b) Ensayo a compresión (BTC después de la falla). c) Estado del BTC posterior al ensayo.  
Fuente propia

### 2.2.6 Sexta fase: Elaboración de posibles pegas a utilizar como morteros (alternativas) y ensayos de resistencia a la compresión de los BTC incluyendo el mortero.

Lo que se pretende en esta fase, es determinar cuál es la mejor opción de pega a utilizar para la futura elaboración de los muretes (Ver *Imagen 18. Elaboración de morteros*); para evaluar las posibilidades, se plantean dos opciones:

**Opción N° 1:** Mortero simple, en relación 1:4

**Opción N° 2:** Mortero simple + suelo (con el que se fabricaron los bloques), en relación 0.4:4:0.6

A continuación, se muestra un ejemplo de las dosificaciones que se tuvieron en cuenta para las dos opciones:

**Opción N° 1** → Cemento: 1.25 Kg

Arena: 5 Kg

Agua: 1 Litro

**Opción N° 2** → Cemento: 0.5 Kg

Suelo: 0.75 Kg

Arena: 5 Kg

Agua: 1 Litro

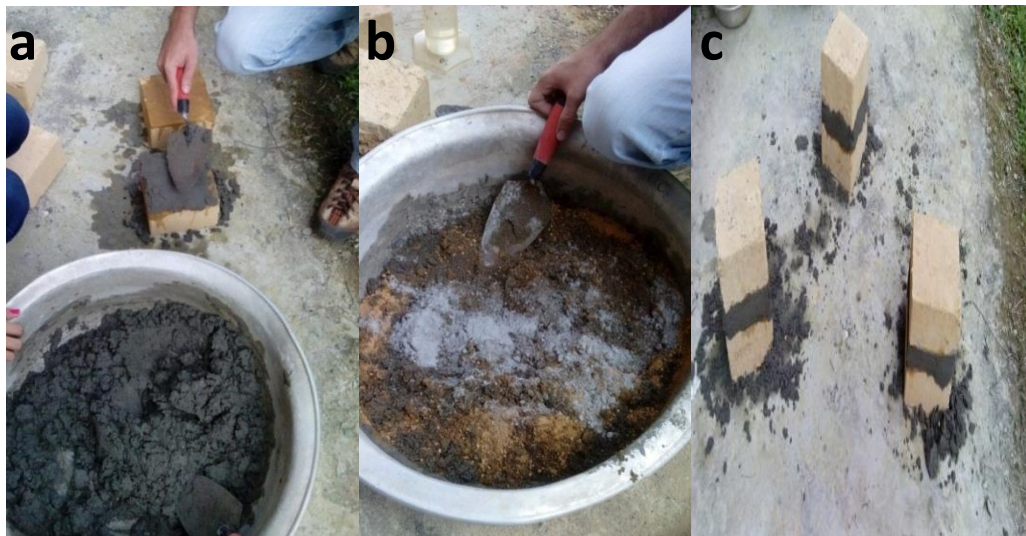


Imagen 18. Elaboración de morteros

a) Mezcla de cemento, arena para pega (opción 1). b) Mezcla de cemento, arena y suelo para pega (opción 2). c) Pares de BTC con el mortero.

Fuente propia

Para cada una de las opciones se toman tres pares de bloques, teniendo de esta manera la posibilidad de llevar a cabo tres repeticiones del ensayo de compresión para cada tipo de pega. Es importante resaltar que los ensayos se llevaron a cabo

de la siguiente manera: dos repeticiones teniendo la pega en sentido vertical y la otra en sentido horizontal como se muestra en la *Imagen 19. Sentido del mortero*; poniendo a prueba no solo la resistencia a compresión de los bloques, sino la adherencia del mortero a estos (Ver *Imagen 20. Ensayo de compresión y adherencia de los bloques y el mortero*).

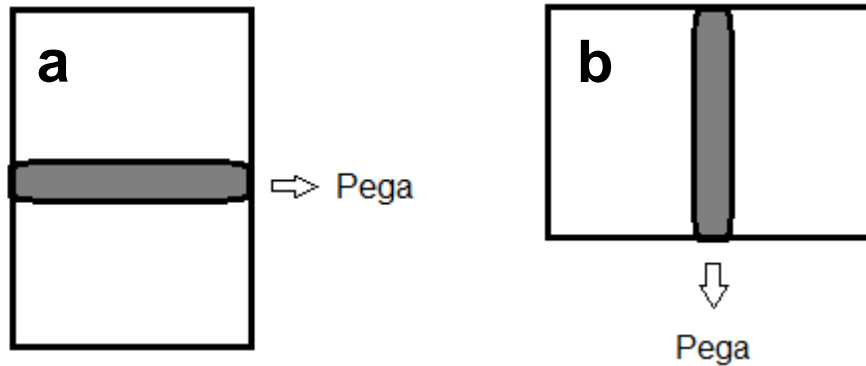


Imagen 19. Sentido del mortero  
a) Pega en sentido horizontal. b) Pega en sentido vertical.  
Fuente propia

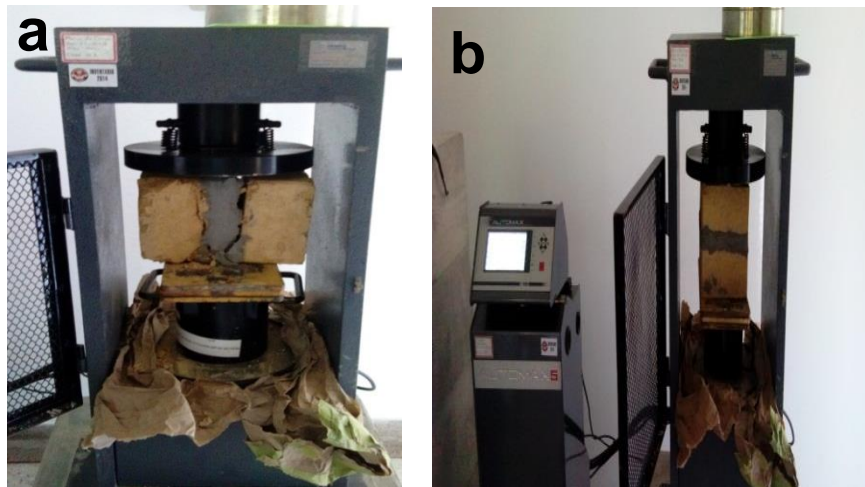


Imagen 20. Ensayo de compresión y adherencia de los bloques y el mortero  
a) Ensayo a compresión (pega en sentido vertical) b) Ensayo a compresión (pega en sentido horizontal).  
Fuente propia

### 2.2.7 Séptima fase: Elaboración de muretes y pruebas de resistencia a la compresión de los mismos.

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 3495 establece que los “muretes se deben construir sobre una superficie plana y nivelada, en un lugar tal que puedan permanecer sin ser perturbados, hasta que sean transportados para su ensayo”; indica además que “los muretes se deben construir con las unidades de mampostería apiladas en hilera”<sup>32</sup>.

Se determina además que los muretes estarán conformados por tres bloques completos; esto, según lo establecido en el título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR - 10), donde se tiene que:

“Los muretes deben tener un mínimo de 300 mm de altura (Ver *Imagen 21. Dimensiones de los muretes*). El ancho y el tipo de construcción deben ser representativos del tipo de mampostería que se va a utilizar en la construcción.”<sup>35</sup>

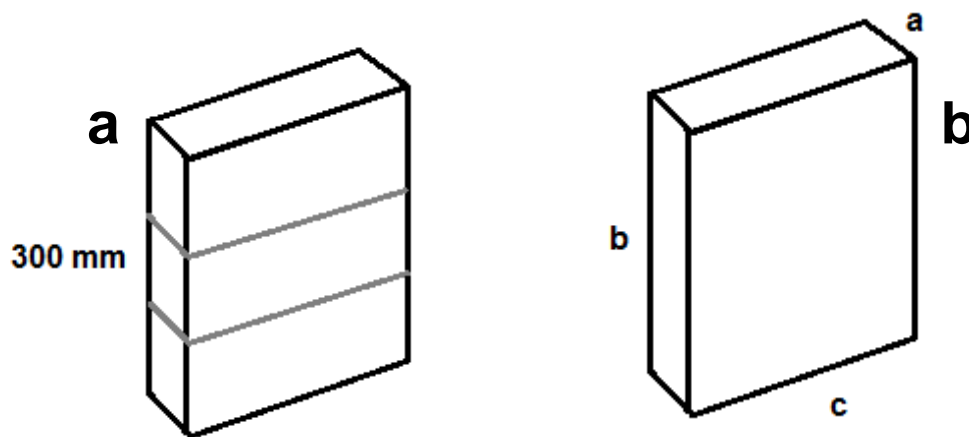


Imagen 21. Dimensiones de los muretes  
a) Esquema de estructura de los muretes. b) Dimensiones conocidas de los muretes.  
Fuente propia

Nota: La altura de los bloques se encuentra entre 90 mm y 100 mm aproximadamente, por lo cual considerando también el grosor de las pegas de 15 mm cada una, se tiene que los muretes cumplen con la altura mínima establecida en la norma.



Se construyen entonces 10 muretes según lo establecido anteriormente (Ver *Imagen 22. Elaboración de muretes y ensayo de resistencia a la compresión*). Para cada uno de éstos se toman las dimensiones según el esquema presentado, (los valores se indican en la *Tabla 05. Ensayos de resistencia a compresión de los muretes*).

Se procede entonces a realizar los ensayos de resistencia a la compresión de cada uno de los muretes.

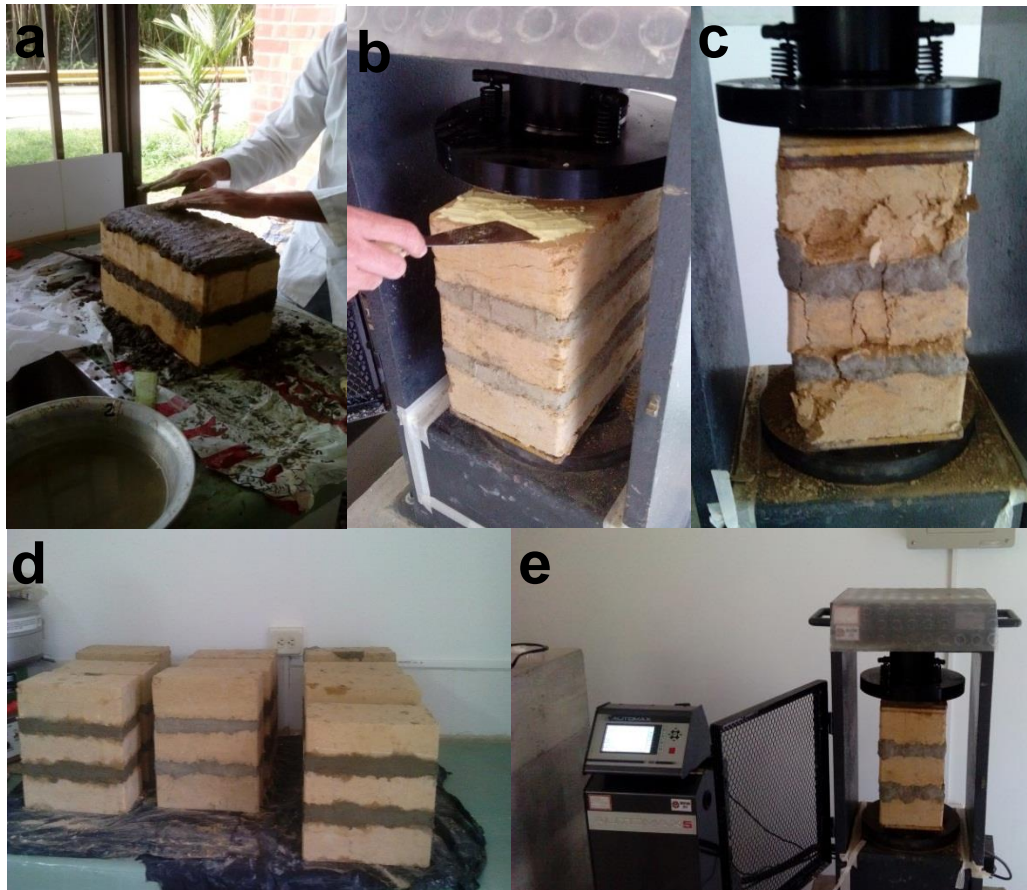


Imagen 22. Elaboración de muretes y ensayo de resistencia a la compresión  
a) Elaboración de muretes. b) Se agrega azufre para eliminar posibles "luces". c) Estado de murete después de la falla. d) Diez muretes elaborados (las juntas de los muretes son de 1,5cm o 2cm). e) Ensayo de compresión de los muretes.

Fuente propia

**CAPÍTULO 3**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

En el presente capítulo, la principal finalidad es exponer de manera concisa aspectos relevantes referentes a los resultados conocidos de los ensayos de laboratorio efectuados, las pruebas fundamentales para el desarrollo de la investigación y procedimientos indirectos que revisten gran importancia en cada etapa de la misma.

A continuación se describen los resultados obtenidos en las fases de la metodología presentada para el cumplimiento de los objetivos; los registros de los laboratorios de clasificación del suelo, se encuentran en el capítulo 5 (Anexos).

### **3.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**

Como se planteó en el capítulo 2 (Metodología y fases del proyecto), una de las etapas que revistió gran importancia para el correcto desarrollo del proceso investigativo, fue la que comprendía la realización de todos los ensayos de laboratorio para llevar a cabo la caracterización del suelo que se extrajo para la realización de los BTC.

#### **3.1.1 Ensayo de Límites de Atterberg**

En primer lugar, por medio de la ejecución del ensayo de límites de Atterberg, el cual permite caracterizar el comportamiento de los suelos finos, teniendo en consideración factores como la cohesión y el contenido de humedad, fue posible determinar que:

- El límite líquido (LL) del suelo es del **56.15%**.
- El límite plástico (LP) del suelo del **48.6%**.

De esta manera, se establece entonces que el índice de plasticidad del suelo es del 7.55%, lo cual permite afirmar que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transformaría de semisólido a la condición de líquido, es decir, resultaría muy sensible a los cambios de humedad.

Conociendo entonces estas características del suelo, se concluye de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos, que éste es un **Limo de alta plasticidad (MH)**.

### 3.1.2 Ensayo de Gravedad Específica

Del ensayo de gravedad específica, es decir, la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada, y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas a la misma temperatura<sup>37</sup>; se llevaron a cabo tres repeticiones (Ver anexo B). Los resultados obtenidos son:

- **GS<sub>1</sub> = 2.39**
- **GS<sub>2</sub> = 2.45**
- **GS<sub>3</sub> = 2.32**

Considerando que el material presente en la zona de donde se obtuvo el suelo con el cual se trabajó esta investigación, tiene un valor característico de gravedad específica correspondiente a 2.50, se procede a escoger el valor más cercano a éste, para trabajar durante los siguientes laboratorios; por lo tanto el valor de gravedad específica escogido fue el de 2.45, obtenido en el segundo ensayo.

En resumen, algunas de las características del suelo son:

	Parámetro	Unidad	Valor	
<b>Caracterización del suelo</b>	Límite líquido	%	56.15	Clasificación: Limo de alta plasticidad (MH)
	Límite Plástico	%	48.6	
	Índice de plasticidad	%	7.55	
	Gravedad específica		2.45	
	Humedad óptima	%	50.42	

Tabla 02. Resumen ensayo de caracterización

<sup>37</sup> CRUZ VELASCO, Lucio Gerardo. Mecánica de suelos I (Geotecnología). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca.

### **3.1.3 Análisis granulométrico de suelos por tamizado**

Siendo el objetivo principal de esta sub – etapa, la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del suelo, fue posible observar por medio de la ejecución de los ensayos de lavado por tamizado donde se separaron las partículas finas de la muestra y granulometría posterior al lavado, que alrededor del 50% del material pasa por el tamiz No 100, que corresponde al penúltimo en orden descendente según los tamices utilizados para el ensayo (Ver anexo D), teniendo que:

- Por los tamices No 4 (4.75 mm), No 10 (2 mm), No 20 (0.85 mm), No 40 (0.43 mm) pasa el 100% del material.
- Por el tamiz No 80 (0.18 mm) pasa el 67.3% del material.
- Por el tamiz No 100 (0.15 mm) pasa el 46.15% del material.
- Por el tamiz No 200 (0.075 mm) no pasa material.

### **3.1.4 Ensayo de Hidrómetro**

Con el fin de determinar el porcentaje de limos y arcillas presentes en el suelo con el que se han elaborado los BTC, se llevó a cabo el proceso de sedimentación de dicho material en suspensión en un líquido (defloculante) para determinar de esta manera la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo, y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media.

El objetivo principal del ensayo del hidrómetro es obtener el porcentaje de arcilla (porcentaje más fino que 0.002 mm) ya que la curva de distribución granulométrica cuando más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200 no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos. El resultado obtenido se muestra en el siguiente gráfico:

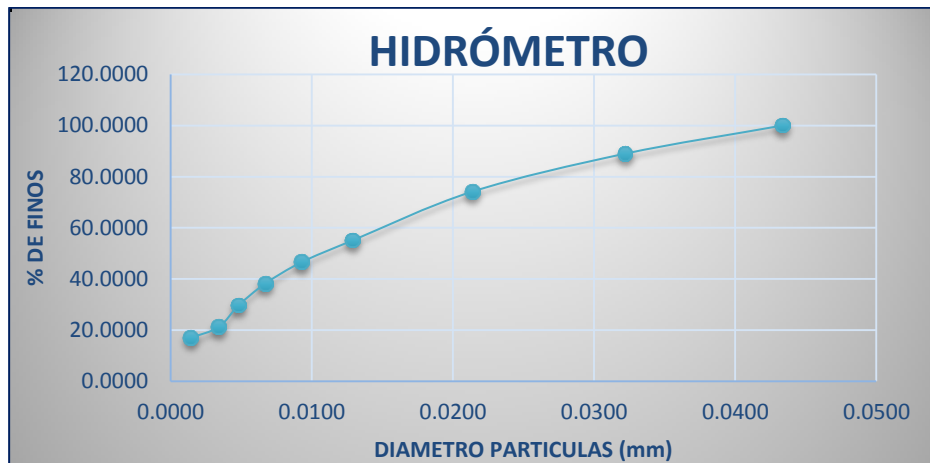


Gráfico 01. Resultado ensayo del hidrómetro

### 3.1.5 Ensayo de Proctor Modificado

Por medio del ensayo de proctor modificado es posible determinar la compactación máxima de un terreno en relación con su grado de humedad; dicho parámetro debe determinarse llevando a cabo el ensayo en repetidas oportunidades, pretendiendo tener valores que garanticen un comportamiento adecuado de la curva “densidad - humedad”. De esta manera, como se indica en el gráfico 02, fue posible determinar que la humedad óptima del suelo es del orden del 50%, confirmándose posteriormente con la realización del ensayo de proctor modificado empleando en la mezcla los aditivos básicos de la investigación (cal y cartón), cuando se estableció que la humedad óptima es del **50.42%**.

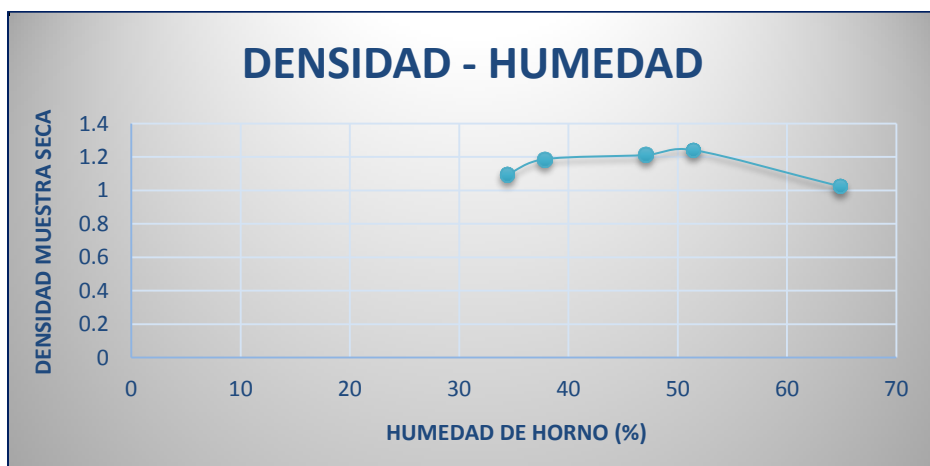


Gráfico 02. Relación densidad de muestra y humedad (Proctor Modificado)

## 3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN BTC Y MURETES

Es de gran importancia tener presente que el objetivo principal de toda la investigación ha sido determinar la resistencia de muretes elaborados con los bloques mencionados anteriormente; sin embargo, intrínsecamente, un objetivo que representa también una importancia enorme en la presente investigación, es mostrar a quienes les competa o interese, un punto de partida bien fundamentado sobre nuevas técnicas de construcción que represente inversiones pequeñas pero resultados de calidad y óptimos.

### 3.2.1 Ensayos de absorción

El resultado de la **prueba 1** del ensayo de absorción, descrita en el capítulo de metodología, la cual se basa en la inmersión en agua de los bloques, encontrándose en su estado natural, se muestra a continuación:

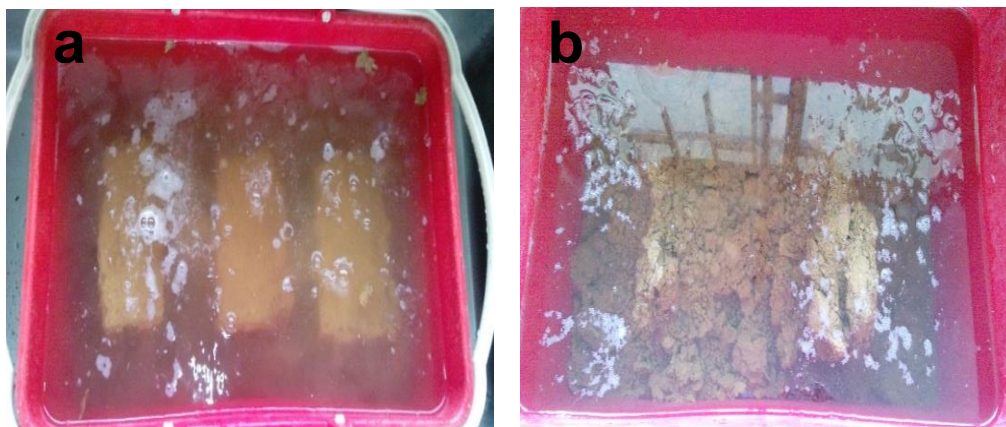


Imagen 23. Ensayo de absorción. Prueba 1  
a) BTC sumergidos en agua. b) BTC sumergidos en agua (24 horas después).  
Fuente propia

Los bloques no muestran un buen comportamiento estando sumergidos en el agua, pues 24 horas después, éstos han perdido su forma en un porcentaje importante tal como se muestra en la *Imagen 23. Ensayo de absorción. Prueba 1*.

Como se indicó en la metodología para la realización del ensayo, una solución considerada viable para evitar elevados niveles de absorción de agua, ha sido la aplicación de un producto impermeabilizante (**prueba 2**); el resultado obtenido se describe enseguida.

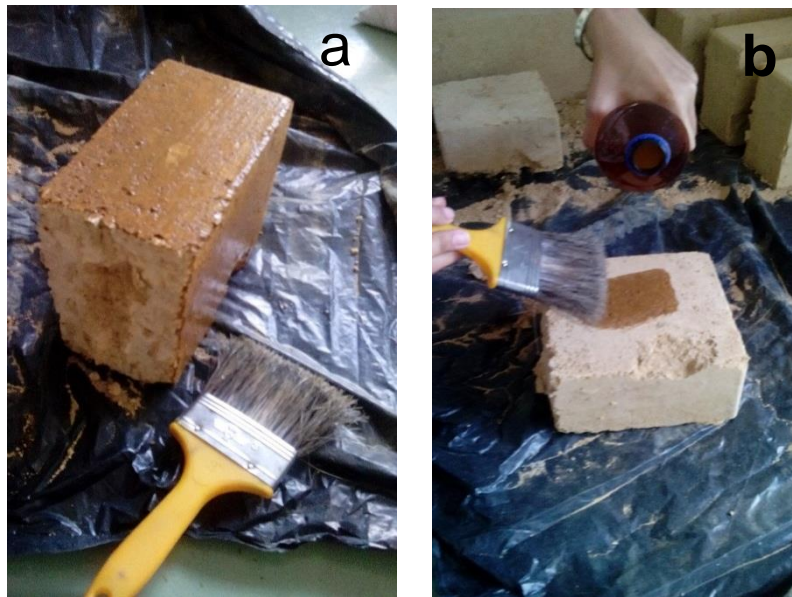


Imagen 24. Ensayo de absorción. Prueba 2

a) Aplicación de producto impermeabilizante. b) BTC recubierto con producto impermeabilizante.  
Fuente propia

Después de haber dejado los bloques sumergidos durante 24 horas, se observa que su estructura se ha deteriorado pero no de la misma manera como en la primera prueba, por lo cual es posible afirmar que el producto aplicado si evita en cierta medida la absorción de tan altos porcentajes de agua por los bloques.

Según lo señalado en la descripción de la **prueba 3** para el ensayo de absorción, una medida que se consideró apropiada para evitar por parte de los bloques, la absorción de una gran cantidad de agua, fue la elaboración de un mortero para el recubrimiento de los BTC; los resultados de esta última alternativa, se describen a continuación.





Imagen 25. Ensayo de absorción. Prueba 3

a) Proceso de recubrimiento del BTC. b) BTC completamente recubierto. c) BTC sumergido en agua. d) Estado del BTC al sacarse del agua 24 horas después.

Fuente propia

Por medio del recubrimiento hecho al bloque de tierra de comprimida, fue posible evitar la filtración de la misma cantidad de agua que se presentaba en las pruebas anteriores. Como se observa en la imagen, aunque aparecieron algunas grietas en el BTC, la estructura de éste al hallarse sumergido, se encontraba intacta; sin embargo después de manipular el bloque, éste sufrió un cambio evidente en su estructura, al punto de desmoronarse. Por esta razón, se advierte que las medidas tomadas para evitar los elevados niveles de absorción, no fueron suficientes para contrarrestar este fenómeno.

Referente a la realización de los ensayos de absorción efectuados a los BTC, es necesario decir que en cada una de las variaciones existentes en cuanto a la manera como se realizaron las pruebas, el porcentaje de experimentación es muy alto, es decir, las técnicas o métodos empleados en busca de la obtención de resultados alentadores en este ensayo, se basaron precisamente en la lógica que se tiene sobre el resultado buscado; sin embargo, como ya se ha descrito

previamente, aunque existieron mejorías a medida que se adoptaron nuevas medidas para el ensayo de absorción, los resultados obtenidos no fueron los esperados, pues en términos generales los bloques absorbieron una gran cantidad de agua, lo cual alteraba considerablemente su estructura.

Para concluir lo concerniente al tema de la absorción se quiere hacer especial énfasis en que a pesar de que los resultados obtenidos no fueron en su totalidad los esperados, sí se entrega en el presente escrito, que es a su vez el resumen de la investigación llevada a cabo, las especificaciones en detalle de todo el proceso de experimentación el cual incluye por supuesto las diferentes soluciones que intentaron darse a la gran cantidad de agua absorbida por los BTC; siendo necesario además, aclarar que este impasse no puede significar el fracaso de la investigación, sino por el contrario debe representar un nuevo punto de partida para quienes asuman el reto de perfeccionar lo concerniente a una nueva técnica de construcción económica y simplista.

### **3.2.2 Pruebas de resistencia a la compresión de los bloques individuales**

Si bien es cierto que el objetivo principal de la investigación es la determinación de la resistencia a la compresión de los muretes fabricados con BTC, es fundamental previamente, conocer la resistencia individual de los bloques, antes de probarlos actuando como un solo conjunto; de esta manera es posible obtener información básica que brinde certeza sobre la viabilidad de los procedimientos y pruebas efectuadas.

Se muestra a continuación la resistencia a la compresión registrada al probar individualmente los BTC. Se observan diferencias en la relación entre el peso de los bloques y su resistencia, es decir, no es posible tener total claridad sobre la tendencia de los resultados del ensayo y el peso conocido de cada uno de los bloques; el origen de esta situación puede estar en el proceso de fabricación de los BTC, específicamente se hace referencia a la cantidad de cartón que se encuentra en la mezcla con la que se elaboraron los bloques, pues aunque los porcentajes de los aditivos siempre se han tenido establecidos y en la elaboración de las mezclas se han tenido en cuenta las proporciones calculadas, este material hace que dichas mezclas no sean homogéneas y por supuesto, la cantidad presente en cada BTC podría ser ligeramente diferente.

Por lo planteado, se quiere hacer claridad en que según sea la cantidad de “trozos” de cartón presentes en cada uno de los bloques, así serán los puntos por donde podrían tener origen grietas y fisuras, que al momento de efectuar el ensayo de resistencia a la compresión provocarían variaciones en los resultados, tal como se observa en la siguiente tabla:

Ensayo N°	Peso (Kg)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	2.028	0.89
2	1.797	0.877
3	1.928	1.152
Promedio		0.973

Tabla 03. Resultados de ensayos individuales a compresión

### 3.2.3 Pruebas de resistencia a la compresión de los BTC incluyendo el mortero

La realización de los ensayos de resistencia a la compresión a los bloques sujetos entre sí por medio del mortero (sea tipo 1 o tipo 2), contempla dos propósitos; el primero, conocer por supuesto el valor de la resistencia de los BTC y el segundo, observar el comportamiento de los bloques al actuar en conjunto, es decir, observar si la falla durante el ensayo se presentaba justo por donde se encuentra el mortero o en la superficie de los BTC y de esta manera concluir además cuál de los dos tipos de mortero, representaba mayor adherencia entre los bloques.

Los datos obtenidos permiten afirmar que para los dos tipos de mortero, la resistencia a la compresión es mayor cuando los bloques se ubican de tal manera que la junta se encuentra en sentido horizontal, lo cual es de gran importancia, pues para la fabricación de los muretes, los BTC se apilan de la misma manera.

En el caso contrario, es decir, cuando la junta se halla en sentido vertical, la resistencia registrada es aproximadamente un 40% menor que la obtenida cuando la junta se encuentra de forma horizontal, esto debido a que la transmisión de los esfuerzos varía ampliamente gracias a la “unión” entre los bloques y el mortero (Ver *Tabla 04. Resistencia a la compresión (prueba de las pegas)*), lo cual representa una disminución en la capacidad de resistir la fuerza aplicada y el

aumento de la posibilidad de que se presente la falla por las zonas que se consideran débiles, en este caso, las zonas de unión.

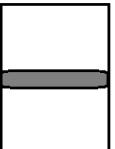
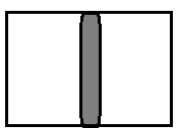
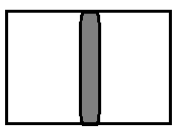
	Resistencia a la compresión (Mpa)	
	Opción N° 1 (Mortero simple)	Opción N° 2 (Mortero simple + Suelo)
	0.881	0.715
	0.455	0.580
	0.398	0.570

Tabla 04. Resistencia a la compresión (prueba de las pegas)

Se presenta a continuación un gráfico comparativo de los valores de la resistencia a la compresión obtenidos, según el tipo de mortero empleado:

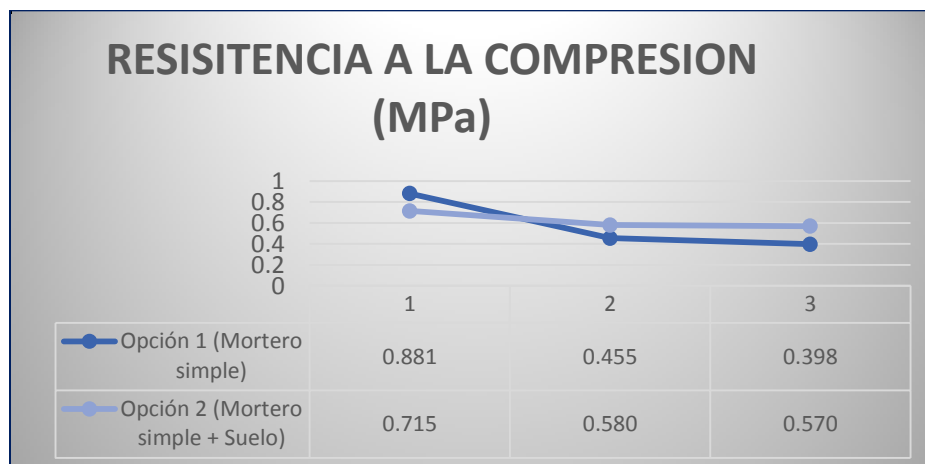


Gráfico 03. Resistencia según tipo de mortero (Comparación)

### 3.2.4 Pruebas de resistencia a la compresión de los muretes

Los ensayos de resistencia efectuados a los muretes representan el logro del objetivo principal de la investigación, es decir, la determinación de la capacidad de resistir esfuerzos de compresión.

De las pruebas realizadas es posible afirmar que:

No existe disminución en los valores registrados en comparación a los obtenidos en los ensayos de los BTC con el mortero; por el contrario, los datos registrados muestran un aumento del 43% aproximadamente (*Ver Tabla 05. Ensayos de resistencia a compresión de los muretes*).

Las variaciones de la resistencia respecto a las densidades de los BTC, revelan que la tendencia es que cuanto mayor sea el valor de la densidad, mayor será la capacidad de resistir los esfuerzos de compresión, este comportamiento se puede visualizar en el *Gráfico 05. Relación Densidad - Resistencia (Ensayo a muretes)*.

Es mayor la resistencia a la compresión cuanto mayor es el peso del bloque (*Ver Gráfico 04. Relación Peso- Resistencia (Ensayo a muretes)*); lo cual confirma lo planteado respecto a los valores de las densidades, pues entre más peso se tenga, mayor será la densidad.

	<b>Murete # 1</b>	<b>Murete # 2</b>	<b>Murete # 3</b>	<b>Murete # 4</b>	<b>Murete # 5</b>	<b>Murete # 6</b>	<b>Murete # 7</b>	<b>Murete # 8</b>	<b>Murete # 9</b>	<b>Murete # 10</b>
<b>a (cm)</b>	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
<b>b (cm)</b>	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
<b>c (cm)</b>	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.0	29.0
<b>Peso (Kg)</b>	13.526	13.808	14.017	14.550	14.577	14.616	14.881	14.926	15.161	15.373
<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.0189	1.0402	1.0559	1.0960	1.0981	1.1010	1.1210	1.1244	1.1618	1.1780
<b>Resistencia (Mpa)</b>	0.76	1.04	1.04	1.10	1.24	1.18	1.18	1.44	1.70	1.92

Tabla 05. Ensayos de resistencia a compresión de los muretes



Gráfico 04. Relación Peso- Resistencia (Ensayo a muretes)

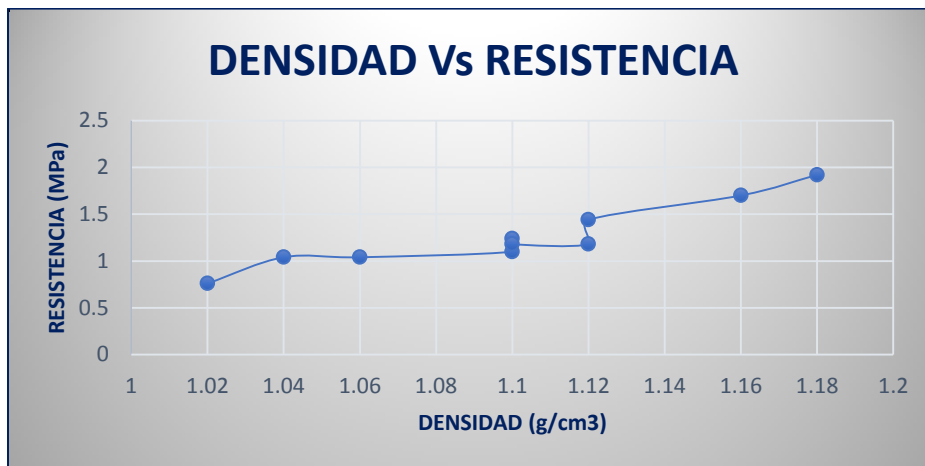


Gráfico 05. Relación Densidad - Resistencia (Ensayo a muretes)

Es importante resaltar que las pruebas finales realizadas a los muretes constituidos por los BTC, arrojaron resultados que permiten tener un argumento clave para continuar considerando esta técnica de construcción de muros no estructurales en futuros escenarios, esto, pues dichos resultados se asemejan a los conocidos según estándares internacionales publicados a partir de la experimentación con materiales no convencionales y técnicas de poca complejidad pero que a su vez se han desarrollado con los requerimientos científicos necesarios.

### 3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN COMPARACIÓN CON INVESTIGACIONES RELACIONADAS

	<b>Investigación "Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento. Aportación al ahorro energético". Autor: Fernando Galíndez <sup>14</sup></b>	<b>Resultados obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	0.785	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	0.4	0.48
<b>Tipo de suelo</b>	Arena arcillosa de mediana plasticidad	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Límite líquido %</b>	33.1	56.15
<b>Límite plástico %</b>	19.72	48.6
<b>Índice de plasticidad</b>	13.38	7.55

Tabla 06. Comparación de resultados con investigación relacionada (1)

A partir de la proposición del autor, de estudiar el comportamiento de un material alternativo (bloque de tierra cruda comprimida sin adición de cemento o BTC) para la construcción de muros, es posible observar que aunque los tipos de suelo de la investigación de referencia y la actual son de características diferentes, los valores obtenidos de parámetros relevantes como densidad y resistencia a la compresión son similares; lo anterior teniendo en consideración que para la elaboración de los bloques en ambos casos no se empleó cemento.



	Investigación "Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba". Autores: Saroza / Rodríguez / Menéndez / Barroso <sup>18</sup>	Resultados Obtenidos
<b>Resistencia (Mpa)</b>	1.4	0.973
<b>Materiales utilizados para la fabricación del adobe</b>	Grava, arena, limo, arcilla	Suelo derivado de cenizas volcánicas, cartón y cal
<b>Tipo de Suelo</b>	Arena arcillosa	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Límite Líquido (%)</b>	37.03	56.15
<b>Límite Plástico (%)</b>	21.86	48.6
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	15.17	7.55

Tabla 07. Comparación de resultados con investigación relacionada (2)

Es posible afirmar que el valor obtenido de la resistencia a la compresión en la investigación de referencia es mayor, por dos razones fundamentales: en primer lugar, por tratarse de un suelo con un porcentaje de arcilla considerablemente alto y en segundo lugar, por la adición de arena a la mezcla con la que se fabricaron los bloques.

**Nota:** No se utilizó cemento para la fabricación de los bloques en la investigación de referencia.

	<b>Investigación "Resistencia sísmica del suelo - cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica". Autores: Barros / Imhoff <sup>19</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	2.3	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.91	0.48
<b>Humedad óptima %</b>	12	50.42
<b>Tipo o composición del Suelo</b>	70% arena, 12% limo y 18% arcilla	Limo de alta plasticidad (MH)

Tabla 08. Comparación de resultados con investigación relacionada (3)

El desarrollo y evaluación de un sistema constructivo – estructural a partir de un material conocido como suelo – cemento, permite identificar que al fabricar bloques de tierra teniendo como base tierra cruda y la adición de cemento como estabilizante, se obtienen valores mucho más altos de la resistencia a la compresión de los mismos. Las características del tipo de suelo permiten afirmar que cuando el porcentaje de arcillas predomina sobre el porcentaje de limos, es posible que los bloques fabricados tengan un mejor comportamiento estructural. En la investigación de referencia el valor conocido de la densidad es más alto, pues la composición de los bloques tiene gran variación en comparación a la actual por los aditivos empleados.

	Investigación "Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez". Autores: Alejandro Ruíz Sibaja / Francisco Vidal Sánchez <sup>20</sup>	Resultados Obtenidos
Resistencia (Mpa)	2.47	0.973
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	0.48

Tabla 09. Comparación de resultados con investigación relacionada (4)

Aunque en la investigación de Ruíz y Vidal, los adobes fabricados son de características similares a los BTC de la investigación actual, los primeros arrojan un valor mayor de la resistencia a la compresión ya que además de tener el suelo un alto porcentaje de arcillas, a éste se le ha adicionado hule de espuma; esta consideración por parte de los autores se adoptó pues tenían conocimiento de que a partir del aditivo mencionado es posible lograr una mejor distribución de las fuerzas a compresión. Los valores de densidad varían a raíz del tipo de mezclas elaboradas.

**Nota:** En ninguna de las dos investigaciones se utilizó cemento para la fabricación de los bloques.

	<b>Investigación "Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales". Autores: Rubén Roux / José Adán Espuna<sup>21</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	2.06 (Con 1% de fibra de coco)	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.94	0.48
<b>Peso (Kg)</b>	2.5	1.92
<b>Límite líquido %</b>	45	56.15
<b>Límite plástico %</b>	18	48.6
<b>Tipo de suelo</b>	CL	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Dimensiones BTC (cm)</b>	29 x 14 x 10	29 x 15 x 9

Tabla 10. Comparación de resultados con investigación relacionada (5)

El objetivo principal en la investigación de Roux y Espuna, ha sido establecer si por medio de la adición de fibra de coco a la mezcla con la que se fabrican los bloques de tierra comprimida además del porcentaje de cemento Portland contenido en la misma, es posible obtener valores de resistencia a la compresión más altos. En este orden de ideas ha sido posible observar que con la ayuda de los aditivos mencionados si es posible obtener mayor resistencia que si se tratase de bloques fabricados con tierra cruda sin material cementante. Los valores de densidad y peso varían a partir de la composición de las mezclas.

	<b>Investigación "Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida". Autores: Luis Maldonado / Francisco Castilla / Fernando Vela <sup>17</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	1.7	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	0.95	0.48
<b>Tipo de suelo</b>	Limo de alta plasticidad	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Tipo de pega</b>	Mortero de cemento (1:2)	Mortero + Suelo

Tabla 11. Comparación de resultados con investigación relacionada (6)

Pretendiendo demostrar que los sistemas tradicionales de construcción de tierra ofrecen un mejor rendimiento energético y confort climático, los autores de la investigación de referencia exponen cómo por medio de la adición de cemento y/o un alto porcentaje de cal, es posible incrementar la resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida. Aunque el tipo de suelo de ambas investigaciones es el mismo, los valores de la densidad varían debido a los porcentajes de los aditivos en la mezcla.

	<b>Investigación "Construcción con tierra en el siglo XXI". Autores: Bestraten / Hormías / Altemir <sup>13</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	2.2	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.32	0.48
<b>Peso (Kg)</b>	2.7	1.92
<b>Tipo de suelo</b>	Limo arcilloso de alta plasticidad	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Dimensiones BTC (cm)</b>	28 x 14 x 9.5	29 x 15 x 9

Tabla 12. Comparación de resultados con investigación relacionada (7)

El valor de la resistencia a la compresión obtenido en la investigación de referencia, es más alto que el obtenido en la actual, gracias a los aditivos empleados para la fabricación de los BTC (cal y /o cemento en pequeñas proporciones). Por el tipo de suelo utilizado en la investigación de Bestraten, el cual posee un mayor porcentaje de arcilla, y por los aditivos mencionados, es que los valores de densidad y peso son más altos, aun cuando las dimensiones de los bloques en comparación no son muy diferentes.

	<b>Investigación “Adobes comprimidos suelo – materiales reciclables una alternativa ecológica”.</b> <b>Autora: Mónica Andrea Arenas Castaño <sup>40</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	3.79	0.973
<b>Tipo de bloque</b>	BTC (Bloque de tierra comprimida)	BTC (Bloque de tierra comprimida)
<b>Tipo de suelo</b>	Arcilloso en un 38% aproximadamente	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Aditivo</b>	5% de Cartón	2% de Cal. 5% de Cartón.

Tabla 13. Comparación de resultados con investigación relacionada (8)

En la investigación llevada a cabo por la autora, el tipo de suelo empleado para la fabricación de los bloques de tierra comprimida es de tipo arcilloso, lo cual permite comprobar al comparar los resultados de la resistencia a la compresión, que resulta ser más conveniente para la fabricación de los bloques, un suelo con mayor contenido de arcilla en lugar de uno con un alto porcentaje de limos.

	<b>Investigación "Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción". Autor: María Laguna <sup>8</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	8.06	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.83	0.48
<b>Tipo y/o composición del suelo</b>	Marga gris + Cemento + Cal Hidráulica + Cascaras de arroz	Limo de alta plasticidad (MH)

Tabla 14. Comparación de resultados con investigación relacionada (9)

Tomando como punto de partida el bloque de tierra comprimida tradicional, la autora de la investigación mencionada propone la elaboración de los BTC a partir de un nuevo material constructivo que pueda sustituir a ladrillo convencional cocido. Este material caracterizado por contener aditivos tales como: cal hidráulica, cemento y cascaras de arroz, permite que los bloques fabricados tengan un valor muy alto de la resistencia a la compresión.

	<b>Investigación "Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado". Autores: Valentín Morales / Margarito Ortiz / Rafael Alavéz<sup>9</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	6.7	0.973
<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.95	0.48
<b>Peso (Kg)</b>	7.682	1.92
<b>Tipo de Suelo</b>	Arena arcillosa	Limo de alta plasticidad (MH)
<b>Tipo de Pega</b>	Morteros 1:2 y 1:3	Mortero 1:4 y Mortero + Suelo
<b>Límite Líquido (%)</b>	23.3	56.15
<b>Límite Plástico (%)</b>	15.8	48.6
<b>Índice de plasticidad (%)</b>	7.5	7.55

Tabla 15. Comparación de resultados con investigación relacionada (10)

Para el desarrollo de la investigación de referencia, los autores elaboraron diversas series de bloque de tierra comprimida con diferentes porcentajes de cemento (entre el 2% y el 16% en peso); es por esta razón que se obtuvieron elevados valores de la resistencia a la compresión, así como de densidad y peso.



	<b>Ladrillo Común "Bloque hueco cuadrado"</b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	2.95	0.973
<b>Peso (Kg)</b>	5.8	1.92
<b>Dimensiones (cm)</b>	30 x 20 x 10	29 x 15 x 9
<b>Costo \$</b>	780	1750

Tabla 16. Resultados obtenidos vs características de ladrillo farol.

Por tratarse de una unidad que ha sido sometida a procesos industriales como cocción, entre otros, es que el ladrillo presenta una mayor resistencia a la compresión y mayor peso respecto al bloque de tierra comprimida.

	<b>NTC 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega <sup>33</sup></b>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	2.0 a 6.0	0.973
<b>Tipo de bloque</b>	BSC (Bloque de suelo cemento)	BTC (Bloque de tierra comprimida)

Tabla 17. Comparación de resultados con Norma Técnica Colombiana 5324

Considerando que los bloques referenciados en la Norma Técnica Colombiana 5324 han sido fabricados a partir de suelo cemento, mientras que los BTC de la investigación actual son tradicionales (sin adición de cemento), los valores de la resistencia a la compresión tienden por supuesto a ser más elevados en el primer caso.

	<b>NTC 4205. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos</b> <sup>34</sup>	<b>Resultados Obtenidos</b>
<b>Resistencia (Mpa)</b>	10.0	0.973
<b>Tipo de bloque</b>	Unidad de mampostería de arcilla cocida, ladrillo y/o bloque cerámico	BTC (Bloque de tierra comprimida)

Tabla 18. Comparación de resultados con Norma Técnica Colombiana 4205

Ya que las unidades de mampostería descritas en la Norma Técnica Colombiana 4205 han sido sometidas a procesos industriales, éstas presentan valores de resistencia a la compresión muy altos respecto a los bloques de tierra comprimida tradicionales.

### 3.4 COSTOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN BTC

Se presenta a continuación un listado general de los materiales y actividades que representan una inversión monetaria para la elaboración de un BTC.

Costo de fabricación de un BTC				
Material y/o Actividad	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Cartón	Kg	130	0.1	13
Agua	Lt	1.32	1	1.32
Cal	Lb	650	0.176	114
Mano de obra	Hr	3000	0.05	150
Herramienta menor	% M.O		1	15
<b>TOTAL</b>				<b>293.32</b>

Tabla 19. Costos para la elaboración de un BTC

**Nota:** Los valores presentados, corresponden a los costos de fabricación de un solo BTC. El valor de la mano de obra se ha determinado considerando que en una hora es posible elaborar 20 bloques. Para el valor de la herramienta menor, se ha considerado el 10% de la mano de obra. Teniendo en cuenta que la cantidad de suelo empleada para la realización de un solo BTC es muy pequeña, no se tiene en cuenta en los costos, el valor de transporte del material.

Adecuación lugar de secado de los BTC				
Material y/o Actividad	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Guadua L = 5m	UN	5000	2	10000
Puntilla 3"	Lb	1960	1	1960
Plástico negro	m <sup>2</sup>	2000	25	50000
Malla de cerramiento (Color verde)	m <sup>2</sup>	2100	10	21000
Listón sajo de 5 x 3 cm x 2,5 m (varilla)	UN	1300	4	5200
Mano de obra	Hr	3000	3	9000
Herramienta menor	10% MO		--	900
<b>Total</b>				<b>98060</b>

Tabla 20. Costos para adecuación de lugar de secado para los BTC

**Nota:** Los valores presentados corresponden a los costos de construcción de un lugar de secado de 25 m<sup>2</sup> para los bloques de tierra comprimida.

### 3.5 COSTOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN MURETE

Se presenta a continuación un listado general de los materiales y actividades que representan una inversión monetaria para la fabricación de un murete.

Costo de elaboración de un murete				
Material y/o Actividad	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor total
BTC	UN	294	3	882.0
Mortero Tipo 2 (0.4:4:0.6)	UN	456.15	1	456.15
Energía	KW/h	397.71	0.5	198.85
Mano de obra	Hr	3000	0.12	360.0
Herramienta menor	10% MO		--	36.0
<b>Total</b>				<b>1933.0</b>

Tabla 21. Costos para la fabricación de un murete

**Nota:** Los valores presentados corresponden a los costos de fabricación de un murete conformado por tres bloques de tierra comprimida, considerando el mortero de pega.

### 3.6 COSTOS DE FABRICACIÓN DE MORTEROS

Costo mortero simple 1:4				
Material y/o Actividad	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Cemento	Kg	520	1.25	650.0
Arena	Kg	50	5.00	250.0
Agua	Lt	1.32	0.83	1.1
Mano de obra	Hora	3000	0.12	360.0
Herramienta menor	10% M.O		--	36.0
<b>Total</b>				<b>1297.0</b>

Tabla 22. Costos de fabricación mortero simple

Costo mortero simple + suelo 0.4:4:0.6				
Material y/o Actividad	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Valor total
Cemento	Kg	520	0.51	265.2
Arena	Kg	50	5.00	250.0
Agua	Lt	1.32	0.9	1.1
Mano de obra	Hora	3000	0.12	360.0
Herramienta menor	10% M.O		--	36.0
<b>Total</b>				<b>912.3</b>

Tabla 23. Costos de fabricación mortero simple + suelo

**Nota:** Los valores presentados en ambos casos, corresponden a la elaboración del mortero de pega que se requiere para la fabricación de dos muretes (en total  $0.00348 \text{ m}^3$  ( $3480 \text{ cm}^3$ ) aproximadamente).

## **CAPÍTULO 4**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El suelo que se tuvo como material base para cada uno de los ensayos, y por supuesto para la elaboración de los BTC, se clasifica como un limo de alta plasticidad, según el sistema unificado de clasificación de suelos.

Los materiales empleados en la elaboración de las mezclas para la fabricación de los bloques, tales como la cal y el cartón, son los aditivos adecuados para el fin buscado; sin embargo teniendo como referencia los porcentajes establecidos inicialmente (2% de cal y 5% de cartón según el peso del suelo), es posible afirmar que el porcentaje correspondiente a la cal debería ser incrementado, en búsqueda de mejores características mecánicas de los BTC.

Considerado que el proceso de fabricación de los BTC no implica que se genere un consumo energético elevado, es posible afirmar que la contaminación es prácticamente nula, teniendo en cuenta además que el material primario en este proceso es suelo inalterado, teniendo de este modo, un proceso bastante ecológico y muy práctico.

Al momento de llevar a cabo las pruebas de resistencia a la compresión de los bloques, involucrando el mortero como unión entre estos, fue posible observar que después de aplicar la carga y llegar al punto de la falla (rotura por compresión), el mortero que sufrió menos afectaciones fue aquel que contenía además de los materiales comunes (cemento, arena y agua) suelo inalterado, el mismo empleado para la fabricación de los BTC. Es importante aclarar que en estos ensayos, no solo se quiso probar nuevamente la resistencia a compresión de los bloques, sino también observar cuál era el comportamiento de la “pega” al encontrarse sometida a cargas importantes, probando de este modo su capacidad de adherencia, la cual fue satisfactoria, pues aunque los bloques fallaron, no se separaron del mortero.

Si bien es cierto que el comportamiento de los bloques al realizarse los ensayos de absorción, no fue el esperado al implementar algunas técnicas, es importante aclarar que esta situación no representa un impasse imposible de solucionar, por el contrario es necesario mencionar que: después de llevar a cabo diferentes ensayos experimentales en los cuales se pretendió por medio de “soluciones externas” obtener resultados diferentes en las pruebas de absorción, no se dieron escenarios muy diferentes al respecto, es decir, la cantidad de agua absorbida era más de la esperada.



Por lo anterior se concluye que a pesar de que los porcentajes de los aditivos empleados en la fabricación de los adobes (cal y cartón) se determinaron por medio de la experimentación detallada por parte de varios investigadores tal y como lo plantearon en sus escritos, es posible que la solución al problema de la alta absorción tenga su origen en dichas proporciones, especialmente en la cantidad de cal de la mezcla, lo cual implica entonces, como se ha mencionado anteriormente, que el porcentaje de cal deba incrementarse en más del doble, pasando así de un 2% a un 5% aproximadamente.

Resulta ser más conveniente para la fabricación de los bloques de tierra comprimida, emplear un suelo de tipo arcilloso, en lugar de considerar uno con un alto porcentaje de limos, pues cuando el porcentaje de arcillas es más alto, los valores de resistencia a la compresión de los bloques elaborados, tiende a ser mayor. Se recomienda entonces, que el suelo empleado para la elaboración de los BTC, tenga por lo menos un 30% de material arcilloso (se hace esta afirmación teniendo en cuenta los resultados obtenidos en algunas de las investigaciones que se han tenido como referencia).

En la etapa de la realización de los ensayos de laboratorio para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, es importante tener presente que para el ensayo de proctor modificado por ejemplo, deben considerarse contenidos de humedad que garanticen un comportamiento adecuado de la curva en la relación de la densidad seca y la humedad; se recomienda entonces que el mínimo sea del 15% y el máximo para la prueba del 40% aproximadamente.

Para la determinación de los porcentajes de los aditivos para la preparación de las mezclas en el proceso de la elaboración de los bloques, es necesario que los investigadores tengan en cuenta cuál es la función de cada uno de los aditivos, y según las experiencias descritas en este documento, realicen los ajustes necesarios a dichas proporciones con el fin de evitar los impasses que ya se mencionaron; de esta manera, se recomienda entonces que el porcentaje de cal no sea menor al 5%, mientras que el cartón puede emplearse máximo con un 3%.

Ya que la energía eléctrica que demanda la elaboración de los bloques de tierra comprimida tradicionales y la fabricación de los muretes, es mínima o casi nula, es posible afirmar que la posibilidad de continuar considerando la construcción de edificaciones de poca altura a partir de bloques tradicionales de mampostería fabricados con tierra por medio de procesos no industriales, es muy alta, pues esta técnica constructiva se considera amigable con el ambiente, ya que además de no ser una fuente de contaminación ambiental, permite a lo largo del proceso, según

se ha mencionado, tener un gran ahorro energético frente a procesos industrializados actuales para la elaboración de distintas unidades de mampostería.

A lo largo del desarrollo de la investigación, se llevó a cabo permanentemente la búsqueda de documentación que permitiera tener una amplia fundamentación científica para la ejecución de todas las actividades y procesos que demanda el proyecto en cuestión; de esta manera, fue posible hallar un gran número de investigaciones, de autores que alrededor del mundo han considerado la elaboración de unidades de mampostería como los bloques de tierra comprimida y todas sus aplicaciones, por lo cual se considera que la técnica constructiva planteada y detallada, es viable en la actualidad, aun cuando existen grandes industrias que centran sus actividades en la fabricación de unidades de mampostería.

En cuanto a los costos de fabricación de un bloque de tierra comprimida, es necesario resaltar que este valor total es similar al valor comercial de distintas unidades de mampostería que se venden en el mercado. El costo de elaboración de un solo BTC puede tener variaciones si el valor de la mano de obra y por lo tanto de la herramienta menor, disminuye, es decir, si en una hora se fabrica un mayor número de bloques; la experiencia permite afirmar según lo descrito en el capítulo de resultados, que en una hora es posible elaborar mínimo 20 bloques.

Para la elaboración de los bloques y la fabricación de los muretes, ha sido necesario por supuesto, transportar el suelo desde el sitio de donde se ha extraído, hasta el lugar donde se han llevado a cabo los procesos descritos. El valor del transporte se consideró en primera instancia expresarlo en las tablas de costos, en función del valor comercial de un galón de combustible; sin embargo, ya que la cantidad de material utilizado para la fabricación de un BTC representa poco peso, se optó por no considerar dentro de las tablas de costos el valor del transporte de este material. Además, se ha tenido en cuenta que toda la metodología descrita está direccionada principalmente a la elaboración de bloques de tierra comprimida y muretes, cerca o en el mismo lugar de donde se ha extraído el material.

Se recomienda para futuras investigaciones o proyectos que involucren la elaboración de bloques de tierra comprimida, que en lugar de emplear cal como aditivo, se utilice cemento; se hace esta claridad, pues según se ha mencionado, el valor de la cal por kilogramo es aproximadamente el doble que el valor del cemento; además por normatividad, se hace necesario este reemplazo.

**CAPÍTULO 5**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 5.1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. San Salvador, 2001.
- [2] ARANGO, Gilberto. Vivienda de interés social. Colombia, 2001
- [3] MORALES MORALES, Manuel de Jesús. Construcción de viviendas con adobe (Recomendaciones para su habitabilidad). Guatemala, 1997. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
- [4] TORRES RAMÍREZ, Antonio. Comportamiento Sísmico del adobe confinado Variable. Perú, 2012. Refuerzo Horizontal. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [5] ZELAYA JARA, Víctor Antonio. Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres. Perú, 2007. Universidad Nacional Federico Villarreal Escuela Universitaria de post-grado maestría en gerencia de la construcción moderna.
- [6] DE LA PEÑA ESTRADA, Diego. Adobe, características y sus principales usos en la construcción. México D.F, 1997. Instituto tecnológico de la Construcción.
- [7] RODRÍGUEZ, Héctor Hugo. Aplicación de la piedra toba y adobes de suelocemento a la mampostería en la construcción. Mendoza, Argentina, 2010. Universidad Nacional de San Martín.
- [8] LAGUNA CABO, María. Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. España, 2011, 117p. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural.
- [9] MORALES DOMINGUEZ, Valentín Juventino; ORTIZ GUZMÁN, Margarito; ALAVEZ RAMIREZ, Rafael. Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. México, 2007.
- [10] SALDIVAR, Mary; BUSTOS, José Luis; ALBARRACÍN, Osvaldo; PEREYRA, Arturo. Ensayo bajo cargas horizontales de muro construido con mampuestos de suelo cemento. Argentina, 2004.
- [11] RODRÍGUEZ FILHO, Raymundo. El uso de la tierra como elemento constructivo en Brasil: un corto panorama del proceso histórico, manejo, usos, desafíos y paradigmas. Brasil, 2007.

- [12] MATTONE, Roberto. Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción. Brasil, 2007.
- [13] BESTRATEN, S.; HORMÍAS, E.; ALTEMIR, A. Construcción con tierra en el siglo XXI. España, 2011.
- [14] GALÍNDEZ, Fernando. Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC). Aportación al ahorro energético. Argentina, 2009.
- [15] VÁZQUEZ ESPÍ, Mariano. Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. España, 2001.
- [16] CID, J.; MAZARRÓN, F. R.; CAÑAS, I. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. España, 2011.
- [17] MALDONADO RAMOS, Luis; CASTILLA PASCUAL, Francisco; VELA COSSÍO, Fernando; Colaborador: RIVERA GÓMEZ, David. Rendimiento y coste energético en la construcción de cerramientos de fábrica de adobe y bloque de tierra comprimida. España, 2001.
- [18] SAROZA, B; RODRÍGUEZ, M. A; MENÉNDEZ, J. M; BARROSO, I. J. Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. Colombia, 2008.
- [19] BARROS, L. P; IMHOFF, F. A. Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. Chile, 2010.
- [20] RUIZ SIBAJA, J. Alejandro; VIDAL SÁNCHEZ, Francisco. Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. México, 2015.
- [21] ROUX Rubén, ESPUNA José Adán. Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales. Universidad autónoma de Tamaulipas. Facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 2012
- [22] JOVER, Roberto Tomás; CANO GONZÁLEZ, Miguel. Ensayo Compresión Simple. Canarias, Universidad De Alicante, Universidad de la Laguna.
- [23] RAMÍREZ RAMÍREZ, Raúl. Cinva-Ram Máquina para fabricar adobes de suelo – cemento. Colombia, 1957. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo (Proyecto regional para la superación de la pobreza extrema).
- [24] CANCIANI José María. Resistencia de materiales, esfuerzos de sollicitación axial. Buenos Aires, Argentina. 2009

- [25] LIZCANO A., HERRERA M.C., SANTAMARINA J.C. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia / Georgia Institute of Technology. Atlanta, USA.
- [26] CARCEDO Miguel. Resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- [27] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 125. Consistencia y plasticidad de suelos: límite líquido y límite plástico. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.
- [28] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1522. Granulometría por tamizado y lavado por el tamiz N° 200. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.
- [29] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2521. Ensayo hidrómetro. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.
- [30] NORMA I.N.V.E – 128-07. Gravedad específica de suelos finos.
- [31] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2122. Compactación de suelos: proctor modificado. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.
- [32] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3495; Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.
- [33] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5324; Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2004.
- [34] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4205; Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2009.
- [35] REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE (NSR -10); Título D – Mampostería Estructural. Bogotá, D.C: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 1997.

[36] Imágenes Google Earth. 2013

[37] CRUZ VELASCO, Lucio Gerardo. Mecánica de suelos I (Geotecnología). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad del Cauca.

[38] JUÁREZ BADILLO, Rico Rodríguez. Mecánica de suelos. México, D.F: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. Balderas 95, 2004.

[39] HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar. Metodología de la investigación. Cuarta Edición. México, D.F: MacGraw-Hill. Interamericana, 2006.

[40] ARENAS CASTAÑO, Mónica Andrea. Adobes comprimidos suelo – materiales reciclables una alternativa ecológica. Universidad Libre Seccional Pereira. Colombia. 2012.

[41] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1486; Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2008.

## **CAPÍTULO 6**

### **ANEXOS**



## Anexo A. Ensayo límites de Atterberg

LÍMITE LÍQUIDO							
Rango Golpes	N° de Golpes	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Muestra (gr)	Peso Muestra sin Capsula (gr)	Peso seco con Capsula (gr)	Peso seco sin Capsula (gr)	$\frac{W_m - W_s}{W_s} * 100$
15 a 20	20	38.2	73.1	34.9	60.1	21.9	59.36
20 a 30	25	37.8	67	29.2	56.5	18.7	56.15
25 a 35	30	39.4	66.5	27.1	56.8	17.4	55.75
LL%=							56.15

Tabla 24. Determinación del límite líquido



Gráfico 06. Comportamiento límite líquido

LÍMITE PLÁSTICO						
	<i>Peso Capsula (gr)</i>	<i>Peso Capsula + Muestra (gr)</i>	<i>Peso Muestra sin Capsula (gr)</i>	<i>Peso seco con Capsula (gr)</i>	<i>Peso seco sin Capsula (gr)</i>	<i>W</i>
1ros 5 gramos	39.4	47.1	7.7	44.6	5.2	48
2dos 5 gramos	37.8	44.3	6.5	42.2	4.4	47.7
3ros 5 gramos	37.4	43.1	5.7	41.2	3.8	50
					LP%=	48.6

Tabla 25. Determinación del límite plástico

<b>IP (Índice de Plasticidad)</b> <b>IP = LL - LP</b>	56.15 - 48.6 = 7.55
<b>Clasificación de acuerdo con el S. Unificado de Clasificación de Suelos</b>	Limo de alta plasticidad (MH)

Tabla 26. Índice de Plasticidad y Clasificación del Suelo

## Gráfica de plasticidad del USCS

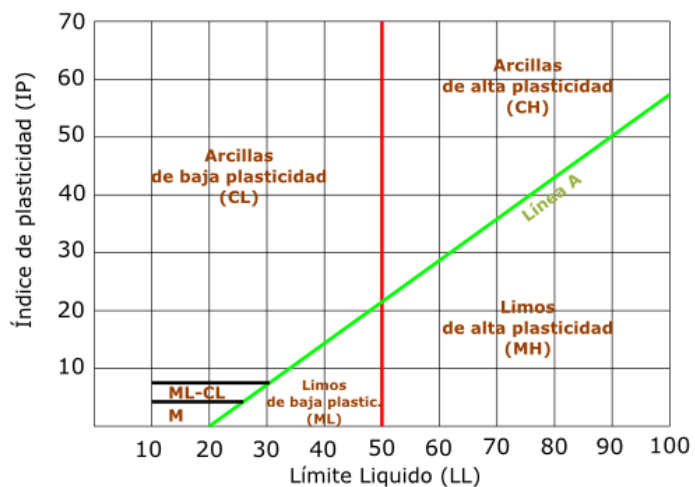


Gráfico 07. Gráfica de plasticidad del USCS  
Fuente: Imágenes Google

## Anexo B. Ensayo de Gravedad Específica

### Ensayo N° 1:

<b>Wa</b>	329.8	gr
<b>Wb</b>	361.6	gr
<b>Peso Tara</b>	118.1	gr
<b>Peso Tara + Suelo seco</b>	172.6	gr
<b>Ws</b>	54.5	gr
<b>K</b>	0.99624	→ 28°C

Tabla 27. Datos ensayo N° 1, Gravedad Específica

### Ensayo N° 2:

<b>Wa</b>	366.5	gr
<b>Wb</b>	395	gr
<b>Peso Tara</b>	112.4	gr
<b>Peso Tara + Suelo seco</b>	160.4	gr
<b>Ws</b>	48	gr
<b>K</b>	0.99624	→ 28°C

Tabla 28. Datos ensayo N° 2, Gravedad Especifica

### Ensayo N° 3:

<b>Wa</b>	337.7	gr
<b>Wb</b>	374.2	gr
<b>Peso Tara</b>	113.9	gr
<b>Peso Tara + Suelo seco</b>	177.8	gr
<b>Ws</b>	63.9	gr
<b>K</b>	0.99624	→ 28°C

Tabla 29. Datos ensayo N° 3, Gravedad Especifica

### Anexo C. Ensayo de lavado por tamizado

Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	100.00
0.85	0.20	4.44	4.44	95.56
0.18	1.10	24.44	42.22	57.78
0.15	0.60	13.33	55.55	44.45
0.075	2.00	44.44	100.00	0.00

Tabla 30. Resultado del ensayo de lavado por tamizado

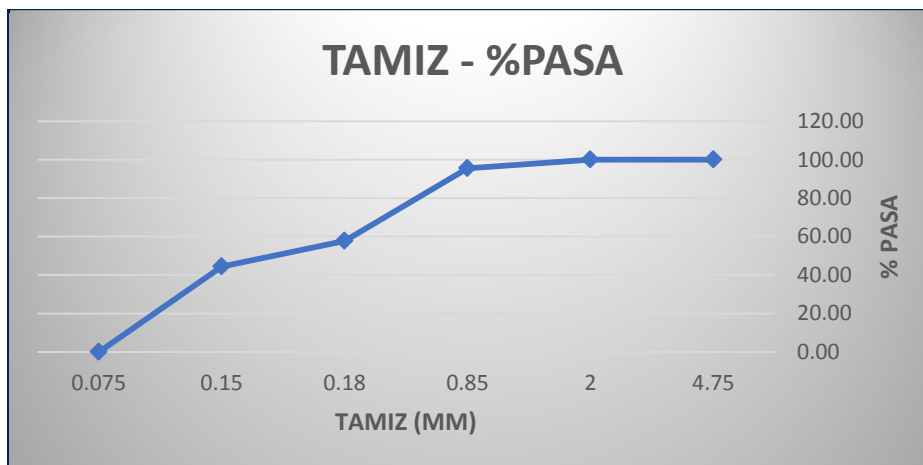


Gráfico 08. Relación de porcentaje de suelo pasante según el tamiz (lavado por tamizado)

## Anexo D. Granulometría luego de lavado por tamizado

Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	100.00
0.85	0.00	0.00	0.00	100.00
0.43	0.00	0.00	0.00	100.00
0.18	1.70	32.70	32.70	67.30
0.15	1.10	21.15	53.85	46.15
0.075	2.40	46.15	100.00	0.00

Tabla 31. Resultado ensayo de granulometría luego de lavado por tamizado

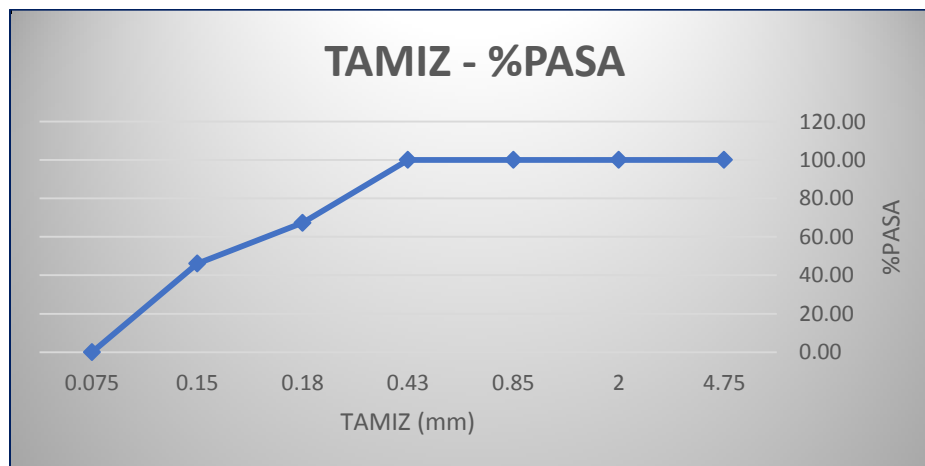


Gráfico 09. Relación de porcentaje de suelo pasante según el tamiz (granulometría)

## Anexo E. Ensayo del Hidrómetro

### Datos generales:

Lectura de agua	1000 g/cm <sup>3</sup>
Lectura de hidrómetro + Agua	1.003 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura	26°C
Hidrómetro 151H	0.6 x 10 <sup>-3</sup> g/cm <sup>3</sup>
Floculante	125 ml
Gs	2.45
Cm	0.006 g/cm <sup>3</sup>
μ	1002 Pa.s
K	0.0044
α	1
CD	1000.006

Tabla 32. Datos generales ensayo del hidrómetro

**Nota:** Se emplean 60 gr de suelo pasantes por el tamiz N° 200.

Tiempo (minutos)	Lectura h. g/cm <sup>3</sup>	Temperatura °C	Profundidad efectiva L (mm)	Corrección por temperatura (g/cm <sup>3</sup> x10 <sup>-3</sup> )	R	R corregida	Diámetro de las partículas (mm)	% de finos
1	1025	24	97	0.8	1025.006	25.002	0.0433	100.0000
2	1021	24	107	0.8	1021.006	21.002	0.0322	88.9668
5	1017.5	24	118	0.8	1017.506	17.502	0.0214	74.1404
15	1013	24	129	0.8	1013.006	13.002	0.0129	55.0779
30	1011	24	134	0.8	1011.006	11.002	0.0093	46.6057
60	1009	24	139	0.8	1009.006	9.002	0.0067	38.1335
120	1007	24	144	0.8	1007.006	7.002	0.0048	29.6613
250	1005	24	150	0.8	1005.006	5.002	0.0034	21.1890
1440	1004	24	152	0.8	1004.006	4.002	0.0014	16.9529

Tabla 33. Resultados ensayo del hidrómetro

Pesos			
	Tara + Muestra (g)	Tara (g)	Peso seco (g)
Suelo San Jacinto	155	115	40

Tabla 34. Generalidades ensayo del hidrómetro



## Anexo F. Ensayo de Proctor Modificado

Prueba N°	1	2	3	4	5
N° de golpes	25	25	25	25	25
Humedad inicial de la muestra (%)	15	20	25	30	40
Peso muestra húmeda (gr)	71.85	63.8	77.5	74.2	91.5
Peso muestra seca (gr)	53.45	46.3	52.7	49	55.5
Molde N°	2	1	1	2	3
Peso muestra húmeda + molde (gr)	8749	9315	9585	9505	9181
Peso molde (gr)	6014	6279	6279	6014	6047
Peso muestra húmeda (gr)	2735	3036	3306	3491	3134
Humedad de horno (%)	34.42	37.8	47.06	51.43	64.86
Peso muestra seca (gr)	2034.67	2203.19	2248.06	2305.36	1901
Volumen de molde (cm <sup>3</sup> )	1855.5	1855.5	1855.5	1855.5	1855.5
Densidad muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.096	1.187	1.212	1.242	1.0245

Tabla 35. Datos del ensayo de Proctor Modificado

## Anexo G. Ensayo Proctor Modificado con Cartón y Cal

<b>Prueba N°</b>	1	2	3
<b>N° de golpes</b>	25	25	25
<b>Humedad inicial de la muestra (%)</b>	15	51	55
<b>Peso muestra húmeda (gr)</b>	52	54	80
<b>Peso muestra seca (gr)</b>	47.9	35.9	50..8
<b>Molde N°</b>	2	2	2
<b>Peso muestra húmeda + molde (gr)</b>	8346	9482	9025
<b>Peso molde (gr)</b>	6014	6014	6014
<b>Peso muestra húmeda (gr)</b>	2332	3468	3011
<b>Humedad de horno (%)</b>	8.56	50.42	57.48
<b>Peso muestra seca (gr)</b>	2148.12	2305.54	1911.99
<b>Volumen de molde (cm<sup>3</sup>)</b>	1855.5	1855.5	1855.5
<b>Densidad muestra seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1.185	1.243	1.03

Tabla 36. Datos del ensayo de Proctor Modificado (con cartón y cal)

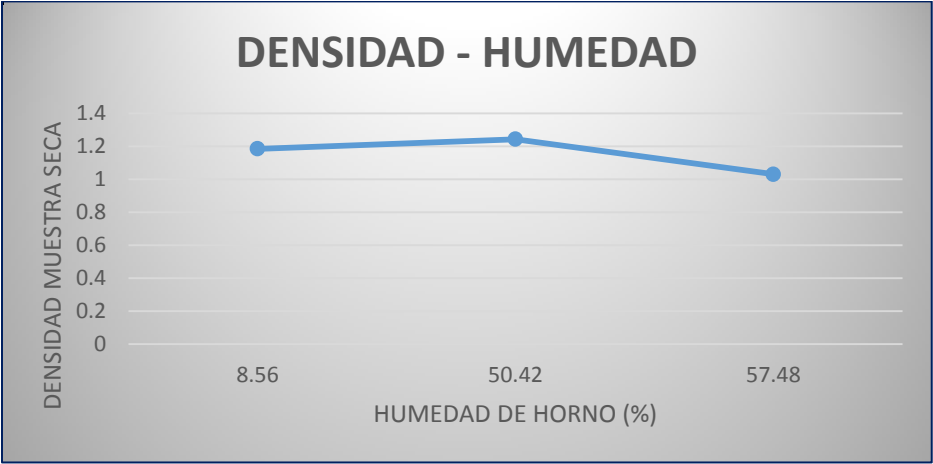


Gráfico 10. Comportamiento Proctor Modificado con Cartón y Cal

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CARTÓN	<b>216.25%</b>
---------------------------------	----------------