

**BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE
CONCRETO Y CEMENTO COMO SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES**

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:
GLORIA MILENA MOLINA VINASCO MSC
Ingeniera civil**

**INVESTIGADORES AUXILIARES:
CAMILO ESCOBAR GALVIS
JUAN SEBASTIÁN LEÓN GÓMEZ
VANESSA SALAZAR BEDOYA**

**UNIVERSIDAD LIBRE DE PEREIRA SEDE BELMONTE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN
2016**

**BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE
CONCRETO Y CEMENTO COMO SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES**

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:
GLORIA MILENA MOLINA VINASCO MSC
Ingeniera civil**

**INVESTIGADORES:
CAMILO ESCOBAR GALVIS
JUAN SEBASTIÁN LEÓN GÓMEZ
VANESSA SALAZAR BEDOYA**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**UNIVERSIDAD LIBRE DE PEREIRA SEDE BELMONTE
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN
2016**

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. MARCOS DE REFERENCIA.....	18
1.1. MARCO TEÓRICO	18
1.1.1 Resistencia al corte de los suelos	18
1.1.1.1 Criterio de falla de mohr-coulomb.....	18
1.1.1.2 Inclinación del plano de falla causado por cortante	19
1.1.1.3 Prueba de corte directo	21
1.1.1.2 Prueba triaxial de corte.....	23
1.1.1.4 Prueba consolidada-drenada	25
1.1.1.5 Prueba de compresión simple sobre arcilla saturada.....	26
1.2 MARCO CONCEPTUAL	27
1.2.1 Construcción en tierra.....	27
1.2.2 Bloques de tierra comprimida.....	28
1.2.3 Adobes	28
1.2.4 Materiales	29
1.2.4.1 Concreto	29
1.2.4.2 Cenizas Volcánicas.....	29
1.2.4.3 Cemento Portland	30
1.2.4.4 Escombros.....	30
1.2.5 Cinva ram	31
1.2.5.1 Ventajas	31
1.2.5.2 Desventajas.....	31
1.2.6 Bloques de suelo cemento.....	32
1.2.7 Vivienda sostenible	32
1.3 MARCO HISTÓRICO	33
1.4 ANTECEDENTES	1
1.5 MARCO LEGAL.....	17
1.6 MARCO GEOGRÁFICO.....	20

2.	OBJETIVOS.....	22
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	22
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
3.	METODOLOGÍA.....	23
3.1	FASE 1: REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	23
3.2	FASE 2: ESTABLECER LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO.....	24
3.3	FASE 3: ESTABLECER DOSIFICACIONES DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA Y ELABORACIÓN DE ESTOS.....	26
3.4	FASE 4: DETERMINAR LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA.....	30
3.5	FASE 5: ELABORAR MURETES CON LAS DOSIFICACIONES Y DETERMINAR LA RESISTENCIA MECÁNICA DE ESTOS.....	31
3.6	FASE 6: REALIZACIÓN TRABAJO ESCRITO.....	33
4.	RESULTADOS.....	34
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	34
4.2	RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO.....	35
4.3	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA.....	39
4.4	RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS MURETES REALIZADOS CON BTC.....	40
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	41
5.2	RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO.....	43
5.3	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA.....	44
5.4	RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS MURETES REALIZADOS CON BTC.....	45
6.	CONCLUSIONES.....	47
7.	RECOMENDACIONES.....	48

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Antecedentes de la investigación.....	2
Tabla 2. Normatividad utilizada.....	17
Tabla 3. Ensayos de laboratorio realizados.	24
Tabla 4. Ensayos de la realización de las probetas de suelo-cemento.....	25
Tabla 5. Ensayos a compresión realizados para las probetas de suelo-cemento.	26
Tabla 6. Ensayos a compresión realizados para BTC.	30
Tabla 7. Ensayos a compresión realizados para los muretes de BTC.....	31
Tabla 8. Resultados de los ensayos de caracterización.	34
Tabla 9. Resultados de la resistencia a compresión de las probetas de suelo cemento para diferentes porcentajes de cemento.	35
Tabla 10. Resultados de la resistencia a compresión de los BTC para diferentes porcentajes de escombros.....	39
Tabla 11. Resultados de la resistencia a compresión de los muretes de BTC para diferentes porcentajes de escombros.	40
Tabla 12. Análisis de resultados de los ensayos de caracterización	41
Tabla 13. Análisis de resultados de la resistencia a compresión de las probetas de suelo cemento para diferentes porcentajes de cemento.....	43
Tabla 14. Análisis de resultados de la resistencia a compresión de los BTC para diferentes porcentajes de escombros.	44
Tabla 15. Análisis de los resultados de la resistencia a compresión de los muretes de BTC para diferentes porcentajes de escombros.....	45

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Densidad vs. Resistencia de los cilindros de suelo cemento.	36
Gráfica 2. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 0% de cemento.	37
Gráfica 3. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 3% de cemento.	37
Gráfica 4. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 4% de cemento.	38
Gráfica 5. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 5% de cemento.	38

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor.....	20
Figura 2: Círculo de Mohr y envolvente de falla.....	20
Figura 3. Esquema del ensayo de corte	22
Figura 4. Dispositivo para el ensayo del corte directo.....	22
Figura 5: Diagrama del equipo de prueba triaxial.	24
Figura 6: Envolvente de falla por esfuerzo efectivo de pruebas drenadas en arena y arcilla normalmente consolidada.....	26
Figura 7: Prueba de compresión simple	27
Figura 8: Ubicación del corregimiento de La Florida.....	20
Figura 9. Extracción de suelo en el corregimiento de La Florida.	23
Figura 10. Realización de probetas de suelo-cemento.....	25
Figura 11. Ensayo a la compresión no confinada de las probetas de suelo-cemento.	26
Figura 12. Mezcla de suelo, cemento, escombros y agua.....	27
Figura 13. Máquina para realizar adoquines y losetas.....	28
Figura 14. Dimensiones BTC	29
Figura 15. Realización de los BTC en la Cinva Ram.	29
Figura 16. BTC una vez realizada la compactación.....	30

Figura 17. Curado de los bloques	31
Figura 18. Fraccionamiento de los bloques para la construcción de los muretes. .	32
Figura 19. Dimensiones de los muretes.....	32

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de contenido de materia orgánica.	54
Anexo 2. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de límite líquido y límite plástico del suelo.....	55
Anexo 3. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del suelo.	56
Anexo 4. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados.	57
Anexo 5. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de próctor modificado.	58
Anexo 6. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de granulometría del suelo.	59
Anexo 7. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del escombro de concreto (Fino).....	60
Anexo 8. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del escombro de concreto (Grueso).	61
Anexo 9. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de contenido de humedad del suelo. ...	62
Anexo 10. Cuadro de resultados resistencia a la compresión no confinada y densidades de probetas de suelo-cemento.	64
Anexo 11. Cuadro de resultados resistencia a la compresión no confinada y deformaciones de probetas de suelo-cemento.	66
Anexo 12. Cuadro resumen de la dosificación para elaborar los BTC.....	70
Anexo 13. Resultados de prueba a compresión de BTC con 0% de escombro.	71
Anexo 14. Resultados de prueba a compresión de BTC con 10% de escombro.....	72
Anexo 15. Resultados de prueba a compresión de BTC con 15% de escombro.....	73

Anexo 16. Resultados de prueba a compresión de BTC con 20% de escombro.....	74
Anexo 17. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 0% de escombro.....	75
Anexo 18. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 10% de escombro.....	76
Anexo 19. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 15% de escombro.....	77
Anexo 20. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 20% de escombro.....	79
Anexo 21. Tabla de clasificación de suelos.....	79

RESUMEN

La industria de la construcción es uno de los factores de desarrollo más importantes de las sociedades actuales, pero también es una amenaza constante para el medio ambiente; los materiales con los que se realiza, por ejemplo, son elementos que representan un peligro, ya que a futuro sus escombros no serán reutilizables y se convertirán en un contaminante del suelo y en un acaparador de las zonas verdes de la ciudad.

Teniendo en cuenta este problema, la investigación que se presenta a continuación, plantea el uso de un material más amigable con el medio ambiente, que resulta también mucho más económico en comparación con los que actualmente se usan en la construcción de viviendas.

A partir de la revisión de antecedentes bibliográficos y experiencias de otros investigadores, se determinó la viabilidad de ciertos tipos de suelo que pueden sustituir e incluso aprovechar algunos materiales de construcción desechados, que de no ser reutilizados, se volverían escombros no biodegradables.

Después de varias pruebas técnicas, se descubrió que el suelo derivado de ceniza volcánica, mezclado con los restos de concreto que quedan después de una demolición, puede ser un buen candidato para reemplazar el ladrillo, el cual requiere de un proceso de cocido que también es un fuerte contaminante y que dicho suelo no necesita.

Con este descubrimiento se podría estar a punto de encontrar una forma de construir sin comprometer al medio ambiente, además de tener la posibilidad de desarrollar un material que pueda ser asequible para millones de personas que no pueden pagar los altos costos que requiere la construcción de una vivienda hoy en día.

Aunque se tengan evidencias de que en otros países ya se buscan e implementan materiales alternativos para la construcción, en Colombia el uso de suelos para ella, sigue siendo una actividad que no es certificada por la norma sismo resistente 'NSR 10'; aun así, la importancia de investigaciones como esta e iniciativas similares, se basa en la posibilidad de encontrar alternativas que demuestren la eficacia y seguridad de estos materiales, para así poder cambiar la norma que rige en la actualidad.

Es importante resaltar que es solo el inicio de un descubrimiento que se debe estudiar con rigurosidad para no comprometer la seguridad de nadie; pero frente a

las conclusiones que se pudieron sacar de la investigación y los experimentos realizados, es posible que con materiales similares y nuevos procesos, se creen estructuras más grandes que las que aquí se analizan y se certifican como viables.

ABSTRACT

Nowadays the building industry is one of the more important factors in the development of most societies, but it is also a great danger for the environment; it is made with materials that are a big threat, because in the future its rubbish won't be reusable and they will become a pollutant that will occupy the parklands of the cities.

Having this concern in mind, the research that's presented here, proposes the use of a material that's more eco-friendly and that turns out to be also a lot more economic than the ones that are currently used in the building of households.

From the revision of previous bibliographical statements and the experiences from other researches it was determined the viability of certain kinds of soil that can replace and even exploit some discarded residuals from other construction materials, that in case of not being used, they would become rubbish that can't be biodegradable.

After several experiments, it was discovered that the soil derived from volcanic ashes, mixed with remaining of the concrete left after a demolition can be a good candidate to replace brick, which requires a cooking process that is also an important pollutant and that the soil studied doesn't even need.

With this discovery, could be find a new way to build without compromising the environment; besides, having the possibility of developing a material that can be achieved by millions of people that can't afford the high prices that requires the construction of a household nowadays.

Even knowing that other countries are already researching and using alternative materials for construction, in Colombia the use of soils is an activity that is not certified by the norma sismo resistente (earthquake resistant standard) NSR 10; still, the importance of researches and initiatives such as this it's based in the possibility of finding new ways that show the efficiency and security of this materials, so someday the norm can be rearranged.

It's important to remark that this is only the beginning of a discovery that has to be studied with rigorousness, so no one's safety can be compromised; but from the conclusions that we're made by this investigation it's possible that similar materials and new processes, bigger structures can be made.

INTRODUCCIÓN

Al pasar de los años se han implementado técnicas constructivas pensando en un bienestar no colectivo, debido a que hay materiales utilizados que son inasequibles para las personas de pocos recursos, adicionalmente el poco aprovechamiento de los residuos de la industria constructiva, según Romero¹, hasta el momento son pocas las técnicas utilizadas para el reciclaje de los escombros de construcción.

En la actualidad son pocos los materiales constructivos aprobados por la Norma sismo resistente (NSR-10), teniendo en cuenta que la mayoría de los requerimientos son para elementos estructurales. Esta investigación se enfoca en la elaboración de Bloques De Tierra Comprimida (BTC) para divisiones y muros no estructurales, aun así la norma tiene parámetros de resistencia para dichos elementos; este proyecto pretende fabricar BTC que cumplan con dichas exigencias.

No se cuenta con la aprobación de la NSR-10 con respecto a este material actualmente, lo cual influye en el poco uso de este. La facilidad de producción implica un factor positivo en tiempos de ejecución y la utilización de escombros de concreto junto con la no cocción con respecto al ladrillo lo cual son aportes ambientales a favor del BTC.

Se logra evidenciar la falta de investigaciones acerca del tema comparado con otros métodos constructivos como el concreto que cuenta con un gran base de información, aunque se encuentran algunas fuentes de datos sobre la construcción en tierra como trabajos anteriormente realizados y un gran soporte por parte de la norma para saber cuál es el objetivo en cuanto a resistencia se refiere.

Instituciones como las Corporaciones autónomas regionales CAR se podrán interesar en este proyecto gracias a que los BTC son amigables con el medio ambiente, también la Presidencia ya que brinda viviendas de interés social para la gente de escasos recursos, los cuales podrán verse beneficiados por este método constructivo, quizás ferreterías o centros de venta del material que vean en este cierto potencial después de haberle realizado pruebas adecuadas y debidos procesos para su posterior comercialización.

¹ ROMERO, Emilio. Residuos de construcción y demolición. Universidad de Huelva. 2007

Vásquez et al² plantean que la industria de la construcción ha asumido un rol protagónico en el desarrollo de las sociedades, debido a que es responsable directa de la creación de proyectos a través de los cuales además de gestarse cultura, se contribuye al crecimiento económico. A su vez es uno de los responsables principales del consumo de recursos, generación de residuos, transformación del entorno y contaminación. Por tal motivo, es pertinente que desde esta industria se planteen soluciones alternativas que contribuyan a disminuir su impacto sobre el ambiente.

El proceso de producción de los BTC desarrollado en esta investigación, empezó por una inspección visual seguido de la caracterización del material trabajado por medio de ensayos de laboratorio. Dependiendo del tipo de suelo tratado se realizaron probetas de suelo/cemento ensayadas a compresión, y se consultaron investigaciones anteriores, para definir la proporción de cemento recomendada para la fabricación de BTC. Con esta mezcla en su humedad óptima de compactación se realizaron los bloques, utilizando ya como variable la presencia de escombros de concreto, se probaron a la compresión para encontrar el porcentaje ideal de escombros y por último se hizo un análisis detallado de los resultados.

² VASQUEZ HERNANDEZ, Alejandro; BOTERO BOTERO, Luis Fernando; CARVAJAL ARANGO, David. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Medellín, 2015. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad EAFIT. Facultad De Ingeniería.

1. MARCOS DE REFERENCIA

A continuación se observan los diferentes marcos de referencia que contribuyen a la información recolectada para la realización de este proyecto.

1.1. MARCO TEÓRICO

El marco teórico contiene los fundamentos para entender el comportamiento a compresión de los BTC, como lo son los parámetros de resistencia al corte de los suelos.

1.1.1 Resistencia al corte de los suelos

Según lo planteado por Das³, la resistencia interna por unidad de área que la masa de suelo puede ofrecer a la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano en su interior es conocido como la resistencia cortante de un suelo. Los ingenieros deben entender los principios de la resistencia al cizallamiento del suelo para analizar los problemas.

La resistencia al cizallamiento es en general una función de:

- La resistencia a la fricción entre las partículas sólidas.
- La cohesión que se genera entre las partículas de suelo.

Serán presentados a continuación los conceptos fundamentales acerca de la resistencia al cortante, además las pruebas de laboratorio que son realizadas para la determinación de los parámetros de resistencia del suelo.

1.1.1.1 Criterio de falla de mohr-coulomb

Mohr⁴ presentó una teoría para la ruptura de los materiales. Esta teoría plantea que un material llega a la falla debido a una combinación crítica de esfuerzo

³ DAS, Braja M. Resistencia cortante del suelo. En: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1 ed. Sacramento: Bill Stenquist, Suzanne Jeans, 2001. pág. 212.

⁴ MOHR, O. ¿Qué circunstancias hacen que el límite elástico y la ruptura a un material?. Revista de la Asociación de Ingenieros Alemanes, citado por Das, Braja. Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento: Bill Stenquist, Suzanne Jeans, 2001.

cortante y esfuerzo normal, y no de cualquier esfuerzo máximo normal o cortante solo. Debido a esto, la relación funcional entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal se puede expresar en la siguiente forma en un plano de falla.

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (1.1)$$

Donde τ_f = esfuerzo cortante sobre el plano de falla.
 σ = esfuerzo normal sobre el plano de falla.

Para Coulomb⁵ la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal. Esta relación se escribe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1.2)$$

Donde c = cohesión.
 ϕ = ángulo de fricción interna.

La ecuación previa es denominada *criterio de falla de Mohr-Coulomb*.

1.1.1.2 Inclinación del plano de falla causado por cortante

Cuando el esfuerzo cortante sobre un plano alcanza un valor dado por la ecuación (1.2) ocasiona que la falla cortante ocurra. Para establecer la inclinación del plano de falla con relación al plano principal mayor, refiérase a la figura 1, donde σ_1 y σ_3 son, los esfuerzos principales menor y mayor. El plano de falla EF forma un ángulo θ con el plano principal mayor. Para determinar la relación entre σ_1 y σ_3 así como el ángulo θ refiérase a la figura 2, éste es un gráfico que muestra el círculo de Mohr para el estado de esfuerzo mostrado en la figura 1. En la figura 2, fgh es la envolvente de falla definida por la relación $s = c + \sigma \tan \phi$. La línea radial ab define el plano principal mayor (CD en la figura 1), y la línea radial ad define el plano de falla (EF en la figura 1). Se muestra que $\angle bad = 2\theta = 90 + \phi, 0$

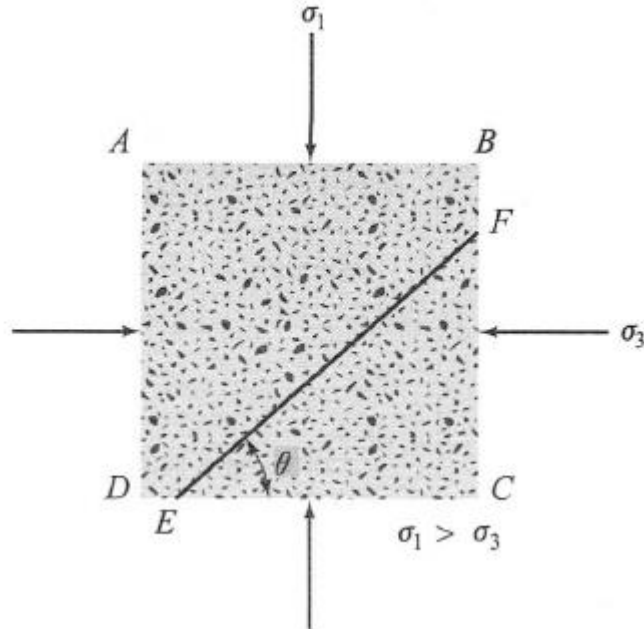
$$\theta = 45 + \frac{\phi}{2} \quad (1.3)$$

De nuevo, de la figura 2, tenemos

$$\frac{\overline{ad}}{\overline{fa}} = \tan \phi \quad (1.4)$$

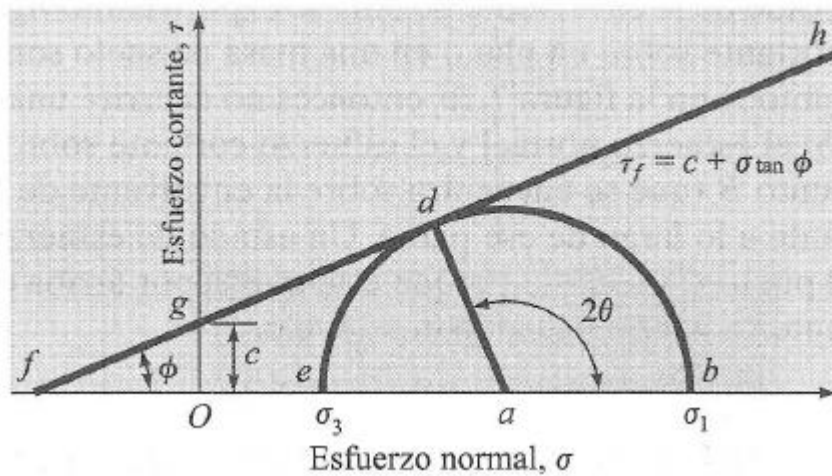
⁵COULOMB, C. A. "Ensayo sobre la aplicación de las normas de máximos y mínimos en algunos problemas de estática, en la arquitectura. Memorias de Matemáticas y Física, citado por Das, Braja. Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento: Bill Stenquist, Suzanne Jeans, 2001.

Figura 1: Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor.



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1ed. 2001; pág. 209

Figura 2: Círculo de Mohr y envolvente de falla



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1ed. 2001; pág. 210.

$$\overline{fa} = fO + Oa = c \cot \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (1.5)$$

También,

$$\overline{ad} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (1.6)$$

Remplazando las ecuaciones (1.5) y (1.6) en la ecuación (1.4), tenemos:

$$\text{sen } \phi = \frac{\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}{c \cot \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}$$

o

$$\sigma_1 = \sigma_3 \left(\frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} \right) + 2c \left(\frac{\cos \phi}{1 - \text{sen } \phi} \right) \quad (1.7)$$

Sin embargo,

$$\frac{1 + \text{sen } \phi}{1 - \text{sen } \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

y

$$\frac{\cos \phi}{1 - \text{sen } \phi} = \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Entonces,

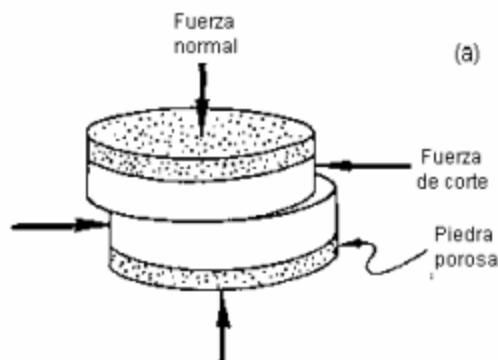
$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (1.8)$$

Esta es la relación del criterio de falla de Mohr-Coulomb dada en términos de esfuerzos de falla.

1.1.1.3 Prueba de corte directo

Para esta prueba se establece el procedimiento para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada. Este ensayo se puede ejecutar para cualquier tipo de suelos finos.

Figura 3. Esquema del ensayo de corte

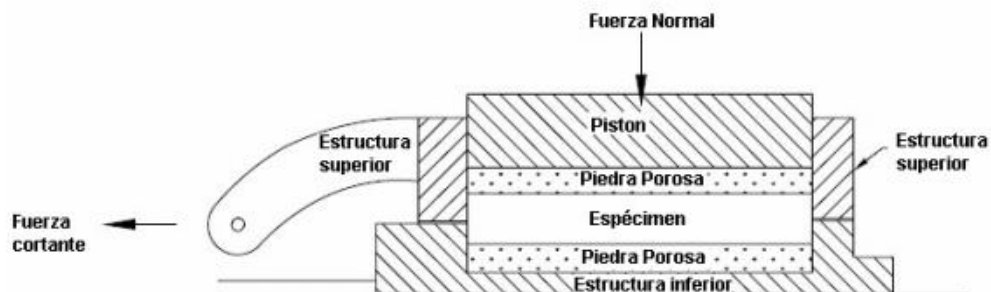


Fuente: Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (cd) (consolidado drenado). (I.N.V. E – 154 – 07); pág. 1

“Los resultados de este ensayo pueden ser aplicados en situaciones de campo, en las cuales ha ocurrido la consolidación completa bajo la sobrecarga existente y se produce lentamente la falla, así que el exceso de las presiones de poros se disipa. En el ensayo también se puede determinar la resistencia máxima al corte del material utilizado. Los resultados del ensayo se pueden ver afectados por partículas de roca presentes en la muestra, en la superficie de la falla”⁶.

“El ensayo consiste en: (a) Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo; (b) Aplicación de una carga normal determinada; (c) Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra; (d) Consolidación de la muestra bajo la carga normal; (e) Liberación de los marcos que sostienen la muestra; (f) Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra (véanse Figuras 3 y 4)”⁷.

Figura 4. Dispositivo para el ensayo del corte directo



Fuente: Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (cd) (consolidado drenado). (I.N.V. E – 154 – 07); pág. 2

⁶ INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Suelos: determinación de la resistencia al corte método de corte directo (cd) (consolidado drenado). I.N.V. E – 154 – 07. Bogotá: INVIAS, 2007. pág. 1

⁷ *Ibíd.*, p. 2

El dispositivo de corte directo deberá sostener con seguridad entre dos piedras porosas la probeta en cada cara para que esta no presente movimientos torsionales, y también permitiendo el drenaje del agua. Este debe disponer de los dispositivos necesarios para aplicar una carga normal en las caras de la muestra, para determinar las deformaciones del espécimen de suelo. El equipo debe estar en la capacidad de aplicar y controlar una carga cortante para generar la falla en cierto plano (corte simple), Estos estarán ubicados en sentido paralelo a las caras de la muestra y deben proporcionar los desplazamientos laterales de ésta.

El esfuerzo normal se calcula como:

$$\sigma = \frac{\text{fuerza normal}}{\text{area de la seccion transversal del espécimen}} \quad (1.9)$$

El esfuerzo cortante resistente se calcula como:

$$\tau = \text{esfuerzo cortante} = \frac{\text{fuerza cortante resistente}}{\text{area de la seccion transversal del espécimen}} \quad (1.10)$$

1.1.1.2 Prueba triaxial de corte

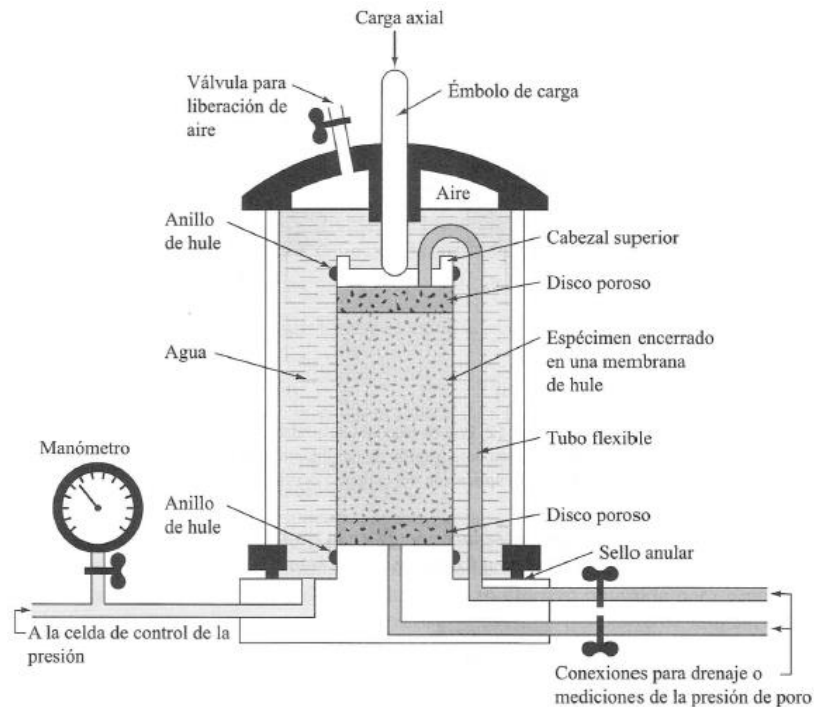
La definición de Das⁸ acerca de la prueba triaxial es que es utilizada para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo. Este ensayo es considerado confiable por razones como, brindar flexibilidad en términos de trayectoria de carga, en comparación con el ensayo de corte directo proporciona condiciones más uniformes de esfuerzo a lo largo del plano de falla y suministra los datos acerca del comportamiento esfuerzo-deformación unitaria.

En general en el ensayo de corte triaxial es usada una muestra de 76mm de longitud y 36mm de diámetro, esta queda confinada por una membrana delgada de hule la cual es instalada dentro de una cámara plástica en forma de cilindro llenada posteriormente con glicerina o agua. A través de un embolo vertical es aplicado un esfuerzo en dirección a la muestra lo cual causa la falla por cortante del espécimen. Este queda en un estado de confinamiento ocasionado por el líquido que se encuentra en la cámara.

⁸ DAS. Op. Cit., p. 217-218.

El esfuerzo se suma en una de dos maneras, la aplicación de presión hidráulica o pesos muertos incrementando igualmente hasta llegar a la falla de la muestra y el empleo de deformación axial constantemente por medio de una prensa de carga con engranes o hidráulica. Ésta es una prueba por deformación unitaria controlada.

Figura 5: Diagrama del equipo de prueba triaxial.



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1ed. 2001; pág. 219

Se suministran también conexiones para calcular la presión de poro del agua⁹. Estas son los tipos de pruebas triaxiales que se pueden llevar a cabo:

1. Prueba consolidada-drenada o prueba drenada (prueba CD).
2. Prueba consolidada-no drenada (prueba CU).
3. Prueba no consolidada-no drenada o prueba no drenada (prueba UU).

⁹ DAS, Braja M. Propiedades geotécnicas del suelo y del suelo esforzado. En: Principios de ingeniería de cimentaciones. 4 ed. Sacramento: International Thomson Editores, 2001. P 56

1.1.1.4 Prueba consolidada-drenada

Das¹⁰ plantea el proceso explicativo de esta prueba, primero se somete la muestra a una presión de confinamiento σ_3 en su alrededor mediante compresión del líquido que se encuentra de la cámara (figura 6). Igual cuando se aplica la presión de confinamiento, la presión de poro del agua del espécimen se incrementa en la cantidad u_c ; dicho aumento de la presión de poro del agua se expresa en forma de:

$$B = \frac{u_c}{\sigma_3} \quad (1.13)$$

donde B = parámetro de la presión de poro de Skempton¹¹.

La velocidad lenta de aplicación del esfuerzo desviador y la conexión al drenaje abierta, permite la disipación completa de cualquier presión de poro del agua que se desarrolle como consecuencia ($\Delta\sigma_d = 0$). Como la presión de poro del agua desarrollada durante la prueba se disipa completamente, se tiene:

$$\text{Esfuerzo de confinamiento total y efectivo} = \sigma_3 = \sigma'_3$$

Y

$$\text{Esfuerzo axial total y efectivo en la falla} = \sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1 = \sigma'_1$$

En una prueba triaxial, σ'_1 es el esfuerzo efectivo principal mayor en la falla y σ'_3 es el esfuerzo efectivo principal menor en la falla.

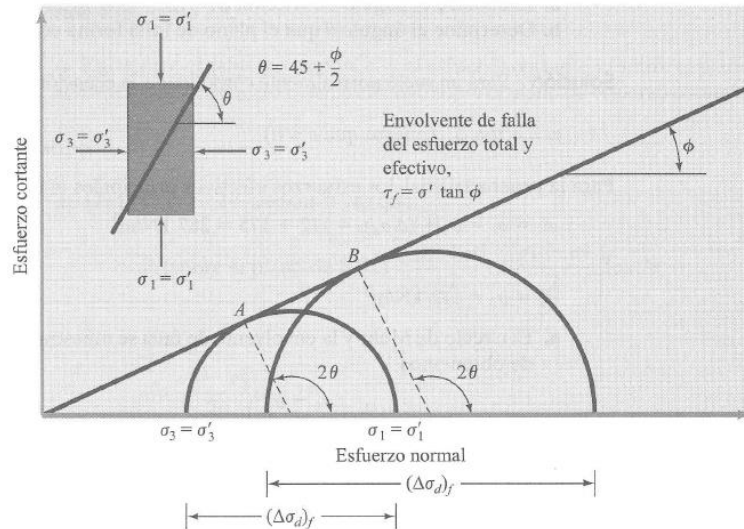
La porción bc de la envolvente de falla representa una etapa normalmente consolidada del suelo y obedece a la ecuación $\tau_f = \sigma' \tan \phi$ ¹².

¹⁰ DAS. Op. Cit., p. 219

¹¹ SKEMPTON, A. W. Coeficientes A y B en presión de poros. En: Geotécnica, citado por Das, Braja. Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento: Bill Stenquist, Suzanne Jeans, 2001

¹² DAS. Op. Cit., p. 220-221

Figura 6: Envolvente de falla por esfuerzo efectivo de pruebas drenadas en arena y arcilla normalmente consolidada.



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1ed. 2001; pág. 223

1.1.1.5 Prueba de compresión simple sobre arcilla saturada

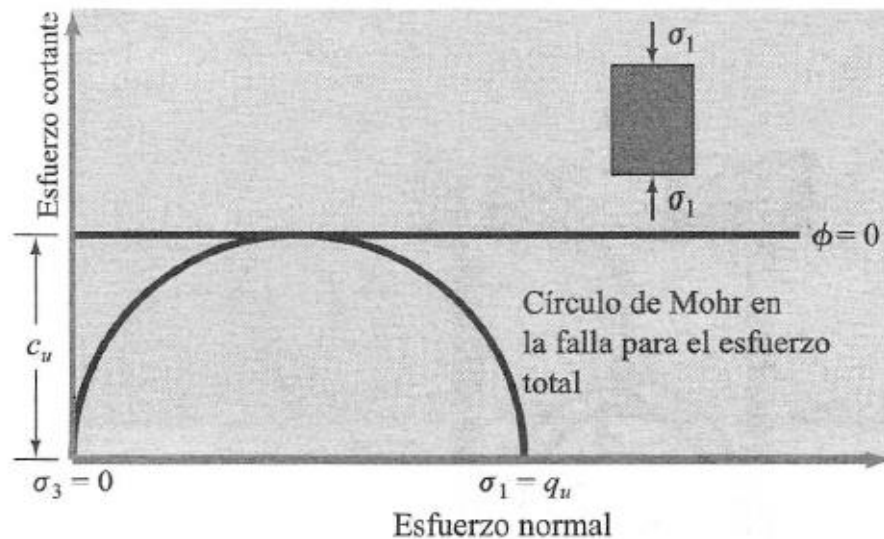
El ensayo de compresión simple es un tipo especial de prueba no consolidada-no drenada la cual se realiza usualmente para muestras de arcilla. En esta prueba, la presión de confinamiento σ_3 es 0. Para generar la falla al espécimen se aplica una carga axial rápidamente. En ésta, el esfuerzo principal menor total es 0 y el esfuerzo principal mayor total es σ_1 (figura 7). Como la resistencia de corte no drenada es independiente de la presión de confinamiento, tenemos:

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = c_u \quad (1.14)$$

Donde q_u es la *resistencia a compresión*. En teoría cuando se utiliza material similares al arcilla saturada, la prueba triaxial y de compresión simple deben dar los mismos valores de c_u . No obstante, en la práctica, las pruebas de compresión simple sobre arcillas saturadas dan valores menores para c_u que los alcanzados en pruebas no consolidadas-no drenadas¹³.

¹³ DAS. Op. Cit., p. 235

Figura 7: Prueba de compresión simple



Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1ed. 2001; pág. 235

1.2 MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan los principales fundamentos teóricos que sirven de base para el desarrollo de la investigación, ellos involucran los principales conceptos de mecánica de suelos.

1.2.1 Construcción en tierra

La tierra como técnica constructiva ha estado presente a lo largo de la Historia en diversas y heterogéneas civilizaciones, tanto para la ejecución de pequeñas edificaciones de carácter austero, como para la construcción de estructuras más nobles, como son los casos de murallas, castillos, fortalezas... Ejemplos de ello son las construcciones realizadas por las primeras sociedades que se establecieron en la Mesopotamia del tercer milenio antes de Cristo, aquellas que formaron la génesis del Antiguo Egipto o los pueblos que se reunían en torno a las "kasbahs" marroquíes. Asimismo, la arquitectura oriunda del Yemen o buena parte del patrimonio rural español de muy diversas épocas son buena muestra de la riqueza de esta técnica constructiva milenaria.

Dichas construcciones quedan definidas por la utilización de un determinado módulo, de tamaño variable, el cual se repite multitud de veces hasta generar el cerramiento o partición a realizar, el cual, junto a la colaboración de elementos estructurales de madera, generan el conjunto de la edificación. En función de su tamaño, se suele diferenciar entre tierra en masa, el adobe (módulos de pequeño tamaño, del tamaño del ladrillo tradicional)

y el tapial (módulos de gran tamaño, que suelen superar el metro cuadrado de superficie).¹⁴

Los bloques de tierra comprimida son un material constructivo implementado desde la antigüedad por civilizaciones por diferentes partes del mundo debido a su abundancia en el terreno y su facilidad de construcción. A su misma vez sus características permiten que este material ayude a controlar temperaturas y humedad, brindando beneficios como material primitivo natural. La construcción en tierra es una alternativa ecológica que podrá solucionar un problema latente en la sociedad el cual es la escasez de recursos de los estratos bajos para adquirir vivienda propia.

1.2.2 Bloques de tierra comprimida

Se obtienen a partir de la mezcla de tierra, arena y cemento, para luego ser compactada. El material debe ser cernido previamente al mezclado y estabilizado. La máquina utilizada para la compactación es conocida como prensa o bloquera; la más conocida es la CINVA RAM, que tiene una caja metálica de 16 cm de alto, 29 cm de largo y 14 cm de ancho. Se compone también de una barra metálica o palanca, la cual es accionada por un operador humano.

Para realizar un bloque se debe preparar el material, abrir la caja e introducir la tierra estabilizada. La caja es cerrada para poner la barra metálica, se aplica la presión necesaria hasta que la barra baja. Posteriormente el bloque es sacado del molde y trasladado para el curado o secado, en el que puede durar de dos días a una semana, dependiendo del contenido de humedad que presente el bloque luego de la compactación.¹⁵

1.2.3 Adobes

Pons¹⁶ plantea que aparte de sus ventajas conocidas como su baja conductividad térmica, este material brinda facilidad a las construcciones, por el hecho que la materia prima está siempre presente en el lugar de la obra con el ahorro consiguiente en su transporte. Ventaja apreciable dado el alto volumen de material necesario para construir las.

¹⁴ LOPEZ VIEJO, Jorge Luis; LORENZANA FERNANDEZ, Marta. Construcción con Tierra. 2008. P. 3.

¹⁵ARTEAGA MEDINA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ JUNCO, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. 2011. P.60.

¹⁶PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. [http://ieham.org/html/docs/La tierra como material de construccion.pdf](http://ieham.org/html/docs/La_tierra_como_material_de_construcion.pdf). (Citado el 11 de Agosto de 2016).

A pesar de que en la actualidad puede utilizarse maquinaria para la producción de adobes, puede ser tan anticuado para la construcción como arrojar bolas de lodo a un muro, esta es una labor que no requiere de herramientas ni equipo alguno, tal vez una pala y fibra.

Las desventajas que presenta este material son muy conocidas, tales como sus propiedades higrófilas que absorben la humedad atmosférica en ambientes con el aire saturado, perdiendo así resistencia a los esfuerzos. En ambientes de alta precipitación los muros tienden a debilitarse hasta colapsar.

Las resistencias a compresión que presentan los adobes se consideran bajas entre 3 y 5 Kg/cm², cuando se encuentran secos se anula su resistencia a la tensión. Esto dificulta el transporte cuando el material no ha recibido el curado adecuado para moverlos y en el proceso se fracturan.

1.2.4 Materiales

A continuación se explicarán algunos de los materiales utilizados en la investigación, ya sea empleado en la fase experimental o como referencia comparativa.

1.2.4.1 Concreto

“Es un material modesto y de elaboración sencilla, cuyo uso tiene una tradición de dos mil años aproximadamente. Híbrido por excelencia donde su esencia radica en la mezcla o aleación que se componga. Es una masa eficaz y barata, considerada la piedra artificial”¹⁷.

1.2.4.2 Cenizas Volcánicas

La ceniza volcánica es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de 2 milímetros de diámetro) eyectadas por un viento volcánico. La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (erupción freática),

¹⁷ GONZALEZ, Andrés. Cemento-Concreto espacio y materialidad. [Diapositivas]. 2011. <http://es.slideshare.net/archieg/concreto-8189329>. (Citado el 11 de agosto de 2016).

produce como resultado una gran cantidad de magma y tal vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.

La pluma que se ve a menudo sobre un volcán en erupción está compuesta principalmente de cenizas y vapor. La eyección de grandes cantidades de ceniza provoca un cono de estas. La acumulación de cenizas tiende a cementarse hasta formar capas de una roca llamada toba volcánica. Las partículas más finas pueden ser arrastradas por el viento a lo largo de muchos kilómetros, que dan al paisaje un aspecto "polvoriento" al depositarse. El término piroclasto se refiere a cualquier material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción. Si se eyecta magma líquido en forma de aerosol, las partículas se solidifican en el aire formando pequeños fragmentos de vidrio volcánico.¹⁸

1.2.4.3 Cemento Portland

Es una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con el agua y se endurece espontáneamente en contacto con el aire. Este es producido mediante la pulverización del Clinker, compuesto inicialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más formas de éste como una adición durante la molienda.

1.2.4.4 Escombros

Escombros son el conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc. Podemos identificar, en los escombros que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos de residuos: • los residuos (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.; • los residuos (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra. Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por estos últimos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo comparativamente con los escombros de construcción.¹⁹

¹⁸ INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL ARGENTINA. Boletines Temáticos: Cenizas volcánicas. En Línea, 2008. < <http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Cenizas1.pdf>>. (Citado el 11 de agosto de 2016).

¹⁹ CEMPRE. Manual de gestión integral. Uruguay. 2008. P. 250.

1.2.5 Cinva ram

Máquina manual para fabricar bloques de suelo-cemento sin o con núcleos de diferente forma. La máquina se fundamenta en la "palanca de fuerza infinita" o "togle", de tal manera que en la medida en que se va comprimiendo la mezcla se incrementa la presión sobre ésta. Se produce un bloque de construcción de buena resistencia y durabilidad.

Un equipo de 2 operarios experimentados fabrica entre 400 y 500 bloques de 9x14x29 cm con una resistencia de 14 a 35 kg/cm² (200 a 500 psi) y en mezclas más ricas de 25 a 50 kg/cm².

1.2.5.1 Ventajas

Se fabrican bloques para interiores con 10 a 14 partes de tierra arenosa, dos de cal apagada y una de cemento. Para exteriores con 6 a 10 partes de tierra-arena 2 partes de cal y una parte de cemento. Se crean dos puestos de trabajo con una inversión en bienes de capital del orden de US\$ 150.00.

1.2.5.2 Desventajas

Se requieren conocimientos especiales para garantizar la calidad de la materia prima. La construcción en bloque sin repellar deja intersticios en los cuales se pueden alojar insectos en el trópico. Socialmente es común considerar una casa "hecha de tierra" como un retroceso, así el material posea cualidades iguales o superiores a las de la mampostería convencional²⁰.

Esta máquina manual CINVA RAM fue un invento supremamente importante para la innovación en la creación de materiales para la construcción. Da la oportunidad de fabricar bloques de tierra comprimida de buena resistencia, ya que aumenta la capacidad de resistencia del suelo mediante la compactación de la materia prima. "La máquina fue desarrollada por el ingeniero Raúl Ramírez (RAM) del CINVA-Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento dentro del Proyecto 22 de la OEA. Está considerada como una de las tecnologías latinoamericanas más difundidas en el mundo²¹. "Esta máquina es un aporte muy importante a la lucha

²⁰ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

²¹ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

en contra la pobreza, es una tecnología que permite avanzar investigaciones sobre la fabricación de dichos bloques para encontrar una alternativa de material de construcción que devolverá a la población de estrato bajo una mejor calidad de vida adquiriendo vivienda propia.

1.2.6 Bloques de suelo cemento

EL bloque de suelo cemento es un paralelepípedo de suelo, estabilizado con cemento Portland Comprimido y desmoldado inmediatamente. Tiene una resistencia a la compresión entre 2 y 6 MPa (NTC 5324). Es una alternativa constructiva ecológica por lo que el mayor insumo de esta es el propio suelo. Los bloques comprimidos en la maquina CINVA RAM nos permite tener unidades de los tamaños de los ladrillos de arcilla cocidos en horno, es decir, reduciendo el tamaño de las unidades comparado con adobes tradicionales. El costo de material para la construcción es gradualmente reducido, ya que la mayor parte de la materia prima proviene del propio terreno.²²

1.2.7 Vivienda sostenible

Cada uno de los edificios y casas que habitamos produce una huella ecológica sobre el planeta. Su construcción, operación y, eventualmente, su demolición consume una gran cantidad de recursos y producen muchos residuos contaminantes. Se calcula que el sector residencial y de oficinas consume el 40% de los recursos de todo el mundo, especialmente de energía, y es responsable del 40% de las emisiones de CO₂ que van a la atmósfera. El concreto, uno de los principales materiales de construcción en todo el mundo, es particularmente contaminante. Para producirlo se necesita mezclar piedra caliza y arcilla a temperaturas que rondan los 1.500 °C. El consumo de combustibles, y por supuesto de energía, es enorme: se requieren alrededor de 100 kg de carbón para producir sólo una tonelada de concreto.

Los “edificios verdes”, aquellos que se construyen siguiendo pautas y criterios que están en armonía con la naturaleza y la salud humana, son la solución a la vista. Apostarle a la construcción sostenible puede traducirse en un ahorro del 40% de agua y entre 30 y 50% de energía, además de una reducción del 35% de las emisiones de CO₂ y del 70% de los desechos. Combinar materiales ecológicos y un buen biodiseño permite crear ambientes iguales o más cómodos que los

²² CHOQUE, Godofredo Edgar; HUAMAN MEZA, Julio. Adobes comprimidos Suelo-Cemento, una alternativa ecológica. En: Congreso nacional de ingeniería civil: 2009: Lima. P.1.

convencionales, de la misma calidad, y con un saldo positivo para el planeta y nuestra salud.²³

La vivienda sostenible es la solución para el problema que enfrenta a la población vulnerable Colombiana. Con la implementación de esta alternativa de material de construcción, será posible la adquisición de vivienda propia para muchos colombianos. A la misma vez de estar cumpliendo sus sueños, estarán ayudando al medio ambiente, utilizando materiales reciclables y en este caso materia prima amigable con el medio ambiente: la tierra. El precio de cada bloque de tierra comprimida fabricada tendrá un bajo costo, ya que se minimiza los procesos de producción que no solamente implican altos costos de energía y combustible, también un deterioro en el medio ambiente mediante estas prácticas.

1.3 MARCO HISTÓRICO

Desde los inicios de la humanidad ya los primeros hombres construían con tierra, formando con ella paredes protectoras para tapar las entradas de sus cavernas. La tierra ha sido material de construcción usado en diversas partes del mundo. Los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole materiales, como fibras naturales.

Una variedad del uso de la tierra en combinación con otros materiales, principalmente de origen vegetal, son las construcciones de bahareque. En latino América, la construcción en bahareque es símbolo de patrimonio cultural. En lugares como Perú, la construcción en tierra en Huaca Pucllana, fue por medio de adobes rectangulares. Esta técnica es bastante interesante ya que consiste en la acomodación en forma de librero de los adobes, y en su parte de arriba y abajo con argamasa pero sin ser aplicada entre ellos y Pedro Villar Córdova la bautizó como la técnica del librero debido a su parecido con un librero.²⁴

Un método constructivo usado en América latina es la tapia o la tapia pisada, que consiste en llenar por capas el interior de dos formaletas de madera con tierra y aprisionarlas. Estas construcciones han sido empleadas especialmente en la zona central de Colombia como lo es en Antioquia, Caldas o Risaralda²⁵. Actualmente en Berlín existe una edificación la cual fue fabricada con tapia, se trata de la Capilla de la Reconciliación, considerada como un referente europeo ya que es el

²³ EL TIEMPO. Soy colombiano: Vivienda y Construcción sostenible. P.67.

²⁴ AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador). P.2-3.

²⁵ BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. Diversas expresiones de la construcción sostenible. En: Construcción sostenible. Cataluña: Universidad politécnica de Cataluña, 2011. p. 51-125.

primer edificio público construido con este método en los últimos 150 años de Alemania²⁶.

En los centros arqueológicos de Pachacamac y Huaca Pucllana se hizo un estudio relacionado con sismo-resistencia de las construcciones en tierra y este menciona que la implementación de técnicas constructivas que permitieran mejorar su desempeño sismo-resistente mejoró la resistencia mecánica de los adobes. Tal como las juntas verticales que logran darle ductilidad permitiendo movimiento en fuerzas sísmicas.²⁷

En el año 1970 en la costa central de Perú, se presentó un sismo catastrófico en el cual se evidenciaron más de 40.000 muertos por causa del derribamiento de casas las cuales estaban construidas con adobe, los ingenieros y arquitectos del país estaba comentando sobre de prohibición definitiva de la fabricación de edificaciones con este tipo de material, pero al llegar a una localidad ubicada a 40 metros del epicentro del sismo se pudo evidenciar que viviendas construidas con adobe estaban en buen estado ya que se encontraban encima de suelo rocoso. Esto llevo a que varios profesores y estudiantes llevaran a cabo varias investigaciones las cuales consistían en brindarle mayor estabilidad a las construcciones hechas con este material. En 1985 se aprobó una nueva norma para la realización de edificaciones con adobe²⁸.

Se debe hacer una recuperación ancestral de cómo se empleaban revoques con morteros de arena y cal. Tienen propiedades de transpiración y respiración lo que los hace muy compatibles para permitir la evaporación a pesar de que debido a su porosidad impiden el paso del agua.²⁹ La piedra calcárea, ladrillo de tierra apisonada y ladrillo cocido fueron empleadas en la elaboración de edificaciones que figuran con muchos siglos, cerca de los 8000-6000 años a.C. como la muralla china en el siglo V a.C., las bóvedas del templo de Ramsés y el Turquestán.³⁰

²⁶ BESTRATEN, S.; HORMÍAS, E. y ALTEMIR, A.. Construcción con tierra en el siglo XXI. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña, 2010. p. 5-20. Vol. 63.

²⁷ POZZI-ESCOT, Denise. BERNUY, Katiusha.; TORRES, Henry. P; ACHING, Jorge. V. (2009). Sismo-resistencia de las construcciones en tierra del santuario arqueológico de Pachacamac. P.1-3.

²⁸ TORRES, Rafael E.. Investigaciones de estructuras para viviendas de bajo costo y el rol del cismid. Perú: CISMID, 1990. p. 424-445.

²⁹ AGUIRRE, Ramón; GUERRERO, Luis Fernando. Refuerzos y protecciones superficiales sostenibles para bóvedas de adobe recargado en México. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Mexico. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15°: 2015: Ecuador). P. 3.

³⁰ GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ, Armenia. Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos estabilizados. Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires. Argentina. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador). P.2.

1.4 ANTECEDENTES

A continuación, se presentan un compendio de los antecedentes relacionados con el proyecto trabajado, en ellos se incluyen las referencias de los trabajos realizados en la región, en materia de mecánica de suelos, así como en la caracterización de los mismos

Tabla 1. Antecedentes de la investigación

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN			
INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
1. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADA CON UN 17,5% DE ESCOMBRO DE LADRILLO Y CAL.	1. Preparar el material, el suelo debe pasar por el tamiz N°4, picar el ladrillo a un tamaño máximo de 1". 2. Determinar el contenido de humedad. 3. Pesar el material dependiendo de las dosificaciones dadas. 4. Realizar los bloques. 5. medir y pesar los bloques 15 días después de secado, y determinar la prueba a compresión para determinar la resistencia.	Pasante tamiz 200= 25,1% de finos Gravedad específica= 2,75 Contenido de humedad= 15,8% Resistencia promedio a compresión= 0,3 Mpa.	(Diego Alejandro Lobo Morales, Emma Londoño Zuluaga, Paula Yulieth Marín Gaviria, Stefania Osorio Ceballos, Paola Melisa Valencia Restrepo) Universidad Libre Seccional de Pereira 2015 ³¹ .

³¹ LOBO MORALES, Diego Alejandro; LONDOÑO ZULUAGA, Emma; MARÍN GAVIRIA, Paula Yulieth; OSORIO CEBALLOS, Stefania; VALENCIA RESTREPO, Paola Melissa. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADA CON UN 12,5% DE ESCOMBRO DE LADRILLO Y CAL.</p>	<p>1. Preparar el material, el suelo debe pasar por el tamiz N°4, picar el ladrillo a un tamaño máximo de 1". 2. Determinar el contenido de humedad. 3. Pesar el material dependiendo de las dosificaciones dadas. 4. Realizar los bloques. 5. medir y pesar los bloques 15 días después de secado, y determinar la prueba a compresión para determinar la resistencia.</p>	<p>Resistencia promedio a compresión= 0,7Mpa.</p>	<p>(Cristian David López Jaramillo, Elsy Rubiela Martínez, Julián Felipe Martínez Parra, Edwin Tapasco Benjumea, Juan Esteban Vaca, Yigal Velásquez Zuluaga) Universidad Libre Seccional de Pereira 2015³².</p>

³²VELÁSQUEZ ZULUAGA, Yigal; MARTÍNEZ, Elsy Rubiela; MARTÍNEZ PARRA, Julián Felipe; TAPASCO BENJUMEA, Edwin; VACA, Juan Esteban y LÓPEZ JARAMILLO, Cristian David. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombro de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADA CON UN 17,5% DE ESCOMBRO DE LADRILLO Y CAL.</p>	<p>1. Preparar el material, el suelo debe pasar por el tamiz N°4, picar el ladrillo a un tamaño máximo de 1". 2. Determinar el contenido de humedad. 3. Pesar el material dependiendo de las dosificaciones dadas. 4. Realizar los bloques. 5. medir y pesar los bloques 15 días después de secado, y determinar la prueba a compresión para determinar la resistencia.</p>	<p>Resistencia promedio a compresión= 0,4Mpa.</p>	<p>(Alejandra Cardona Rincón, Daniela Duran Santa, Manuela Gómez Echeverry, Mateo Lotero Valencia, Andrés Felipe Mendoza Herrera) Universidad Libre Seccional de Pereira 2015³³.</p>

³³ CARDONA RINCÓN, Alejandra; MENDOZA HERRERA, Andrés Felipe; GÓMEZ ECHEVERRY, Manuela; LOTERO VALENCIA, Mateo y DURAN SANTA, Daniela. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>4. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADA CON UN 12,5% DE ESCOMBRO DE LADRILLO Y CAL.</p>	<p>1. Preparar el material, el suelo debe pasar por el tamiz N°4, picar el ladrillo a un tamaño máximo de 1". 2. Determinar el contenido de humedad. 3. Pesar el material dependiendo de las dosificaciones dadas. 4. Realizar los bloques. 5. medir y pesar los bloques 15 días después de secado, y determinar la prueba a compresión para determinar la resistencia.</p>	<p>Humedad Optima= 16,5% Porcentaje de Materia Orgánica= 14,95% Resistencia promedio a compresión= 0,45MPa.</p>	<p>(Lina Marcela Agudelo Montes, Jennifer Mejía Jiménez, Jorge Andrés Mosquera, Brian Osorio González, Juan David Puerta Rivera, Andrés Felipe Toro) Universidad Libre Seccional de Pereira 2015³⁴.</p>

³⁴AGUDELO MONTES, Lina Marcela; MEJÍA JIMÉNEZ, Jennifer; TORO, Andrés Felipe; OSORIO GONZÁLEZ, Brian; PUERTA RIVERA, Juan David y MOSQUERA, Jorge Andrés. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>5. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADA CON UN 7,5% DE ESCOMBRO DE LADRILLO Y CAL.</p>	<p>1. Preparar el material, el suelo debe pasar por el tamiz N°4, picar el ladrillo a un tamaño máximo de 1". 2. Determinar el contenido de humedad. 3. Pesarse el material dependiendo de las dosificaciones dadas. 4. Realizar los bloques. 5. medir y pesar los bloques 15 días después de secado, y determinar la prueba a compresión para determinar la resistencia.</p>	<p>Pasante tamiz 200= 72,46% de finos Gravedad específica= 2,578 Contenido de materia orgánica= 18,05% Resistencia promedio a compresión= 0,3 Mpa.</p>	<p>(Aura Cristina Caicedo, Laura Francelly Gómez Morales, Laura Loaiza Leal, Lizeth Murillo Salazar, Vanessa Salazar Bedoya, Daniela Yusti Cano)³⁵.</p>

³⁵CAICEDO, Aura Cristina; GOMEZ MORALES, Laura Francelly; LOAIZA LEAL, Laura; MURILLO SALAZAR, Lizeth; SALAZAR BEDOYA, Vanessa y YUSTI CANO, Daniela. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>6. ANALISIS ESTRUCTURAL DE DOS MUROS DE ADOBE CON DIFERENTE SISTEMA DE APAREJO.</p>	<p>1. Construcción de los dos tipos de muros (acomodación de adobe vertical y horizontal). 2. Se realiza prueba de comportamiento estructural simulando la fuerza sísmica que actúa en el muro mediante un pistón hidráulico de doble efecto. 3. Para la toma de datos se utilizaron sensores de distancia ultrasónica en el extremo del muro opuesto a la aplicación de la fuerza. 4. se realiza interpretación de datos arrojados por el software (Exportándolos en tablas de Excel).</p>	<p>El muro de acomodación vertical (muroA) disipó más energía sin fallar a comparación del muro de acomodación horizontal (muroB). Deriva muroA=0.0212 sin llegar a la rotura. Deriva muroB=0.0047 con rotura.</p>	<p>(Jhonny Agüero, Javier Cerón, Juan Carlos Gonzales y María Teresa Méndez) Universidad Ricardo Palma - Perú, 2015³⁶.</p>

³⁶ AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
7. COMPARACION ENTRE PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE ADOBES TRADICIONALES Y BTC ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE.	1. Análisis granulométrico del suelo. 2. Determinación de índice de plasticidad. 3. modificación granulométrica del suelo (60% arena, 40% finos). 4. Determinación de los materiales adicionales, en el cual se eligieron el cloruro de sodio con cal y cascara de arroz. 5. Se efectúan ensayos de compresión, absorción por capilaridad y humectación.	BTC Tipo= 2.031MPa. BTC cascara de arroz (3%)= 2.612MPa. BTC cascara de arroz (6%)= 2.302MPa. BTC cascara de arroz (10%)= 2.849MPa. BTC NaCl (3%)+ Cal (2%)= 1.708MPa. BTC NaCl (6%)+ Cal (2%)= 1.159MPa. BTC NaCl (10%)+ Cal (2%)= 0.765MPa.	(Marcelo Vásquez, Daniel Sebastián Guzmán, Jorge Mateo Iñiguez) Universidad de Cuenca - Ecuador, 2015 ³⁷ .

³⁷ VASQUEZ, Marcelo; GUZMÁN, Daniel Sebastián; IÑIGUEZ, Jorge Mateo. Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y btc estabilizados químicamente. Universidad de Cuenca - Ecuador, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
8. METODOLOGÍA DE CONTROL DE CALIDAD EN PRODUCCIÓN DE PANELES CON SUELOS ESTABILIZADOS.	<ul style="list-style-type: none"> - El suelo a adoptar debe provenir de una zona próxima. - Ensayos y análisis (físico-mecánicos, características físicas, organolépticas, densidad máxima de compactación, humedad óptima de moldeo). - Extracción de muestras. - Granulometría. - Constantes físicas (Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad). - Clasificación de suelos. - Ensayo de compactación. - Ensayo de las mezclas. - Ensayos mecánicos. - Construcción de modelos experimentales para ensayo. 	No tiene resultados, la idea de la investigación es establecer una metodología para el control de calidad de los BTC.	(Adriana Beatriz García, Juan Pablo Mazzeo, Armenis G Martínez) Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015 ³⁸ .

³⁸ GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ. Armenis G. Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos estabilizado. Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>9. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCÁNICA Y MATERIALES RECICLABLES: UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA.</p>	<p>1. Extracción y análisis de suelos. 2. Dosificación de los materiales. suelo/aditivos. 3. Elaboración del bloque de tierra comprimida. 4. Construcción de murales de BTC. 5. Realización de ensayos a compresión y de absorción.</p>	<p>Rango de resistencias para la mezcla que más se acercó a la norma: BTC+Carton(5%)+Arena(10%)+cal(3%)= 4.41MPa - 9.59MPa . Resistencia promedio de muretes de BTC 1.35MPa.</p>	<p>(Gloria Milena Molina Vinasco, Mónica Andrea Arenas Castaño, Alejandro Londoño, Oscar Andrés Parra, Lina Marcela Vallejo) Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2015³⁹.</p>

³⁹ MOLINA VINASCO, Gloria Milena; ARENAS CASTAÑO, Mónica Andrea; LONDOÑO, Alejandro; PARRA, Oscar Andrés; VALLEJO, Lina Marcela. Bloques de tierra comprimida con suelos derivados de ceniza volcánica y materiales reciclables: una alternativa ecológica. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>10. TÉCNICAS ADOPTADAS EN LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN PARA TENER UNA MATRIZ A BASE DE TIERRA.</p>	<p>1. Ubicación del material de estudio y cuantificación. 2. Definición de las variables de estudio e la identificación de la unidad de análisis tomando como patrón los bloques realizados con barro de excavación estabilizados con cemento. 3. Análisis de los requisitos de ensayos. 4. Investigación de ensayos en casos de estudio similares. 5. Caracterización del material utilizado determinación del porcentaje de cemento para estabilizar el suelo. 6. Diseño de metodología para resguardo y almacenaje. 7. Confección de planillas para la recolección de datos con codificación de las muestras para su mejor identificación. 8. Ensayos de los especímenes. 9. Análisis de los resultados y conclusiones.</p>	<p>Las resistencias de estas mezclas aumentan con el tiempo en los BTC elaborados con agregado reciclado, sin embargo los BTC con piedra partida natural no sucede esto. La resistencia a la tracción por compresión diametral de las probetas cilíndricas alcanzó a los 90 días un valor que oscila entre 85% y 95% del valor de compresión simple.</p>	<p>(Mirta A. Sánchez, Silva N. Casenave, Javier Fornari, Susana Keller, Federico Amaya, Lucia Belinde, Marilina Beltramo) Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015⁴⁰.</p>

⁴⁰ SANCHEZ, Mirta A.; CASENAVE, Silva N.; FORNARI, Javier; KELLER, Susana; AMAYA, Federico; BELINDE, Lucia; BELTRAMO, Marilina. Técnicas adoptadas en la elaboración de hormigón para tener una matriz a base de tierra. Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
11. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO.	1. Elaboración de los bloques con 82,75% de mezcla de suelo, arena 6,20% y cemento 11,03%. 2. Construcción de muretes con los bloques de tierra comprimida cuyas dimensiones fueron 30cm x 14cm x 45cm. 3. Se realizan muretes de bloques de tierra comprimida con refuerzo, con las siguientes dimensiones 46cm x 14cm x 45cm.	Resistencia a la compresión BTC=0.25 Mpa Resistencia a la compresión de Muretes= 1,17MPa. Resistencia al corte de Muretes con Refuerzo= 0,1926MPa.	(Karen Tatiana Arteaga Medina, Óscar Humberto Medina, Óscar Javier Gutiérrez junco) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011 ⁴¹ .

⁴¹ ARTEAGA MEDINA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ JUNCO, Oscar Javier. Bloques de tierra comprimida como material constructivo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>12. EL BLOQUE DE SUELO CEMENTO (BSC) AL BLOQUE DE SUELO GEOPOLIMERIZADO (BSG).</p>	<p>1. Caracterización del suelo. 2. Realiza el diseño de las mezclas. 3. Elaboración de cilindros seguido del secado a temperatura ambiente. 4. Fallar los cilindros a los 7 días. 5. Interpretación y comparación de resultados.</p>	<p>Humedad del suelo= 14,3% Mezcla de 100% suelo + 5% geopolímero= Resistencia= 5,1 Mpa Mezcla de 90% suelo + 10% cenizas volantes + 5% geopolímero= Resistencia a compresión= 2,9 Mpa Mezcla de 90% suelo + 5% cenizas volantes + 5% cemento + 5% geopolímero= Resistencia a compresión= 4,0 Mpa.</p>	<p>(Olga Nallive Yepes Gaviria, Carlos Mauricio Bedoya Montoya) Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín⁴².</p>

⁴² YEPES GAVIRIA, Olga Nallive y BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. El bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de suelo geopolimerizado (bsg). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín. 2013. 77p.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
13. LADRILLO ECOLÓGICO COMO MATERIAL SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar la composición de las mezclas a utilizar. 2. Determinar la humedad óptima y densidad máxima de compactación. 3. Preparar la muestra. 4. Establecer la resistencia a compresión. 5. Realizar ensayos de absorción y heladicidad. 	<p>Mezcla de 15% cemento= Resistencia a compresión a los 96 días= 14,4 Mpa. Mezcla de 15% cal hidráulica= Resistencia a compresión a los 96 días= 14,1 Mpa. Mezcla de 5% cal hidráulica= Resistencia a compresión a los 96 días= 12,2 Mpa. Mezcla de 5% cemento= Resistencia a compresión a los 96 días= 13 Mpa.</p>	(María Cabo Laguna) Universidad Pública de Navarra, España ⁴³ .

⁴³ CABO LAGUNA, María. Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Universidad Pública de Navarra. Navarra. 2011. 117p.

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>14. FABRICACIÓN DE MAMPUESTOS TIPO BTC SIN AÑADIR CEMENTO, LOGRANDO BUENAS CUALIDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS, CON EL MENOR COSTO ENERGÉTICO POSIBLE.</p>	<p>1. Clasificar los suelos determinando granulometría, límite líquido y límite plástico. 2. Usar suelos de tipo arcillosos o arenas de mediana plasticidad. 3. Aumentar la presión de compactación mínima de xxx utilizando la prensa CBR y el molde para el ensayo de Próctor Modificado. 4. Impermeabilizar la superficie.</p>	<p>Tierra tipo T1: Pasante tamiz 200 (0,075 mm) = 10,13%, Límite líquido = 33,10, Límite plástico = 19,72, Índice de plasticidad = 33,1-19,72 = 13,38, peso específico = 1,74gr/cm³, Resistencia a la compresión de 0,78Mpa= 3,45Mpa. Tierra tipo T2: Pasante tamiz 200 (0,075 mm) = 21%, Límite líquido = 33,10, Límite plástico = 19,72, Índice de plasticidad = 26,3-18,82 = 7,48, peso específico = 1,62gr/cm³, Resistencia a la compresión de 0,78Mpa= 2,39Mpa</p>	<p>(Fernando Galíndez) Universidad Católica de Salta. 2009⁴⁴.</p>

⁴⁴ GALINDEZ, Fernando. Fabricación de mampuestos tipo btc sin añadir cemento, logrando buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible. En: Seguridad y medio ambiente. Septiembre, 2009. no. 145. p. 64-73

INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA	RESULTADOS	PUBLICACIÓN
<p>15. FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN COMO REEMPLAZO DEL AGREGADO PÉTREO CONVENCIONAL</p>	<p>1. Preparar la mezcla con las diferentes dosificaciones. 2. Limpiar y lubricar el recipiente de la CINVA RAM. 3. Verter la mezcla en tres capas, ejerciendo presión en las cuatro esquinas y el centro para reducir espacios de aire. 4. Curar los bloques durante la primera semana, rociando con agua todas las caras del bloque. 5. Realizar ensayos a la compresión a los 28 días.</p>	<p>Mezcla de 25% tierra + 5% cemento + 70% arena= Resistencia a compresión a los 28 días= 2,78 MPa Mezcla de 25% tierra + 5% cemento + 70% residuos de construcción= Resistencia a compresión a los 28 días= 5,34Mpa</p>	<p>(Luis Fernando Botero Botero, Alejandro Vásquez Hernández, David Carvajal Arango). Universidad EAFIT Medellín. 2015⁴⁵.</p>

Fuente: Los Autores

⁴⁵BOTERO BOTERO, Luis Fernando; VÁSQUEZ HERNANDEZ, Alejandro y CARVAJAL ARANGO, David. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Medellín: Universidad EAFIT, 2015. p. 197-220.

1.5 MARCO LEGAL

En la Tabla 2 se enuncian las normas de ensayos usadas para el desarrollo de la investigación, especificando el nombre, número y objetivo.

Tabla 2. Normatividad utilizada

NOMBRE	CÓDIGO	OBJETIVO
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	I.N.V. E – 125 – 07	Describe el método de ensayo para la determinación del límite líquido de los suelos cohesivos.
DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)	I.N.V. E – 102 – 07	Identificar suelos y se basa en el sistema de clasificación unificada. La identificación se hace mediante un examen visual y mediante ensayos manuales, lo cual debe indicarse claramente al elaborar el respectivo informe.
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	I.N.V. E – 126 – 07	Describe el método de ensayo para la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL	I.N.V. E – 128 – 07	Este método de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro.
ENSAYO DE CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ 200 EN LOS AGREGADOS.	I.N.V. E – 214 – 13	Establece dos procedimientos para determinar el lavado, la cantidad de material más fino que el tamiz 75 æm en agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas del agregado que se dispersan por el lavado con agua, así como los materiales solubles en el agua, se separa del agregado durante el ensayo.

NOMBRE	CÓDIGO	OBJETIVO
RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN).	I.N.V. E – 142 – 07	Este método de ensayo se emplea para determinar la relación entre la humedad y la masa unitaria del suelo.
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS	I.N.V. E – 223– 13	Determinar la densidad y la absorción del agregado grueso. La densidad se puede expresar como densidad aparente, densidad aparente (SSS) (saturada y superficialmente seca), o densidad nominal. La densidad nominal (SSS) y la absorción se basan en el humedecimiento en agua del agregado después de 24 h.
MÉTODO DE ENSAYO PAR A DETERMINAR EN EL LABORATORIO EL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELOS Y ROCAS, CON BASE EN LA MASA	I.N.V. E – 122– 13	Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos, rocas y materiales similares con base en la masa, en donde la reducción de la masa por secado, se debe a la pérdida de agua.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO	I.N.V. E – 124 – 07	Aplicar un método para obtener aproximadamente la distribución granulométrica de los suelos finos que pasan por tamiz N° 200.
PREPARACIÓN Y CURADO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN EL LABORATORIO	I.N.V. E – 808 – 07	Procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión y flexión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.

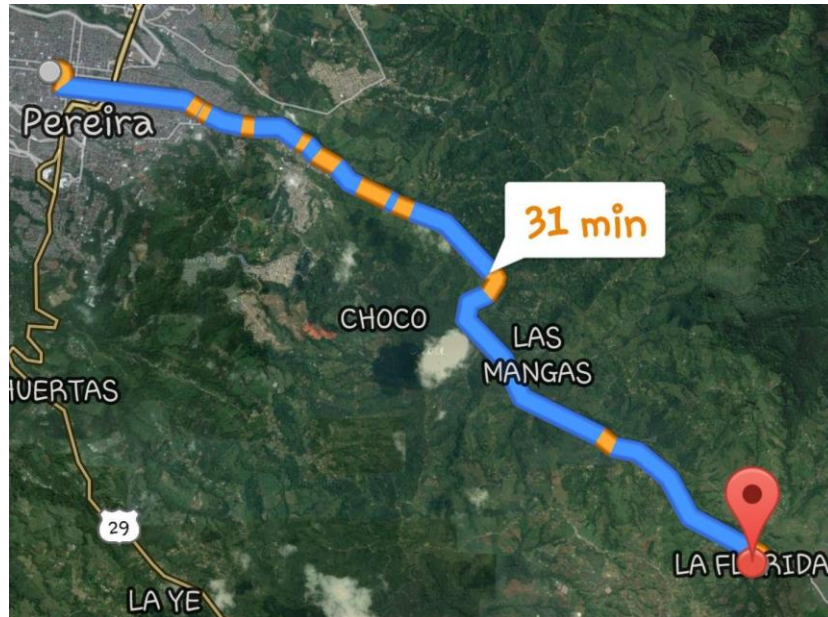
NOMBRE	CÓDIGO	OBJETIVO
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEMENTO	I.N.V. E – 809 – 07	Determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo
BLOQUES DE SUELO CEMENTO PARA MUROS Y DIVISIONES. DEFINICIONES. ESPECIFICACIONES. MÉTODOS DE ENSAYO. CONDICIONES DE ENTREGA	NTC 5324	Esta norma define las características generales que deben cumplir los bloques macizos de suelo cemento para muros y divisiones. Describe los ensayos propios para determinar dichas características.
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MURETES DE MAMPOSTERÍA	NTC 3495	Este método de ensayo comprende los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes de mampostería y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

Fuente: Los Autores

1.6 MARCO GEOGRÁFICO

El presente proyecto se realizará con suelo perteneciente al corregimiento de La Florida. A continuación se describirá la locación del lugar trabajado, para tener una clara ubicación del origen de la muestra de tierra tomada para la elaboración de los BTC.

Figura 8: Ubicación del corregimiento de La Florida.



Fuente: Google Maps

El corregimiento de La Florida se encuentra ubicado en la cuenca media del río Otún en el sector nor-oriente de Pereira. Limita al Norte con el río Otún, al Sur con el municipio de Salento (Quindío), y los corregimientos de Tribunales y la Bella, al Occidente con el área urbana de la Ciudad de Pereira y al Oriente con el departamento del Tolima.

La Florida inicia en los años 20, cuyos pobladores de estas tierras se encontraban concentrados en las familias Cardona, Ramírez, Zapata y Arias, cuyas familias aún persisten. Se declaró corregimiento en el año 1994, cuenta con una extensión de 12.197,3 hectáreas y está compuesto por 9 veredas que son:

- Libaré
- La Laguna
- Porvenir

- San José
- La Bananera
- La Suiza
- La Florida
- El Bosque
- Plan el Manzano

Este corregimiento es un paraíso turístico que conserva los componentes naturales y culturales que nos involucran en la vida rural, con sus respectivos productos y servicios. Sus dos principales bases turísticas son el recurso natural y el cultural:

El recurso natural está representado por las áreas protegidas y toda la extensión del río Otún. Cuenta con dos parques nacionales naturales, un santuario de flora y fauna, es la zona con mayor demanda para ecoturismo en todo el departamento, ya que el Nevado Santa Isabel, Laguna del Otún, páramos, termales, flora y fauna, ríos, cascadas, sistemas productivos, entre otros se han convertido en los principales atractivos naturales de la Cuenca media y alta del Río Otún.

El recurso cultural se construye a partir de las gentes y sus tradiciones, idiosincrasia, arquitectura, agricultura y los rasgos que caracterizan a las habitantes de estas tierras. El corregimiento de La Florida tiene una población de 3.891 habitantes, distribuidos en el 51.8 % de mujeres y el 48.2 % de hombres. En los últimos siete años ha incrementado la población en 238 habitantes más.⁴⁶

⁴⁶ ALCALDIA DE PEREIRA. Pereira rural y paisajística. Corregimiento De Arabia. 2009 [http://pereiraruralypaisajistica.blogspot.com.co/2009_11_01_archive.html]

2. OBJETIVOS

Los siguientes son los objetivos planteados de la investigación.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la dosificación óptima para la realización de bloques de tierra comprimida compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, escombros de concreto y cemento, como alternativa de construcción sostenible de muros no estructurales.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización del suelo perteneciente al corregimiento de La Florida.
- Establecer la resistencia mecánica del suelo con diferentes dosificaciones de cemento.
- Establecer dosificaciones de los bloques de tierra comprimida y elaboración de éstos.
- Determinar la resistencia mecánica a compresión de los bloques de tierra comprimida.
- Elaborar muretes y determinar la resistencia mecánica de éstos.

3. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las fases que se seguirán para el desarrollo del proyecto, estas fases comprenden las actividades a desarrollar para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

3.1 FASE 1: REALIZAR LA CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

- Extracción de la muestra en el corregimiento de La Florida. Esta consistió de la recolección de suelo proveniente de una ladera la cual ya constaba con el retiro de su capa vegetal.

Figura 9. Extracción de suelo en el corregimiento de La Florida.



Fuente: Los Autores.

- Preparación de las muestras para los ensayos de laboratorio.
- Realización de los ensayos y labores de laboratorio tales como:

Tabla 3. Ensayos de laboratorio realizados.

ENSAYO	NORMA	NÚMERO DE ENSAYOS REALIZADOS
Contenido de Materia Orgánica	I.N.V. E – 121 – 13	1
Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)	I.N.V. E – 102 – 07	1
Límite líquido	I.N.V. E – 125 – 07	3
Límite plástico e índice de plasticidad	I.N.V. E – 126 – 07	3
Gravedad específica del suelo	I.N.V. E – 128 – 07	3
Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados	I.N.V. E – 214 – 13	2
Próctor Modificado	I.N.V. E-142-07	1
Granulometría del escombro de concreto	I.N.V. E – 123 – 13	1
Gravedad específica del escombro de concreto	I.N.V. E – 223– 13	3
Contenido de Humedad	I.N.V. E – 122– 13	1
Granulometría Hidrómetro	I.N.V. E – 124– 07	1

Fuente: Los Autores.

- Análisis de resultados y caracterización del suelo.

3.2 FASE 2: ESTABLECER LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO

- Preparación de la muestra de suelo, realizando el retiro de materia orgánica presente en ella, el cual puede afectar en el ensayo. También se realiza un desmoronamiento del material para que este quede uniforme con la cantidad mínima de grumos para poder ser trabajado.

- Realización de las probetas de suelo-cemento de acuerdo a las dosificaciones establecidas para la investigación las cuales fueron de 3%, 4% y 5% este valor indicando el porcentaje de cemento a utilizar, junto con una proporción de agua correspondiente a la humedad óptima.3 por cada proporción.

Tabla 4. Ensayos de la realización de las probetas de suelo-cemento.

PORCENTAJE	NORMA UTILIZADA	NÚMERO DE PROBETAS
0%	I.N.V. E – 808 – 07	3
3%		3
4%		3
5%		3

Fuente: Los Autores

Figura 10. Realización de probetas de suelo-cemento.



Fuente: Los Autores.

- Ensayo de las probetas de suelo-cemento a la compresión no confinada.

Tabla 5. Ensayos a compresión realizados para las probetas de suelo-cemento.

PORCENTAJE	NORMA UTILIZADA	NÚMERO DE ENSAYOS REALIZADOS
0%	I.N.V. E – 809 – 07	3
3%		3
4%		3
5%		3

Fuente: Los Autores

Figura 11. Ensayo a la compresión no confinada de las probetas de suelo-cemento.



Fuente: Los Autores.

- Determinación de la proporción adecuada de acuerdo a los resultados arrojados de las pruebas a compresión acerca de la resistencia de las probetas.

3.3 FASE 3: ESTABLECER DOSIFICACIONES DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA Y ELABORACIÓN DE ESTOS

- Preparación de la muestra de suelo, este proceso consistió en la eliminación de los grumos del material dejándolo lo más uniforme posible en cuanto a sus partículas, también realizando retiro de la materia orgánica presente en este.
- Preparación de los escombros. Estos fueron seleccionados por proporciones adecuadas a su tamaño divididas por el tamiz nro. 4.

Figura 12. Mezcla de suelo, cemento, escombros y agua



Fuente: Los Autores

- Realización de los bloques de tierra comprimida para las diferentes proporciones de escombros, utilizando la proporción de mejor resultado de cemento y el porcentaje de humedad óptima. Estos fueron elaborados en dos máquinas diferentes la Cinva Ram y una máquina para realizar adoquines y losetas.

Cuando se realizaron los bloques en la máquina para adoquines no se obtuvieron buenos resultados debido a la vibración que esta realiza que causa que haya segregación de los agregados y que las partículas finas vayan al fondo de la mezcla, creando una compactación no uniforme, con consistencia inestable y muchas fisuras en el bloque. Debido a esto solo se realizaron bloques en la CINVA RAM.

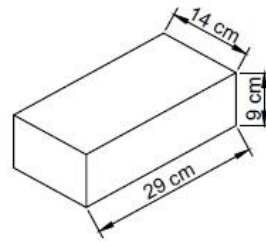
Figura 13. Máquina para realizar adoquines y losetas



Fuente: Los Autores

- El proceso de compactación en la CINVA RAM es posterior a la mezcla del suelo, con el porcentaje ideal de cemento, los diferentes porcentajes de escombros y la cantidad ideal de agua para la compactación. Este consiste en ejercer fuerza sobre el molde del bloque por medio de un brazo de palanca.

Figura 14. Dimensiones BTC



Fuente: Los Autores.

Figura 15. Realización de los BTC en la Cinva Ram.



Fuente: Los Autores

- Se realiza una revisión al bloque para garantizar una buena consistencia, ausencia de fisuras y el alto esperado.

Figura 16. BTC una vez realizada la compactación.



Fuente: Los Autores.

3.4 FASE 4: DETERMINAR LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

- Para determinar la resistencia a la compresión de los BTC, se optó por realizar las pruebas en un laboratorio certificado para tener mayor veracidad y confianza en los resultados, estos no se realizaron con el bloque completo sino con la mitad.

Tabla 6. Ensayos a compresión realizados para BTC.

PORCENTAJE	NORMA UTILIZADA	NÚMERO DE ENSAYOS REALIZADOS
0%	NTC 5324	3
10%		3
15%		3
20%		3

Fuente: Los Autores

- Una vez pasados los 28 días recomendados para el curado Se probaron los BTC a la compresión. Estos según la norma NTC 5324 la resistencia buscada en la elaboración de estos bloques debe ser igual o superior a 2 MPa refiriéndonos a una normativa aplicativa para bloques de suelo cemento para divisiones y muros no

estructurales, teniendo en cuenta que no se tiene ningún tipo de perforaciones ni horizontal ni vertical tratándose de un bloque macizo.

Figura 17. Curado de los bloques



Fuente: Los Autores.

- Evaluar el resultado de la mejor proporción de escombros en los BTC y compararlo con la normatividad vigente.

3.5 FASE 5: ELABORAR MURETES CON LAS DOSIFICACIONES Y DETERMINAR LA RESISTENCIA MECÁNICA DE ESTOS

- Se construyeron los muretes utilizando los BTC para cada uno de los porcentajes de escombros con un mortero de pega de 2 cm.

Tabla 7. Ensayos a compresión realizados para los muretes de BTC.

PORCENTAJE	NORMA UTILIZADA	NÚMERO DE ENSAYOS REALIZADOS
0%	NTC 3495	1
10%		1
15%		1
20%		1

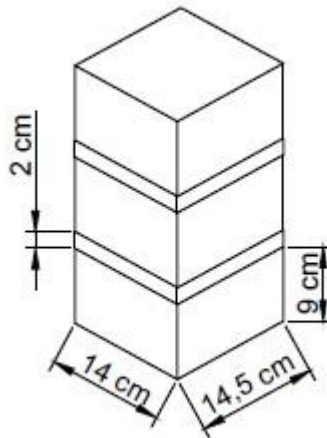
Fuente: Los Autores

Figura 18. Fraccionamiento de los bloques para la construcción de los muretes.



Fuente: Los Autores.

Figura 19. Dimensiones de los muretes.



Fuente: Los Autores

- Probar a la compresión los muretes realizados de acuerdo a la norma NTC 3495 la cual establece un margen de exactitud de 1 decimal en cuanto a la toma de medida de resistencia pero no establece una resistencia mínima del murete debido a la variedad de materiales de posible uso en este ensayo por ende es muy difícil parametrizar todos estos.
- Evaluar el comportamiento de los muretes en comparación con su comportamiento como bloques individuales.

3.6 FASE 6: REALIZACIÓN TRABAJO ESCRITO

- Plasmar los resultados obtenidos a lo largo de la investigación en registro escrito.
- Analizar los resultados sacando las debidas conclusiones al respecto.

4. RESULTADOS

Los resultados de las diferentes fases experimentales son los siguientes.

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

La Tabla 8 muestra los resultados de los diferentes laboratorios de la fase de caracterización del suelo con la respectiva norma con la que fue realizado.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de caracterización.

LABORATORIO	RESULTADO OBTENIDO
Descripción e identificación de suelos (I.N.V. E – 102 – 07)	Suelo cohesivo de color café amarillento con partículas finas y baja presencia de impurezas, olor inorgánico, material húmedo, consistencia firme y estructura homogénea
Contenido de Materia Orgánica (I.N.V. E – 121 – 13) (Véase Anexo 1)	1,96% de materia orgánica
Límite líquido (I.N.V. E – 125 – 07) (Véase Anexo 2)	56,39% de limite líquido
Límite plástico e Índice de plasticidad (I.N.V. E – 126 – 07) (Véase Anexo 2)	37,05% de limite plástico y índice
Gravedad específica del suelo (I.N.V. E - 128) (Véase Anexo 3)	2,55 de gravedad específica
Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados (I.N.V. E – 214 – 13) (Véase Anexo 4)	61,52% de finos 38,48% de arenas
Próctor Modificado (I.N.V. E-142-07) (Véase Anexo 5)	50,5% de humedad óptima
Granulometría de escombro de concreto (I.N.V. E – 123 – 13) (Véase Anexo 6)	Cu=8,63 (Coeficiente de uniformidad) y Cc=2,96 (Coeficiente de curvatura)
Gravedad específica del escombro de concreto. (I.N.V. E – 223– 13) (Véase Anexo 7 y Anexo 8)	Gs=2,7 (Retenido Tamiz #4) Gs=2,5 (Pasante Tamiz #4)
Contenido de Humedad del suelo (I.N.V. E – 122– 13) (Véase Anexo 9)	16% de humedad
Granulometría Hidrómetro (I.N.V. E – 124– 07) (Véase Anexo 10)	21% de arcillas 40,52% de limos

Fuente: Los Autores

4.2 RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO

La tabla 9 muestra los diferentes resultados de las pruebas a la compresión no confinada para las probetas de suelo cemento para los diferentes porcentajes del aglutinante. Puede observarse que la proporción del 5% fue la de mejores resultados y que los datos presentan unas desviaciones estándar bajas. Véase Anexo 10 y Anexo 11.

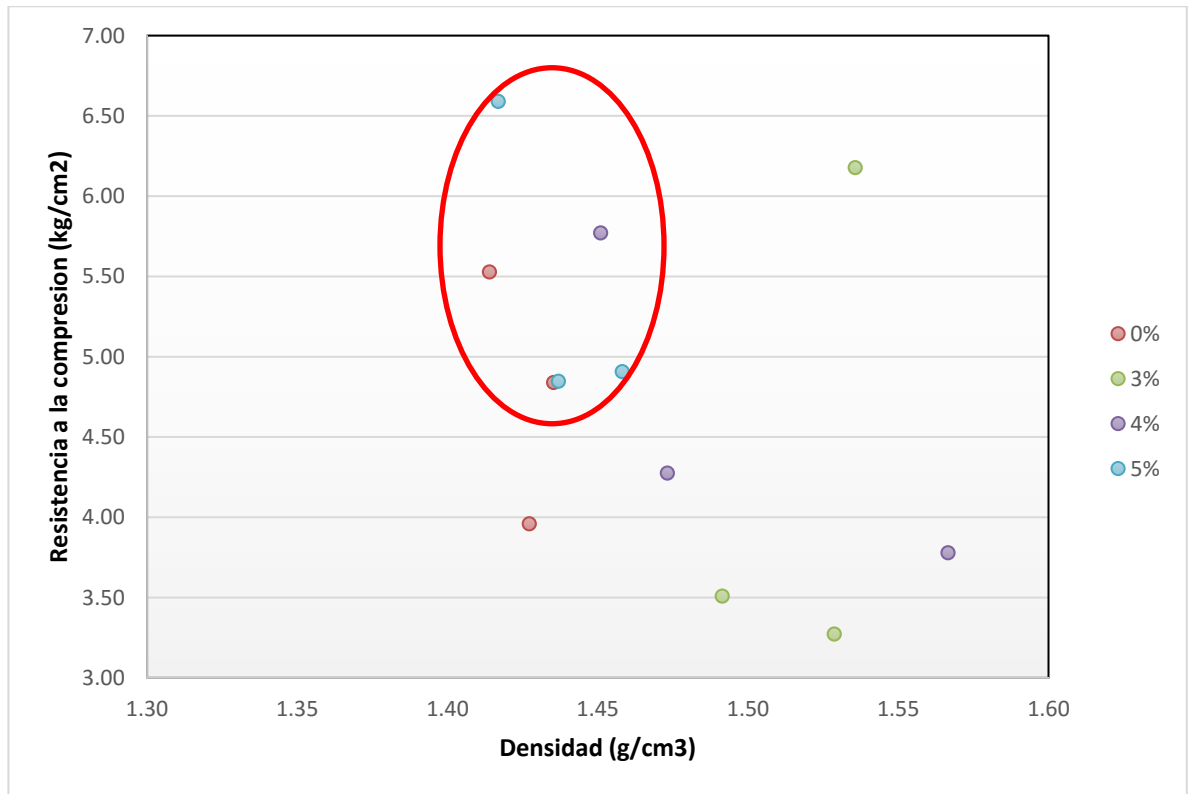
Tabla 9. Resultados de la resistencia a compresión de las probetas de suelo cemento para diferentes porcentajes de cemento.

PORCENTAJE DE CEMENTO	NÚMERO DE MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0%	1	0,47	0,075
	2	0,54	
	3	0,39	
	Promedio	0,47	
3%	1	0,32	0,162
	2	0,34	
	3	0,61	
	Promedio	0,42	
4%	1	0,37	0,104
	2	0,57	
	3	0,42	
	Promedio	0,45	
5%	1	0,65	0,098
	2	0,48	
	3	0,48	
	Promedio	0,54	

Fuente: Los Autores

Con los valores de resistencia y densidad (Anexo 10) se realiza una gráfica que relaciona estas dos variables, que muestra la influencia que tiene la densidad en la resistencia de las probetas y el contenido de cemento.

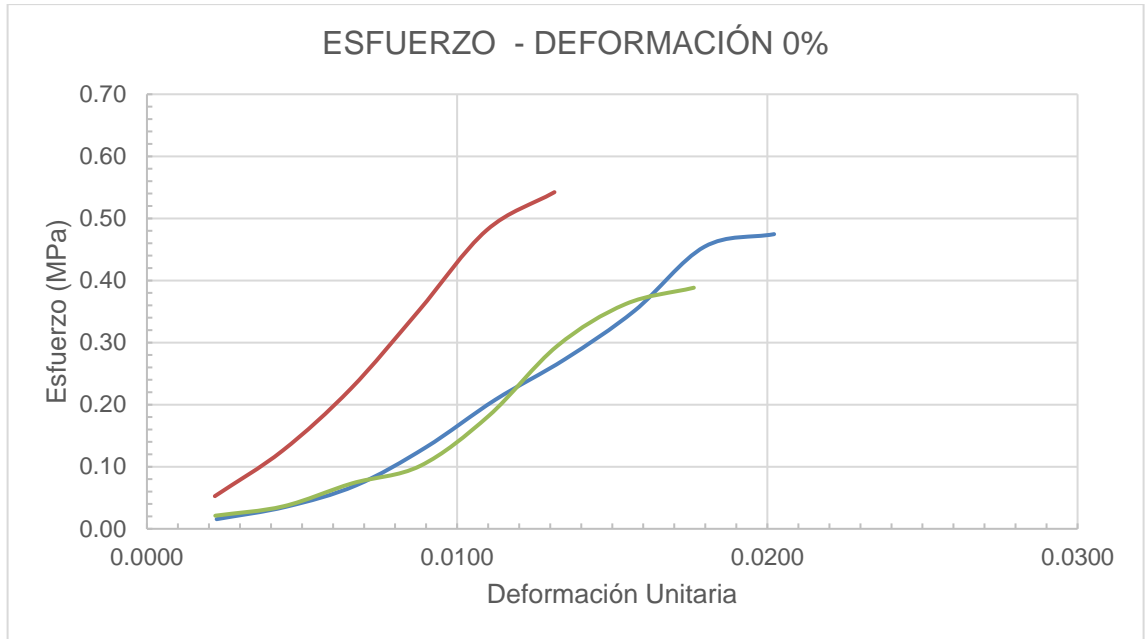
Gráfica 1. Densidad vs. Resistencia de los cilindros de suelo cemento.



Fuente: Los Autores

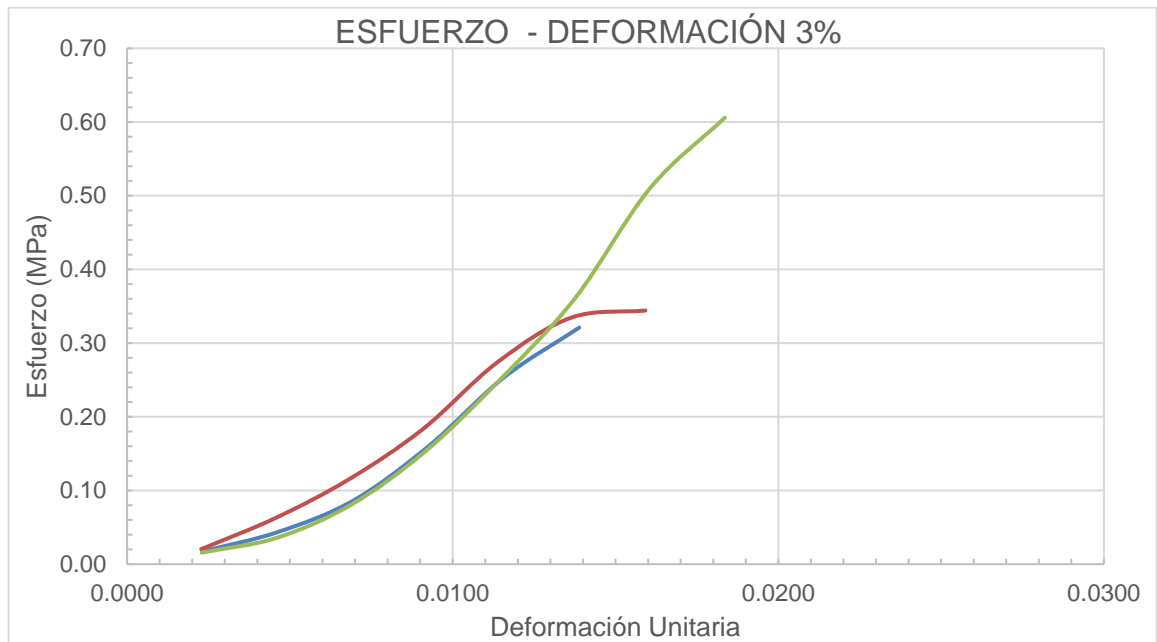
Con los valores de Esfuerzo y deformación unitaria (Anexo 11) se realizan las siguientes gráficas, las cuales indican la relación entre estas dos variables y muestran el aumento en la deformación unitaria a medida que incrementa el esfuerzo para los diferentes porcentajes de cemento.

Gráfica 2. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 0% de cemento.



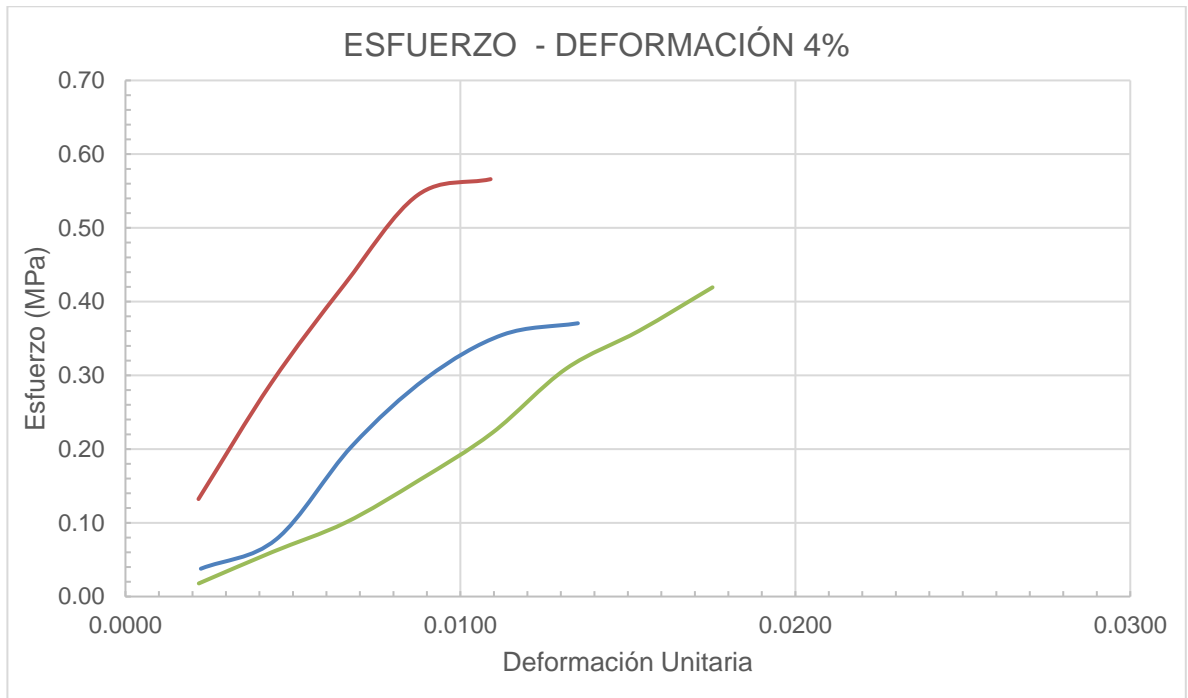
Fuente: Los Autores

Gráfica 3. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 3% de cemento.



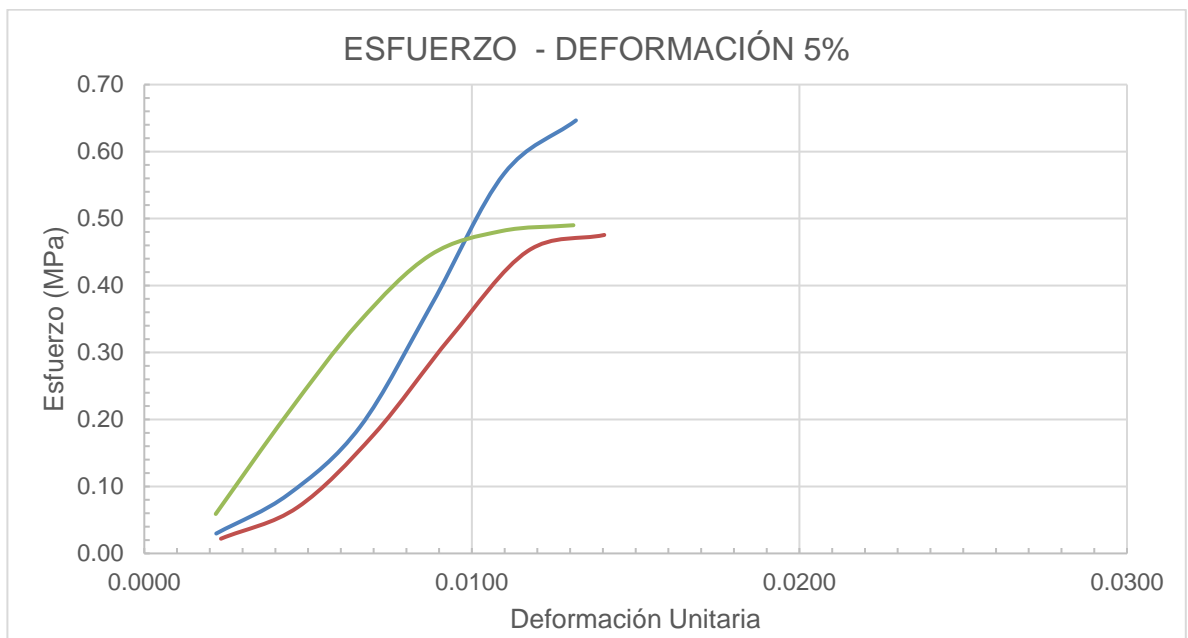
Fuente: Los Autores

Gráfica 4. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 4% de cemento.



Fuente: Los Autores

Gráfica 5. Esfuerzo vs. Deformación de Probetas de 5% de cemento.



Fuente: Los Autores

4.3 RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Los resultados de las pruebas a la compresión de los BTC se encuentran en la Tabla 10, al analizar los resultados se ve que el porcentaje del 15% fue el de mayor resistencia, a pesar que este cuenta con una desviación estándar superior a las demás, se encuentran bajas en general.

Tabla 10. Resultados de la resistencia a compresión de los BTC para diferentes porcentajes de escombros.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0% (Véase Anexo 13)	1	12,35	0,6	0,06
	2	11,89	0,5	
	3	12,44	0,6	
	Promedio			0,6
10% (Véase Anexo 14)	1	12,72	0,6	0,10
	2	15,36	0,7	
	3	17,38	0,8	
	Promedio			0,7
15% (Véase Anexo 15)	1	25,99	1,1	0,25
	2	19,65	0,9	
	3	13,61	0,6	
	Promedio			0,9
20% (Véase Anexo 16)	1	13,41	0,6	0,12
	2	17,54	0,8	
	3	12,3	0,6	
	Promedio			0,7

Fuente: Los Autores

4.4 RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS MURETES REALIZADOS CON BTC

Los resultados compilados en la tabla 11 nos muestran las respectivas resistencias a la compresión de los muretes para cada uno de los porcentajes de escombros. Se logra analizar que el más resistente fue el perteneciente al 20% y el menor el del 15%.

Tabla 11. Resultados de la resistencia a compresión de los muretes de BTC para diferentes porcentajes de escombros.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)
0% (Véase Anexo 17)	7,9	0,4
10% (Véase Anexo 18)	8,49	0,4
15% (Véase Anexo 19)	7	0,3
20% (Véase Anexo 20)	10,38	0,5

Fuente: Los Autores

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez se realizaron todos los ensayos de laboratorio se hizo un análisis detallado de acuerdo a los resultados obtenidos en cada una de las fases.

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Con respecto a los resultados presentados en la tabla 12 se realiza un análisis que permita caracterizar el suelo y analizar las propiedades que este puede brindar a la calidad de los BTC como de los muretes.

Tabla 12. Análisis de resultados de los ensayos de caracterización

LABORATORIO	RESULTADO OBTENIDO
Descripción e identificación de suelos (I.N.V. E – 102 – 07)	Suelo cohesivo de color café amarillento con partículas finas y baja presencia de impurezas, olor inorgánico, material húmedo, consistencia firme y estructura homogénea
Contenido de Materia Orgánica (I.N.V. E – 121 – 13) (Véase Anexo 1)	1,96% de materia orgánica
Límite líquido (I.N.V. E – 125 – 07) (Véase Anexo 2)	56,39% de limite líquido
Límite plástico e Índice de plasticidad (I.N.V. E – 126 – 07) (Véase Anexo 2)	37,05% de limite plástico y índice
Gravedad específica del suelo (I.N.V. E - 128) (Véase Anexo 3)	Gs=2,55
Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados (I.N.V. E – 214 – 13) (Véase Anexo 4)	61,52% de finos 38,48% de arenas
Próctor Modificado (I.N.V. E-142-07) (Véase Anexo 5)	50,5% de humedad óptima
Granulometría de escombro de concreto (I.N.V. E – 123 – 13) (Véase Anexo 6)	Cu=8,63 (Coeficiente de uniformidad) y Cc=2,96 (Coeficiente de curvatura)
Gravedad específica del escombro de concreto. (I.N.V. E – 223– 13) (Véase Anexo 7 y Anexo 8)	Gs(grueso)=2,7 Gs(fino)=2,5
Contenido de Humedad del suelo(I.N.V. E – 122– 13) (Véase Anexo 9)	16%
Granulometría Hidrómetro (I.N.V. E –	21% de arcillas

124- 07) (Véase Anexo 10)	40,52% de limos
---------------------------	-----------------

Fuente: Los Autores

Descripción e identificación de suelos (I.N.V. E – 102 – 07): El análisis realizado respecto a este laboratorio no es muy diferente al resultado ya que es un suelo cohesivo de color café amarillento con partículas finas y baja presencia de impurezas, olor inorgánico, material húmedo, consistencia firme y estructura homogénea.

Contenido de Materia Orgánica (I.N.V. E – 121 – 13): Un porcentaje de materia orgánica por debajo del 2% es una buena cantidad que no afectara las propiedades del mismo.

Límite líquido (I.N.V. E – 125 – 07) y Límite plástico e Índice de plasticidad (I.N.V. E – 126 – 07): Según la tabla de clasificación de suelos este es catalogado como un limo inorgánico.

Gravedad específica del suelo (I.N.V. E - 128): Según este valor el suelo estaría por debajo de la gravedad específica del suelo anteriormente clasificado por límites de Atterberg (Limo inorgánico) el cual tiene este valor entre 2,62 y 3,15, pero que debido a que es derivado de ceniza volcánica y estas tienen valores bajos (2,3-2,5) el valor es adecuado para este tipo de suelo.

Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados (I.N.V. E – 214 – 13): Con este resultado se puede analizar que el material con el que se va a realizar el BTC no es el ideal porque contiene poca cantidad de material fino, el cual le puede brindar gran resistencia a los bloques debido a su cohesión.

Próctor Modificado (I.N.V. E-142-07): El valor de humedad óptima se encuentra muy cerca del límite líquido; esto no es conveniente debido a que el suelo puede perder su maleabilidad muy fácilmente con un leve aumento de humedad.

Granulometría de escombros de concreto (I.N.V. E – 123 – 13): Este es un material bien gradado, al ser $C_u > 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$.

Gravedad específica del escombros de concreto. (I.N.V. E – 223– 13): Estos valores se encuentran dentro de los estipulados para agregados gruesos y finos.

Contenido de Humedad del suelo (I.N.V. E – 122– 13): Se puede analizar que este material se encuentra relativamente seco debido a su poco contenido de humedad, cabe notar que este ensayo se realizó antes de la realización de los BTC y no al momento de extracción de la muestra.

Granulometría Hidrómetro (I.N.V. E – 124– 07): Se puede observar que la cantidad de limos son 1,92 veces la cantidad de arcillas.

5.2 RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CEMENTO

Tabla 13. Análisis de resultados de la resistencia a compresión de las probetas de suelo cemento para diferentes porcentajes de cemento.

PORCENTAJE DE CEMENTO	RESULTADO OBTENIDO (PROMEDIO) (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0%	0,47	0,075
3%	0,42	0,162
4%	0,45	0,104
5%	0,54	0,098

Fuente: Los Autores

Una vez obtenidos los resultados de las probetas de suelo cemento con los diferentes porcentajes del aglutinante se puede observar que la mayor resistencia fue la del 5% con una resistencia de 0,54 y la menor 3% con una resistencia de 0,42 aún por debajo del 0% con una resistencia de 0,47.

Comparando la gráfica 5 correspondiente al 5% de cemento con las gráficas 2, 3 y 4 correspondientes al 0%, 3% y 4% de cemento; se analiza que la probeta de suelo con adición del 5% de cemento es mucho más rígida que las otras probetas con distintas adiciones.

La desviación estándar de cada una de las dosificaciones (Tabla 13) muestra que los resultados arrojados en éstas no son confiables debido a que sus valores son muy representativos ya que estos se encuentran alrededor del 25% del valor de su respectivo promedio, principalmente las del 0% de cemento.

En la gráfica 1 se puede notar que la relación entre la resistencia y la densidad del suelo-cemento es importante pero no tan influyente debido a que a medida que aumenta el porcentaje de cemento se puede perder humedad debido a la alta absorción por parte del aglutinante y alejar esta variable de la humedad óptima lo que ocasiona una pérdida de resistencia. La densidad de las probetas se ve poco influenciada cuando hay cambios leves en la cantidad de cemento.

Analizando los resultados se llega a la decisión de escoger el porcentaje del 5% de cemento ya que fue el que obtuvo mayor resistencia y menor deformación unitaria.

5.3 RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Con base en los datos presentados en la tabla 14 se realiza un análisis acerca de los resultados obtenidos en esta fase.

Tabla 14. Análisis de resultados de la resistencia a compresión de los BTC para diferentes porcentajes de escombros.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0%	0,6	0,06
10%	0,7	0,1
15%	0,9	0,25
20%	0,7	0,12

Fuente: Los Autores

En los resultados obtenidos en las pruebas a compresión de los BTC (Tabla 10) se puede observar una resistencia mayor en porcentaje del 15% de escombros por encima de los demás. Mostrando tendencia de incremento hasta llegar al 15% y reducción al pasar de este al 20%. En comparación con la NTC 5324 los resultados son muy inferiores a los exigidos que son de mínimo 2 MPa.

La desviación estándar de cada uno de las proporciones de BTC (Tabla 14) muestra que los resultados arrojados en estas son confiables debido a sus valores no son muy representativos ya que estos se encuentran alrededor del 14% del valor de su respectivo promedio con excepción del resultado del 15% de escombros que tiene un valor del 25% respecto a su promedio.

Al comparar el resultado de mayor resistencia a compresión de los BTC individuales (0,9 MPa) con los resultados de investigaciones anteriores realizados en la Universidad libre (BTC con adición de cal y ladrillo) (0,3 MPa – 0,7 MPa – 0,4 MPa – 0,45 MPa – 0,3 MPa) se puede notar que el resultado de esta investigación es superior

Comparando los resultados de mayor resistencia a la compresión de esta investigación (0,9 MPa) con la investigación realizada por Vásquez et al, 2015 en la universidad de Cuenca – Ecuador (2,612 MPa) (BTC con cáscara de arroz) se observa una gran diferencia, siendo los resultados de la segunda investigación muy superiores, Algunos superándolos casi por el triple.

La resistencia a la compresión de los BTC de la investigación de Molina et al, de la Universidad Libre de (BTC con adición de cartón, arena y cal con resistencia a la compresión entre 4.41MPa y 9.59MPa), como se observa obtienen resultados superiores a 0,9 MPa obtenidos en esta investigación.

Los resultados de resistencia a la compresión de los BTC de esta investigación como se ha indicado fue de 0,9 MPa fue mayor a la resistencia obtenida por Arteaga et al, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (BTC con adición de arena y cemento con una resistencia a la compresión de 0,25 MPa).

Realizando la comparación de los mejores resultados obtenidos en esta investigación (0,9 MPa) en resistencia a compresión con respecto a la realizada por Cabo en la Universidad Pública de Navarra (BTC con adición de cemento o cal fue de 14,4 MPa), se logra observar que los resultados de esta investigación son inferiores.

Comparando los resultados de mayor resistencia a la compresión de esta investigación de 0.9 MPa con la investigación realizada por Botero et al, 2015 en la universidad EAFIT de Medellín quienes obtienen resistencias de 5,34 MPa, al usar una Mezcla de 25% tierra + 5% cemento + 70% Escombros, se observa una gran diferencia, siendo los resultados de la segunda investigación superiores, algunos valores superándolos más de 5 veces su resistencia.

5.4 RESISTENCIA MECÁNICA DE LOS MURETES REALIZADOS CON BTC

En la tabla 15 se presentan los resultados de las pruebas de compresión realizadas a muretes fabricados con BTC fabricados con suelo/cemento/escombros.

Tabla 15. Análisis de los resultados de la resistencia a compresión de los muretes de BTC para diferentes porcentajes de escombros.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	RESULTADO OBTENIDO
0%	0,4 MPa
10%	0,4 MPa

15%	0,3 MPa
20%	0,5 MPa

Fuente: Los Autores

- En los resultados obtenidos en las pruebas a compresión de los muretes de BTC se puede observar una resistencia mayor en porcentaje del 20% de escombros con una resistencia de 0,5MPa y el más bajo es el del 15% con 0,3MPa.
- Al comparar los valores arrojados en las tablas 10 y 11 de los bloques individualmente con los de los bloques en murete se puede identificar una notable reducción en la resistencia desde el 33% para el valor del 0% de escombros hasta el 67% para el valor de 15% de escombros.
- La resistencia a la compresión de los muretes de la investigación de Molina et al de la Universidad Libre Seccional Pereira de Bloques de tierra comprimida con adición de cartón, arena y cal, arroja unos resultados muy superiores a los de esta investigación con un resultado de 1.35MPa que sería más del doble de la resistencia adquirida por el murete con mejor resistencia de este proyecto que fue de 0,5 MPa.
- Los resultados de resistencia a la compresión de los muretes de la investigación actual dan por debajo de los de la investigación realizada por Arteaga et al en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia con BTC con adición de arena y cemento, la cual con 1,17 Mpa es más del doble de la resistencia de mejor resultado de esta investigación correspondiente a 0,5MPa.

6. CONCLUSIONES

La caracterización del suelo arrojó que éste es un suelo limo-arenoso inorgánico, suelo con baja cohesión y bajo contenido de arcilla, textura que no es favorable al momento de alcanzar resistencias a la compresión mayores a 2 MPa.

La dosificación con mejores resultados fue aquella con 80% de suelo derivado de cenizas volcánicas, 15% de residuo de concreto y 5% de cemento, siendo ésta combinación porcentual la que arrojó mejores resultados de investigaciones anteriores con adición de ladrillo en lugar de escombro de concreto y cal en lugar de cemento

Al ser éste un limo, este posee poca cohesión comparado con una arcilla, la cual es la utilizada para hacer ladrillos.

La dosificación de cemento que mejores resultados obtuvo, es igual al 5%, debido a que este le aportó más resistencia y rigidez al suelo.

Aunque la resistencia de los BTC no es mayor o igual a la mínima exigida por la norma, se puede evidenciar una muy amplia posibilidad de llegar al objetivo si se llevan a cabo diferentes procedimientos y adiciones extra.

La resistencia a la compresión de los BTC individuales en esta investigación siempre es superior a la resistencia a la compresión de los muretes, de lo cual se puede evidenciar algún tipo de error a la hora de realizar la pega de los bloques.

De los BTC con suelos derivado de cenizas volcánicas incluidos en los antecedentes, los de esta investigación fueron los que tuvieron mejor resultado, con excepción de aquellos que tienen adición de arena, cartón y cemento.

7. RECOMENDACIONES

Los muretes arrojaron resultados muy por debajo de los BTC, por lo tanto, se sugiere realizar otro procedimiento, otro tipo de muretes y otro material de pega diferente al mortero.

Para futuras investigaciones se sugiere aumentar la dosis de cemento pensando en la resistencia, pero también en la economía del BTC.

Se sugiere también dosificar más cantidad de escombros en un diámetro menor, viendo los buenos resultados de algunos antecedentes.

A la hora del secado de los BTC se sugiere mantener húmedos los bloques durante los primeros días para que así el cemento tenga su correspondiente curado.

Al observar las desviaciones estándar en general, se sugiere realizar más probetas tanto para la determinación del porcentaje óptimo de cemento como para la determinación de la mezcla óptima de BTC, para así obtener resultados más precisos.

Se sugiere utilizar los bloques enteros a la hora de la prueba y de la realización del murete, debido a que, al cortarlos a la mitad, se puede ver afectada su composición debido a que esta mezcla no es del todo homogénea.

8. BIBLIOGRAFÍA

ROMERO, Emilio. Residuos de construcción y demolición. Universidad de Huelva. 2007.

GONZALEZ, Andrés Mauricio. Técnica Constructiva con tierra compactada tecnología sostenible sin explorar. Universidad de la Salle. 2012

RHYNER, Kurt. Ideas sobre bloques prensados de tierra. En: Revista Ecosur. No. 40 (Ene.,2004).

VASQUEZ HERNANDEZ, Alejandro; BOTERO BOTERO, Luis Fernando; CARVAJAL ARANGO, David. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Medellín, 2015. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad EAFIT. Facultad De Ingeniería.

FRATELLI, María Graciela. Suelos, fundaciones y muros. Caracas: Libros Técnicos ASTROM, 1993.

GARCIA ROMERO, Emilia. Las Arcillas: Propiedades y usos (En Línea). <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>. (Citado en 11 de Agosto de 2016).

LOPEZ VIEJO, Jorge Luis; LORENZANA FERNANDEZ, Marta. Construcción con Tierra. 2008.

PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. <http://ieham.org/html/docs/La tierra como material de construccion.pdf>. (Citado el 11 de Agosto de 2016).

GONZALEZ, Andrés. Cemento-Concreto espacio y materialidad. <http://es.slideshare.net/archieg/concreto-8189329>. (Citado el 11 de agosto de 2016).

INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL ARGENTINA. Boletines Temáticos: Cenizas volcánicas. En Línea, 2008. < <http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Cenizas1.pdf>>. (Citado el 11 de agosto de 2016).

CEMPRE. Reciclaje de Escombros. Uruguay. 2008.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO
TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram
Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO
TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram
Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

CHOQUE, Godofredo Edgar; HUAMAN MEZA, Julio. Adobes comprimidos Suelo-
Cemento, una alternativa ecológica. CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL: 2009: Lima.

EL TIEMPO. Soy Ecolombiano: Vivienda y Construcción sostenible. 8 Pag.

ARTEAGA MEDINA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ
JUNCO, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo.
2011. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y
CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).
ALCALDIA DE PEREIRA. Pereira rural y paisajística. Corregimiento De Arabia.
2009 [http://pereiraruralypaisajistica.blogspot.com.co/2009_11_01_archive.html].

AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María
Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de
aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO
DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

POZZI-ESCOT, Denise. BERNUY, Katiusha.; TORRES, Henry. P; ACHING, Jorge.
V. (2009). Sismo-resistencia de las construcciones en tierra del santuario
arqueológico de Pachacamac.

AGUIRRE, Ramón; GUERRERO, Luis Fernando. Refuerzos y protecciones
superficiales sostenibles para bóvedas de adobe recargado en México.
Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Mexico. En: SEMINARIO
IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA
(15°: 2015: Ecuador).

GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ, Armenia.
Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos
estabilizados. Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires. Argentina. En:
SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON
TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María
Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de

aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

VASQUEZ, Marcelo; GUZMÁN, Daniel Sebastián; IÑIGUEZ, Jorge Mateo. Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. Universidad de Cuenca - Ecuador, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ. Armenis G. Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos estabilizado. Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

VINASCO, Gloria Milena; ARENAS CASTAÑO, Mónica Andrea; LONDOÑO, Alejandro; PARRA, Oscar Andrés; VALLEJO, Lina Marcela. Bloques de tierra comprimida con suelos derivados de ceniza volcánica y materiales reciclables: una alternativa ecológica. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

SANCHEZ, Mirta A.; CASENAVE, Silva N.; FORNARI, Javier; KELLER, Susana; AMAYA, Federico; BELINDE, Lucia; BELTRAMO, Marilina. Técnicas adoptadas en la elaboración de hormigón para tener una matriz a base de tierra. Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

ARTEAGA MEDINA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ JUNCO, Oscar Javier. Bloques de tierra comprimida como material constructivo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15° : 2015 : Ecuador).

DAS, Braja M. Resistencia cortante del suelo. En: Fundamentos de ingeniería geotécnica. 1 ed. Sacramento: Bill Stenquist, Suzanne Jeans, 2001.

MOHR, O. ¿Qué circunstancias hacen que el límite elástico y la ruptura a un material?. Revista de la Asociación de Ingenieros Alemanes.1900.

COULOMB, C. A. "Ensayo sobre la aplicación de las normas de máximos y mínimos en algunos problemas de estática, en la arquitectura. Memorias de Matemáticas y Física. 1776.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Suelos: determinación de la resistencia al corte método de corte directo (cd) (consolidado drenado). I.N.V. E – 154 – 07. Bogotá: INVIAS, 2007.

DAS, Braja M. Propiedades geotécnicas del suelo y del suelo esforzado. En: Principios de ingeniería de cimentaciones. 4 ed. Sacramento: International Thomson Editores, 2001.

BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. Diversas expresiones de la construcción sostenible. En: Construcción sostenible. Cataluña: Universidad politécnica de Cataluña, 2011. p. 51-125.

BESTRATEN, S.; HORMÍAS, E. y ALTEMIR, A.. Construcción con tierra en el siglo XXI. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña, 2010. p. 5-20.

TORRES, Rafael E.. Investigaciones de estructuras para viviendas de bajo costo y el rol del cismid. Perú: CISMID, 1990. p. 424-445.

LOBO MORALES, Diego Alejandro; LONDOÑO ZULUAGA, Emma; MARÍN GAVIRIA, Paula Yulieth; OSORIO CEBALLOS, Stefania; VALENCIA RESTREPO, Paola Melissa. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

VELÁSQUEZ ZULUAGA, Yigal; MARTÍNEZ, Elsy Rubiela; MARTÍNEZ PARRA, Julián Felipe; TAPASCO BENJUMEA, Edwin; VACA, Juan Esteban y LÓPEZ JARAMILLO, Cristian David. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.


CARDONA RINCÓN, Alejandra; MENDOZA HERRERA, Andrés Felipe; GÓMEZ ECHEVERRY, Manuela; LOTERO VALENCIA, Mateo y DURAN SANTA, Daniela. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

AGUDELO MONTES, Lina Marcela; MEJÍA JIMÉNEZ, Jennifer; TORO, Andrés Felipe; OSORIO GONZÁLEZ, Brian; PUERTA RIVERA, Juan David y MOSQUERA, Jorge Andrés. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

CAICEDO, Aura Cristina; GOMEZ MORALES, Laura Francelly; LOAIZA LEAL, Laura; MURILLO SALAZAR, Lizeth; SALAZAR BEDOYA, Vanessa y YUSTI CANO, Daniela. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 12,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.


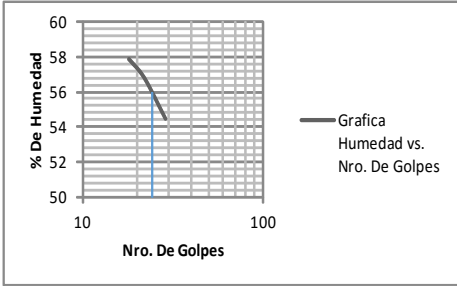
ANEXOS

Anexo 1. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de contenido de materia orgánica.

	CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PÉRDIDA POR IGNICIÓN																
	NORMA	I.N.V. E-121-13															
	ESPECIFICACIÓN	Deberá tomarse una muestra significativa, colocarla en un recipiente y llevarla al horno a 110°C, posteriormente se coloca en un desecador															
	Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016		Trabajo No.		1								
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050				Ensayo No.		1									
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055															
Localización	Vereda la Floresta - Sector la Florida		Coordenadas	N 04°45'21,7"		E 75°36'35,3"											
Perforación y/o Excavación No.	1		Muestra No.	1		Altura	1743 msnm										
Descripción de la Muestra	Derivados de Cenizas Volcanicas		Color	Amarillo Oscuro		Profundidad	En un costado de la ladera										
Elementos utilizados para Extraccion	Pala, Palín, Asadón, Costales					Humedad	humeda										
Equipo utilizado para el ensayo:	* Recipiente * Horno		* Desecador * Balanza de 2 grados de precisión														
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Peso del cristal o plato de evaporación + suelo seco al horno antes de ignición (gr)</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">173.6 g</td> <td rowspan="3" style="padding: 10px; vertical-align: middle;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #f4a460; padding: 2px;">% Materia Organica</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1,96%</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de ignición (gr)</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">172.9 g</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 g</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">138.82 g</td> </tr> </table>									Peso del cristal o plato de evaporación + suelo seco al horno antes de ignición (gr)	173.6 g	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #f4a460; padding: 2px;">% Materia Organica</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1,96%</td> </tr> </table>	% Materia Organica	1,96%	Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de ignición (gr)	172.9 g	Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 g	138.82 g
Peso del cristal o plato de evaporación + suelo seco al horno antes de ignición (gr)	173.6 g	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #f4a460; padding: 2px;">% Materia Organica</td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1,96%</td> </tr> </table>	% Materia Organica	1,96%													
% Materia Organica	1,96%																
Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de ignición (gr)	172.9 g																
Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 g	138.82 g																


Fuente: Los Autores

Anexo 2. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de límite líquido y límite plástico del suelo.

 DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE SUELOS Y DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS																																																																																														
NORMA		I.N.V. E – 125 – 13 y I.N.V. E – 126 – 13																																																																																												
ESPECIFICACIÓN		Para limite liquido, se debe humedecer el suelo y despues de depocitarlo en la copa de casagrande, se separa en dos para golpearlo hasta que se unan ambas partes. Para limite plastico se deben hacer rollos hasta que estos tengan 3mm de diametro y no tengan fisuras																																																																																												
Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016			Trabajo No.	1																																																																																						
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050				Ensayo No.	2																																																																																							
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055																																																																																												
Localización		Vereda la Floresta - Sector la Florida		Coordenadas		N 04°45'21,7"		E 75°36'35,3"																																																																																						
Perforación y/o Excavación No.		1		Muestra No.		1		Altura		1743 msnm																																																																																				
Descripción de la Muestra		Derivados de Cenizas Volcanicas		Color		Amarillo Oscuro		Profundidad		En un costado de la ladera																																																																																				
Elementos utilizados para Extraccion		Pala, Palín, Asadón, Costales				Humedad		humeda																																																																																						
Equipo utilizado para el ensayo:		* Recipiente * Horno		* Copa de casagrande * Balanza de 2 grados de precisión		* Espatula																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>LIMITE LIQUIDO</th> <th>Prueba 1</th> <th>Prueba 2</th> <th>Prueba 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Nro. de Golpes</td><td>29</td><td>22</td><td>18</td></tr> <tr><td>Recip. No.</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>Peso Recip. + S.H.(g)</td><td>60,7</td><td>55,2</td><td>55,2</td></tr> <tr><td>Peso Recip. + S.S. (g)</td><td>52,59</td><td>50,49</td><td>49,59</td></tr> <tr><td>Peso Recipiente (g)</td><td>37,7</td><td>42,2</td><td>39,9</td></tr> <tr><td>Peso Agua (g)</td><td>8,11</td><td>4,71</td><td>5,61</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco (g)</td><td>14,89</td><td>8,29</td><td>9,69</td></tr> <tr><td>% de Humedad</td><td>54,47</td><td>56,82</td><td>57,89</td></tr> <tr><td>Limite Liquido</td><td>56,39</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>LIMITE PLASTICO</th> <th>Prueba 1</th> <th>Prueba 2</th> <th>Prueba 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Recip. No.</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>Peso Recip. + S.H. (g)</td><td>44,89</td><td>47,21</td><td>42,92</td></tr> <tr><td>Peso Recip. + S.S. (g)</td><td>42,34</td><td>45,91</td><td>41,51</td></tr> <tr><td>Peso Recipiente (g)</td><td>39,9</td><td>42,2</td><td>37,9</td></tr> <tr><td>Peso Agua (g)</td><td>2,55</td><td>1,3</td><td>1,41</td></tr> <tr><td>Peso Suelo Seco (g)</td><td>2,44</td><td>3,71</td><td>3,61</td></tr> <tr><td>% De Humedad</td><td>1,05</td><td>35,04</td><td>39,06</td></tr> <tr><td>Limite plastico (%)</td><td>37,05</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>  <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">LIMITES DE ATTERBERG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>LIMITE LIQUIDO</td><td>56,39</td></tr> <tr><td>LIMITE PLASTICO</td><td>37,05</td></tr> <tr><td>INDICE DE PLASTICIDAD</td><td>19,34</td></tr> </tbody> </table>											LIMITE LIQUIDO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Nro. de Golpes	29	22	18	Recip. No.	1	3	2	Peso Recip. + S.H.(g)	60,7	55,2	55,2	Peso Recip. + S.S. (g)	52,59	50,49	49,59	Peso Recipiente (g)	37,7	42,2	39,9	Peso Agua (g)	8,11	4,71	5,61	Peso Suelo Seco (g)	14,89	8,29	9,69	% de Humedad	54,47	56,82	57,89	Limite Liquido	56,39			LIMITE PLASTICO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Recip. No.	1	2	3	Peso Recip. + S.H. (g)	44,89	47,21	42,92	Peso Recip. + S.S. (g)	42,34	45,91	41,51	Peso Recipiente (g)	39,9	42,2	37,9	Peso Agua (g)	2,55	1,3	1,41	Peso Suelo Seco (g)	2,44	3,71	3,61	% De Humedad	1,05	35,04	39,06	Limite plastico (%)	37,05			LIMITES DE ATTERBERG		LIMITE LIQUIDO	56,39	LIMITE PLASTICO	37,05	INDICE DE PLASTICIDAD	19,34
LIMITE LIQUIDO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3																																																																																											
Nro. de Golpes	29	22	18																																																																																											
Recip. No.	1	3	2																																																																																											
Peso Recip. + S.H.(g)	60,7	55,2	55,2																																																																																											
Peso Recip. + S.S. (g)	52,59	50,49	49,59																																																																																											
Peso Recipiente (g)	37,7	42,2	39,9																																																																																											
Peso Agua (g)	8,11	4,71	5,61																																																																																											
Peso Suelo Seco (g)	14,89	8,29	9,69																																																																																											
% de Humedad	54,47	56,82	57,89																																																																																											
Limite Liquido	56,39																																																																																													
LIMITE PLASTICO	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3																																																																																											
Recip. No.	1	2	3																																																																																											
Peso Recip. + S.H. (g)	44,89	47,21	42,92																																																																																											
Peso Recip. + S.S. (g)	42,34	45,91	41,51																																																																																											
Peso Recipiente (g)	39,9	42,2	37,9																																																																																											
Peso Agua (g)	2,55	1,3	1,41																																																																																											
Peso Suelo Seco (g)	2,44	3,71	3,61																																																																																											
% De Humedad	1,05	35,04	39,06																																																																																											
Limite plastico (%)	37,05																																																																																													
LIMITES DE ATTERBERG																																																																																														
LIMITE LIQUIDO	56,39																																																																																													
LIMITE PLASTICO	37,05																																																																																													
INDICE DE PLASTICIDAD	19,34																																																																																													


Fuente: Los Autores

Anexo 3. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del suelo.

 INVIAS DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL																				
NORMA		I.N.V. E-128-13																		
ESPECIFICACIÓN		Se debe tener muy en cuenta la temperatura del agua durante la realización del ensayo, y la correcta utilización de la bomba de vacíos																		
Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016			Trabajo No.		1											
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050				Ensayo No.		3												
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055																		
Localización		Vereda la Floresta - Sector la Florida		Coordenadas		N 04°45'21,7"		E 75°36'35,3"												
Perforación y/o Excavación No.		1		Muestra No.		1		Altura												
								1743 msnm												
Descripción de la Muestra		Derivados de Cenizas Volcanicas		Color		Amarillo Oscuro		Profundidad												
								En un costado de la ladera												
Elementos utilizados para Extracción		Pala, Palín, Asadón, Costales						Humedad												
								humeda												
Equipo utilizado para el ensayo:		* Pcnometro		* Tara		* Bomba de vacío														
		* Embudo		* Balanza de 2 grados de precisión		* Varilla mezcladora														
		* Termometro		* Horno																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Masa de los sólidos secos al horno</td> <td>28,64 g</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> <table border="1"> <tr> <td>Gravedad Especifica</td> <td>2,55</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td>Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo</td> <td>361,8 g</td> </tr> <tr> <td>Masa del picnómetro y del agua a la temperatura del ensayo</td> <td>344,38 g</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de ensayo</td> <td>27 °C</td> </tr> </table>										Masa de los sólidos secos al horno	28,64 g	<table border="1"> <tr> <td>Gravedad Especifica</td> <td>2,55</td> </tr> </table>	Gravedad Especifica	2,55	Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo	361,8 g	Masa del picnómetro y del agua a la temperatura del ensayo	344,38 g	Temperatura de ensayo	27 °C
Masa de los sólidos secos al horno	28,64 g	<table border="1"> <tr> <td>Gravedad Especifica</td> <td>2,55</td> </tr> </table>	Gravedad Especifica	2,55																
Gravedad Especifica	2,55																			
Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo	361,8 g																			
Masa del picnómetro y del agua a la temperatura del ensayo	344,38 g																			
Temperatura de ensayo	27 °C																			


Fuente: Los Autores

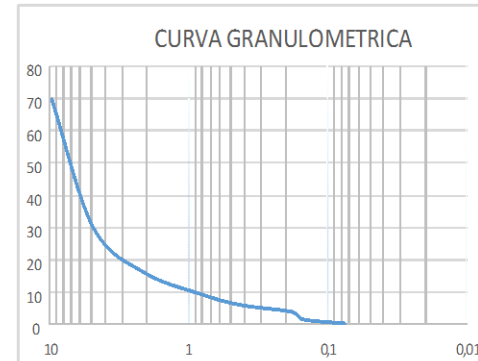
Anexo 5. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de próctor modificado.

 MÉTODO DE ENSAYO RELACIONES DE HUMEDAD – MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)														
NORMA		I.N.V. E-142-07												
ESPECIFICACIÓN		El método utilizado es el Método A – Un molde de diámetro 101.6 mm (4") : material de un suelo que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) (Secciones 3 y 4)												
Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016			Trabajo No.				1			
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050	Ensayo No.				5							
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055												
Localización		Vereda la Floresta - Sector la Florida			Coordenadas		N 04°45'21,7"			E 75°36'35,3"				
Perforación y/o Excavación No.		1			Muestra No.		1			Altura		1743 msnm		
Descripción de la Muestra		Derivados de Cenizas Volcanicas			Color		Amarillo Oscuro			Profundidad		En un costado de la ladera		
Elementos utilizados para Extracción		Pala, Palín, Asadón, Costales			Humedad					Muy humeda				
Equipo utilizado para el ensayo:		* Molde de 101,6mm de diámetro			* Regla y/o metro			* Horno de Secado						
		* Martillo de operación Mecánica			* Tamiz No. 4									
		* Balanzas de 1 y 2 grados de precisión			* Herramientas misceláneas									
VOLUMEN DEL MOLDE	Muestra	Peso Molde (gr)	Peso Molde + Suelo Humedo (gr)	Peso Suelo Humedo (gr)	CONTENIDO DE HUMEDAD						DENSIDAD SUELO y _h (gr/cm ³)	DENSIDAD SUELO y _d (gr/cm ³)	DENSIDAD SUELO y _h (Kg/m ³)	DENSIDAD SUELO y _d (Kg/m ³)
					Peso Tara (gr)	Peso Humedo + Tara (gr)	Peso Humedo (gr)	Peso Seco + Tara (gr)	Peso Seco (gr)	W %				
ALTURA	1	3360,0	4522,000	1162,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0%	1,231	1,231	1231,29477	1231,29477
	2	3360,0	4838,000	1478,0	59,800	173,8	114,010	145,0	85,220	33,78%	1,566	1,171	1566,13913	1170,655
DIÁMETRO	3	3360,0	4843,000	1483,0	68,070	156,1	87,990	133,7	65,580	34,17%	1,571	1,171	1571,4373	1171,21102
	4	3360,0	4975,000	1615,0	62,460	135,6	73,130	113,5	51,060	43,22%	1,711	1,195	1711,30899	1194,85078
RADIO	5	3360,0	4823,000	1463,0	62,410	144,6	82,150	114,6	52,150	57,53%	1,550	0,984	1550,24462	984,117551
	6	3360,0	3360,000	0,0	46,380	170,3	123,900	120,4	73,990	67,46%	0,000	0,000	0	0
ÁREA														
81,08														
VOLUMEN														
943,72														
					HUMEDAD ÓPTIMA		DENSIDAD SECA MÁXIMA		DENSIDAD HUMEDA					
					51%		1195 Kg/m ³		1711 Kg/m ³					

Fuente: Los Autores

Anexo 6. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de granulometría del suelo.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO										
	NORMA		I.N.V. E-123-13							
	ESPECIFICACIÓN		Los tamices a utilizar deben ser: 10, 20, 40, 60, 140, 200							
	Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016			Trabajo No.	1	
		Juan Sebastian Leon Gomez	374121050					Ensayo No.	6	
Vanessa Salazar Bedoya		341211055								
Localización		Universidad Libre Sede Belmonte		Coordenadas		N 04°48'22,68"		E 75°45'35,81"		
Perforación y/o Excavación No.		1		Muestra No.		1		Altura 1245 msnm		
Descripción de la Muestra		Escombro de concreto		Color		Gris		Profundidad		
Elementos utilizados para Extracción		Maseta				Humedad		Seco		
Equipo utilizado para el ensayo:		* Recipiente * Horno		* Copa de casagrande * Balanza de 2 grados de precisión		* Espatula				
ABERTURA DEL TAMIZ EN MM	PESO TAMIZ EN g	PESO TAMIZ + SUELO RETENIDO EN g	PESO RETENIDO EN g	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA ACUMULADO				
9,5	609,61	1053,76	444,15	30,63	30,63	69,37				
4,75	681,17	1258,69	577,52	39,83	70,46	29,54				
2	564,6	766,9	202,3	13,95	84,41	15,59				
0,85	521,48	609,31	87,83	6,06	90,47	9,53				
0,43	509,66	561,78	52,12	3,6	94,07	5,93				
0,18	509,46	510,77	31,31	3,16	96,23	3,77				
0,15	493,79	527,91	34,12	2,35	98,58	1,42				
0,075	297,41	315,92	18,51	1,28	99,86	0,14				
FONDO	396,76	398,86	2,1	0,14	100	0				
Cu		8,63		Cc		2,96				



Fuente: Los Autores

Anexo 7. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del escombro de concreto (Fino).

UNIVERSIDAD LIBRE COLOMBIA																			
INVIAS GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (FINO)																			
NORMA		I.N.V. E – 223– 13																	
ESPECIFICACIÓN		Se debe tener muy en cuenta la temperatura del agua durante la realización del ensayo, y la correcta utilización de la bomba de vacíos																	
Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016			Trabajo No.	1											
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050	Ensayo No.			7													
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055																	
Localización	Universidad Libre Sede Belmonte		Coordenadas	N 04°48' 22,68"			E 75°45' 35,81"												
Perforación y/o Excavación No.	1		Muestra No.	1		Altura	1245 msnm												
Descripción de la Muestra	Escombro de concreto		Color	Gris		Profundidad													
Elementos utilizados para Extracción	Maseta		Humedad	Seco															
Equipo utilizado para el ensayo:	* Picnometro		* Tara		* Bomba de vacío														
	* Embudo		* Balanza de 2 grados de precisión		* Varilla mezcladora														
	* Termometro		* Horno																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Masa de los sólidos secos al horno</td> <td>28,97 g</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Gravedad Especifica</td> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">2,50</td> </tr> <tr> <td>Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo</td> <td>367,45 g</td> </tr> <tr> <td>Masa del picnometro y del agua a la temperatura del ensayo</td> <td>350,03 g</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de ensayo</td> <td>27 °C</td> </tr> </table>										Masa de los sólidos secos al horno	28,97 g	Gravedad Especifica	2,50	Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo	367,45 g	Masa del picnometro y del agua a la temperatura del ensayo	350,03 g	Temperatura de ensayo	27 °C
Masa de los sólidos secos al horno	28,97 g	Gravedad Especifica	2,50																
Masa del picnómetro, el agua y los sólidos de suelo a la temperatura de ensayo	367,45 g																		
Masa del picnometro y del agua a la temperatura del ensayo	350,03 g																		
Temperatura de ensayo	27 °C																		


Fuente: Los Autores

Anexo 8. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de gravedad específica del escombro de concreto (Grueso).

	INVIAS GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (GRUESO)																	
	NORMA	I.N.V. E – 223– 13																
	ESPECIFICACIÓN	Se debe tener muy en cuenta la temperatura del agua durante la realización del ensayo, y la correcta utilización de la bomba de vacíos																
	Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016		Trabajo No.		1									
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050				Ensayo No.		8										
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055																
Localización	Universidad Libre Sede Belmonte		Coordenadas	N 04°48'22,68"		E 75°45'35,81"												
Perforación y/o Excavación No.	1		Muestra No.	1		Altura	1245 msnm											
Descripción de la Muestra	Escombro de concreto		Color	Gris		Profundidad												
Elementos utilizados para Extracción	Maseta					Humedad	Seco											
Equipo utilizado para el ensayo:	* Pcnometro		* Tara		* Bomba de vacío													
	* Embudo		* Balanza de 2 grados de precisión		* Varilla mezcladora													
	* Termometro		* Horno															
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Masa al aire de la muestra seca al horno</td> <td style="text-align: center;">159 g</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle; text-align: center;">Gravedad Especifica</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: middle; text-align: center;">2,71</td> </tr> <tr> <td>Masa del picnometro aforado lleno de agua</td> <td style="text-align: center;">330,4 g</td> </tr> <tr> <td>Masa del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua</td> <td style="text-align: center;">150 g</td> </tr> <tr> <td>Masa de la muestra saturada y superficialmente seca</td> <td style="text-align: center;">421,7 °C</td> </tr> </table>									Masa al aire de la muestra seca al horno	159 g	Gravedad Especifica	2,71	Masa del picnometro aforado lleno de agua	330,4 g	Masa del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	150 g	Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	421,7 °C
Masa al aire de la muestra seca al horno	159 g	Gravedad Especifica	2,71															
Masa del picnometro aforado lleno de agua	330,4 g																	
Masa del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	150 g																	
Masa de la muestra saturada y superficialmente seca	421,7 °C																	

Fuente: Los Autores

Anexo 9. Cuadro resumen ensayo de laboratorio de contenido de humedad del suelo.

	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO															
	NORMA	I.N.V. E – 122– 13														
	ESPECIFICACIÓN	Se debe pesar el material humedo, despues de ponerlo en el horno durante 24 horas se pesa de nuevo el material seco														
	Nombres	Camilo Escobar Galvis	374121002	Fecha	martes, 15 de Marzo de 2016		Trabajo No.		1							
	Juan Sebastian Leon Gomez	374121050				Ensayo No.		9								
	Vanessa Salazar Bedoya	341211055														
Localización	Vereda la Floresta - Sector la Florida		Coordenadas	N 04°45'21,7"		E 75°36'35,3"										
Perforación y/o Excavación No.	1		Muestra No.	1		Altura	1743 msnm									
Descripción de la Muestra	Derivados de Cenizas Volcanicas		Color	Amarillo Oscuro		Profundidad	En un costado de la ladera									
Elementos utilizados para Extraccion	Pala, Palín, Asadón, Costales					Humedad	humeda									
Equipo utilizado para el ensayo:	* Horno * Balanza		* Recipientes													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Peso de la tara + Suelo Humedo</td> <td style="width: 20%;">47,67 g</td> <td rowspan="3" style="width: 30%; text-align: center;">Contenido de Humedad</td> <td rowspan="3" style="width: 10%; text-align: center;">16,12%</td> </tr> <tr> <td>Peso de la tara + Suelo Seco</td> <td>45,8 g</td> </tr> <tr> <td>Peso de la tara</td> <td>34,2 g</td> </tr> </table>									Peso de la tara + Suelo Humedo	47,67 g	Contenido de Humedad	16,12%	Peso de la tara + Suelo Seco	45,8 g	Peso de la tara	34,2 g
Peso de la tara + Suelo Humedo	47,67 g	Contenido de Humedad	16,12%													
Peso de la tara + Suelo Seco	45,8 g															
Peso de la tara	34,2 g															

Fuente: Los Autores

Anexo 10. Cuadro de resultados resistencia a la compresión no confinada y densidades de probetas de suelo-cemento.

PROBETA		PESO (g)	ALTURA (mm)	VOLUMEN (cm ³)	ESBELTEZ	DENSIDAD (g/cm ³)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (MPa)
0%	1	318,7	113,56	222,98	2,27	1,43	4,84	0,47
		318,6	112,74	221,36	2,25	1,44		
		318,7	112,91	221,70	2,26	1,44		
	PROMEDIO	318,67	113,07	222,01	2,26	1,44		
	2	322,1	115,88	227,53	2,32	1,42	5,53	0,54
		322,1	116,17	228,10	2,32	1,41		
		322,1	115,99	227,75	2,32	1,41		
	PROMEDIO	322,10	116,01	227,79	2,32	1,41		
	3	323	115,35	226,49	2,31	1,43	3,96	0,39
		322,9	115,18	226,16	2,30	1,43		
		323,1	115,25	226,29	2,31	1,43		
	PROMEDIO	323,00	115,26	226,31	2,31	1,43		
PROMEDIO		321,26	114,78	225,37	2,30	1,43	4,77	0,47
3%	1	329,4	109,76	215,51	2,20	1,53	3,27	0,32
		329,4	109,82	215,63	2,20	1,53		
		329,5	109,67	215,34	2,19	1,53		
	PROMEDIO	329,43	109,75	215,49	2,20	1,53		
	2	327,1	111,7	219,32	2,23	1,49	3,51	0,34
		327	111,67	219,26	2,23	1,49		
		327,1	111,68	219,28	2,23	1,49		
	PROMEDIO	327,07	111,68	219,29	2,23	1,49		
	3	333,7	110,64	217,24	2,21	1,54	6,18	0,61

		333,6	110,65	217,26	2,21	1,54			
		333,8	110,71	217,38	2,21	1,54			
	PROMEDIO	333,70	110,67	217,29	2,21	1,54			
	PROMEDIO	330,07	110,70	217,36	2,21	1,52	4,32	0,42	
4%	1	347,1	112,93	221,74	2,26	1,57	3,78	0,37	
		347	112,78	221,44	2,26	1,57			
		347,1	112,78	221,44	2,26	1,57			
		PROMEDIO	347,07	112,83	221,54	2,26	1,57		
	2	331,8	116,16	228,08	2,32	1,45	5,77	0,57	
		331,9	116,78	229,30	2,34	1,45			
		332	116,55	228,85	2,33	1,45			
		PROMEDIO	331,90	116,50	228,74	2,33	1,45		
	3	335,4	116,11	227,98	2,32	1,47	4,27	0,42	
		335,3	115,85	227,47	2,32	1,47			
		335,4	115,85	227,47	2,32	1,47			
		PROMEDIO	335,37	115,94	227,64	2,32	1,47		
	PROMEDIO	338,11	115,09	225,97	2,30	1,50	4,61	0,45	
5%	1	321,7	115,5	226,78	2,31	1,42	6,59	0,65	
		321,8	115,7	227,18	2,31	1,42			
		321,8	115,77	227,31	2,32	1,42			
		PROMEDIO	321,77	115,66	227,09	2,31	1,42		
	2	306,2	107,79	211,65	2,16	1,45	4,85	0,48	
		306,1	108,9	213,83	2,18	1,43			
		306,3	108,9	213,83	2,18	1,43			
		PROMEDIO	306,20	108,53	213,10	2,17	1,44		
	3	330,5	115,46	226,71	2,31	1,46	4,91	0,48	

		330,5	115,45	226,69	2,31	1,46		
		330,6	115,42	226,63	2,31	1,46		
	PROMEDIO	330,53	115,44	226,67	2,31	1,46		
PROMEDIO		319,50	113,21	222,29	2,26	1,44	5,45	0,53

Fuente: Los Autores

Anexo 11. Cuadro de resultados resistencia a la compresión no confinada y deformaciones de probetas de suelo-cemento.

PROBETA		TIEMPO (seg)	DEFORMACIÓN (")	DEFORMACIÓN (cm)	DEFORMACIÓN UNIT	FUERZA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (MPa)
0%	1	5,53	10	0,0254	0,0022	3,11	0,16	0,02
		13,22	20	0,0508	0,0045	7,14	0,36	0,04
		19,67	30	0,0762	0,0067	14,01	0,71	0,07
		26,96	40	0,1016	0,0090	26,24	1,34	0,13
		34,15	50	0,127	0,0112	41,62	2,12	0,21
		40,48	60	0,1524	0,0135	54,71	2,79	0,27
		46,94	70	0,1778	0,0157	70,36	3,58	0,35
		53,44	80	0,2032	0,0180	90,94	4,63	0,45
		60,19	90	0,2286	0,0202	95	4,84	0,47
	2	9,57	10	0,0254	0,0022	10,53	0,54	0,05
		14	20	0,0508	0,0044	25,25	1,29	0,13
		19,05	30	0,0762	0,0066	45,13	2,30	0,23
		24,03	40	0,1016	0,0088	70,24	3,58	0,35
		29,06	50	0,127	0,0109	96,24	4,90	0,48
		36,01	60	0,1524	0,0131	108,53	5,53	0,54
	3	3,75	10	0,0254	0,0022	4,23	0,22	0,02

		8,18	20	0,0508	0,0044	7,28	0,37	0,04
		13,18	30	0,0762	0,0066	14,65	0,75	0,07
		19,1	40	0,1016	0,0088	20,32	1,03	0,10
		23,36	50	0,127	0,0110	36,43	1,86	0,18
		30,96	60	0,1524	0,0132	58,93	3,00	0,29
		39,32	70	0,1778	0,0154	72,45	3,69	0,36
		48,9	80	0,2032	0,0176	77,73	3,96	0,39
3%	1	5,14	10	0,0254	0,0023	3,46	0,18	0,02
		9,68	20	0,0508	0,0046	8,72	0,44	0,04
		16,25	30	0,0762	0,0069	17,24	0,88	0,09
		21,88	40	0,1016	0,0093	32,02	1,63	0,16
		26,08	50	0,127	0,0116	50,71	2,58	0,25
		34,09	60	0,1524	0,0139	64,24	3,27	0,32
	2	7,65	10	0,0254	0,0023	4,07	0,21	0,02
		15,42	20	0,0508	0,0045	12,49	0,64	0,06
		23,49	30	0,0762	0,0068	23,09	1,18	0,12
		30,32	40	0,1016	0,0091	36,77	1,87	0,18
		37,68	50	0,127	0,0114	54,83	2,79	0,27
		45,46	60	0,1524	0,0136	66,97	3,41	0,33
	53,61	70	0,1778	0,0159	68,89	3,51	0,34	
	3	6,79	10	0,0254	0,0023	3,13	0,16	0,02
		15,92	20	0,0508	0,0046	7,14	0,36	0,04
		23,61	30	0,0762	0,0069	16,16	0,82	0,08
		30,81	40	0,1016	0,0092	30,79	1,57	0,15
		38,92	50	0,127	0,0115	50,3	2,56	0,25
		45,68	60	0,1524	0,0138	72,38	3,69	0,36
		53,36	70	0,1778	0,0161	102,15	5,20	0,51
	61,19	80	0,2032	0,0184	121,29	6,18	0,61	

4%	1	4,01	10	0,0254	0,0023	7,56	0,39	0,04	
		9,56	20	0,0508	0,0045	15,54	0,79	0,08	
		16,72	30	0,0762	0,0068	40,76	2,08	0,20	
		22,88	40	0,1016	0,0090	59,43	3,03	0,30	
		29,6	50	0,127	0,0113	71,04	3,62	0,35	
		33,08	60	0,1524	0,0135	74,18	3,78	0,37	
	2	9,06	10	0,0254	0,0022	26,47	1,35	0,13	
		15,34	20	0,0508	0,0044	58,04	2,96	0,29	
		20,9	30	0,0762	0,0065	84,73	4,32	0,42	
		26,66	40	0,1016	0,0087	108,96	5,55	0,54	
		33,29	50	0,127	0,0109	113,3	5,77	0,57	
	3	6,08	10	0,0254	0,0022	3,57	0,18	0,02	
		13	20	0,0508	0,0044	12,07	0,61	0,06	
		22,29	30	0,0762	0,0066	20,09	1,02	0,10	
		31,96	40	0,1016	0,0088	31,56	1,61	0,16	
		41,68	50	0,127	0,0110	44,46	2,26	0,22	
		51,37	60	0,1524	0,0131	61,78	3,15	0,31	
		58,89	70	0,1778	0,0153	72,14	3,67	0,36	
		68,01	80	0,2032	0,0175	83,93	4,27	0,42	
	5%	1	6,18	10	0,0254	0,0022	5,95	0,30	0,03
			13,27	20	0,0508	0,0044	17,62	0,90	0,09
19,93			30	0,0762	0,0066	37,85	1,93	0,19	
26,56			40	0,1016	0,0088	74,62	3,80	0,37	
33,73			50	0,127	0,0110	113,46	5,78	0,57	
41,61			60	0,1524	0,0132	129,39	6,59	0,65	
2		5,61	10	0,0254	0,0023	4,4	0,22	0,02	
		11,82	20	0,0508	0,0047	13,8	0,70	0,07	
		17,71	30	0,0762	0,0070	35,7	1,82	0,18	

		25,18	40	0,1016	0,0094	64,72	3,30	0,32
		33,69	50	0,127	0,0117	90,34	4,60	0,45
		41,01	60	0,1524	0,0140	95,17	4,85	0,48
	3		10	0,0254	0,0022	11,8	0,60	0,06
			20	0,0508	0,0044	41,62	2,12	0,21
			30	0,0762	0,0065	68,94	3,51	0,34
			40	0,1016	0,0087	89,11	4,54	0,45
			50	0,127	0,0109	96,33	4,91	0,48
			60	0,1524	0,0131	99,45	5,06	0,49

Fuente: Los Autores

Anexo 12. Cuadro resumen de la dosificación para elaborar los BTC.

UNIVERSIDAD LIBRE COLOMBIA									
DOSIFICACION PARA LA ELABORACION DE BTC SUELO DERIVADO DE CENIZAS VOLCANICAS, ESCOMBRO DE CONCRETO Y CEMENTO									
NORMA		El suelo debe estar totalmente seco antes de la mezcla y debe ser una material suelto para que la mezcla sea homogenea							
ESPECIFICACION									
Nombres		Camilio Escobar Galvis	374121002	Fecha	lunes, 20 de Junio de 2016			Trabajo No.	
		Juan Sebastian Leon Gomez	374121050	Ensayo No.					
		Vanessa Salazar Bedoya	341211055						
Localización	Vereda la Floresta - Sector la Florida			Coordenadas	N 04°45'21,7"		E 75°36'35,3"		
Perforación y/o Excavación No.	2			Muestra No.	2		Altura	1743 msnm	
Descripción de la Muestra	Derivados de Cenizas Volcanicas			Color	Amarillo Oscuro		Profundidad	En un costado de la ladera	
Elementos utilizados para Extracción	Pala, Palín, Asadón, Costales						Humedad	humeda	
Equipo utilizado para el ensayo:	* Pala * Tamiz No. 4 * Balanza de 2 grados de precisión			* CINVA RAM * Palustre * Herramientas misceláneas					

DENSIDAD DE LOS MATERIALES A USARSE		DENSIDAD
SUELO		1,7 gr/cm3
ESCOMBRO 4,75mm RETENIDO		2,7 gr/cm3
ESCOMBRO PASANTE DE TAMIZ 4,75mm		2,5 gr/cm3
CEMENTO		3,2 gr/cm3

DIMENSIONES DEL BTC		VOLUMEN
a	30 cm	4500 cm3
b	15 cm	
h	10 cm	

TRATAMIENTO BASE (0%)						
MATERIAL	PORCENT.	VOLUMEN	PESO	No. BTC	PESO TOTAL POR MATERIAL	
ESCOMBRO CONCRETO GRUESO	0%	0 cm3	0 gr	3	0 gr	
ESCOMBRO CONCRETO FINO	0%	0 cm3	0 gr	3	0 gr	
SUELO	95%	4275 cm3	7267,5 gr	3	21802,5 gr	
CEMENTO	5%	225 cm3	720 gr	3	2160 gr	
TOTAL PESO DEL MATERIAL					23962,5 gr	
PESO POR UNIDAD DE BTC					7987,5 gr	

TRATAMIENTO 1 (10%)						
MATERIAL	PORCENT.	VOLUMEN	PESO	No. BTC	PESO TOTAL POR MATERIAL	
ESCOMBRO CONCRETO GRUESO	5%	225 cm3	607,5 gr	3	1822,5 gr	
ESCOMBRO CONCRETO FINO	5%	225 cm3	562,5 gr	3	1687,5 gr	
SUELO	85%	3825 cm3	6502,5 gr	3	19507,5 gr	
CEMENTO	5%	225 cm3	720 gr	3	2160 gr	
TOTAL PESO DEL MATERIAL					25177,5 gr	
PESO POR UNIDAD DE BTC					8392,5 gr	

TRATAMIENTO 2 (15%)						
MATERIAL	PORCENT.	VOLUMEN	PESO	No. BTC	PESO TOTAL POR MATERIAL	
ESCOMBRO CONCRETO GRUESO	7,5%	337,5 cm3	911,25 gr	3	2733,75 gr	
ESCOMBRO CONCRETO FINO	7,5%	337,5 cm3	843,75 gr	3	2531,25 gr	
SUELO	80%	3600 cm3	6120 gr	3	18360 gr	
CEMENTO	5%	225 cm3	720 gr	3	2160 gr	
TOTAL PESO DEL MATERIAL					25785 gr	
PESO POR UNIDAD DE BTC					8595 gr	

TRATAMIENTO 3 (20%)						
MATERIAL	PORCENT.	VOLUMEN	PESO	No. BTC	PESO TOTAL POR MATERIAL	
ESCOMBRO CONCRETO GRUESO	10%	450 cm3	1215 gr	3	3645 gr	
ESCOMBRO CONCRETO FINO	10%	450 cm3	1125 gr	3	3375 gr	
SUELO	75%	3375 cm3	5737,5 gr	3	17212,5 gr	
CEMENTO	5%	225 cm3	720 gr	3	2160 gr	
TOTAL PESO DEL MATERIAL					26392,5 gr	
PESO POR UNIDAD DE BTC					8797,5 gr	

Fuente: Los Autores

Anexo 13. Resultados de prueba a compresión de BTC con 0% de escombros.

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPEORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1	15.0	14.5	8.4	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	217.5	217.5	12.35	0.6
2	15.2	15.1	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	229.5	229.5	11.89	0.5
3	14.9	14.7	8.2	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	219.0	219.0	12.44	0.6
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 14. Resultados de prueba a compresión de BTC con 10% de escombros.

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
4	15.1	15.2	8.2	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	229.5	229.5	12.72	0.6
5	15.1	14.9	8.2	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	225.0	225.0	15.36	0.7
6	15.0	14.5	8.2	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	217.5	217.5	17.38	0.8
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 15. Resultados de prueba a compresión de BTC con 15% de escombros.

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPEORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA (cm ²)			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
7	15.1	15.0	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	226.5	226.5	25.99	1.1
8	15.0	14.8	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	222.0	222.0	19.65	0.9
9	15.1	14.9	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	225.0	225.0	13.61	0.6
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											



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

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

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD BLOQUES LB-016-475
 FECHA DE ENSAYO: 29 DE NOVIEMBRE DEL 2016
 FUENTE MATERIAL: SUELO / CEMENTO Y ESCOMBRO DE CONCRETO AL 15%
 CLIENTE: UNIVERSIDAD LIBRE
 REVISÓ: ÁDGM

Anexo 16. Resultados de prueba a compresión de BTC con 20% de escombros.

ESPECÍMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESESOR PARED	ESESOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
10	15.0	14.6	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	219.0	219.0	13.41	0.6
11	14.9	14.9	8.2	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	222.0	222.0	17.54	0.8
12	15.1	14.7	8.1	NA	NA	BLOQUE PRUEBA	0.0	222.0	222.0	12.30	0.6
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN:											

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 17. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 0% de escombros.

ESPECIMEN No.		DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
		LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
1		14.7	14.9	27.8	NA	NA	MURETES PRUEBA	0.0	219.0	219.0	7.90	0.4
PROMEDIO [Mpa]												
OBSERVACIÓN: Espesor pega parte superior 3.20 cm, espesor pega parte inferior 1.33 cm. Murete sin sostenimiento de pega entre bloque del medio y bloque superior.												

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 18. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 10% de escombros.

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD MURETES LB-016-475
FECHA DE ENSAYO: 30 DE NOVIEMBRE DEL 2016
FUENTE MATERIAL: SUELO / CEMENTO Y ESCOMBRO DE CONCRETO AL 10%
CLIENTE: UNIVERSIDAD LIBRE
REVISÓ: ÁDGM

ESPECÍMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
2	14.5	14.9	27.3	NA	NA	MURETES PRUEBA	0.0	216.1	216.1	8.49	0.4
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN: Espesor pega parte superior 1.50 cm, espesor pega parte inferior 0.90 cm. Murete sin sostenimiento de pega entre bloque del medio y bloque superior.											

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 19. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 15% de escombros.

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD MURETES LB-016-475
FECHA DE ENSAYO: 30 DE NOVIEMBRE DEL 2016
FUENTE MATERIAL: SUELO / CEMENTO Y ESCOMBRO DE CONCRETO AL 15%
CLIENTE: UNIVERSIDAD LIBRE
REVISÓ: ÁOGM

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESPEORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
3	15.0	15.1	27.7	NA	NA	MURETES PRUEBA	0.0	226.5	226.5	7.00	0.3
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN: Espesor pega parte superior 1.27 cm, espesor pega parte inferior 1.77 cm. Murete sin sostenimiento de pega entre bloque del medio y bloque inferior.											

Anexo 20. Resultados de prueba a compresión de los muretes de BTC con 20% de escombros.

ESPÉCIMEN No.	DIMENSIONES EXTERIORES [cm]			ESESORES (cm)		TIPO DE BLOQUE	ÁREA [cm ²]			CARGA DE ROTURA [KN]	RESISTENCIA [Mpa]
	LARGO	ANCHO	ALTO	ESPEOR PARED	ESPEOR TABIQUE		CELDA	BRUTA	NETA		
4	14.7	14.9	27.2	NA	NA	MURETES PRUEBA	0.0	219.0	219.0	10.38	0.5
PROMEDIO [Mpa]											
OBSERVACIÓN: Espesor pega parte superior 1.27 cm, espesor pega parte inferior 0.71 cm. Murete sin sostenimiento de pega entre bloque del medio y bloque superior.											

Fuente: Geotecnia Ingeniería S.A.S.

Anexo 21. Tabla de clasificación de suelos.

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION	
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60} D_{10}}{(D_{30})^2}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{D_{60} - D_{10}}{D_{30}}$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.	
		GRAVAS CON FINOS	GP Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos		
		ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS		GM Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo
			ARENAS CON FINOS		GC Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla
	SUELOS DE GRANOS FINOS 50% o más pasa por el tamiz No. 200	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS	SW Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60} D_{10}}{(D_{30})^2}$ Superior a 6 $C_c = \frac{D_{60} - D_{10}}{D_{30}}$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.
			ARENAS CON FINOS	SP Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	GRAFICO DE PLASTICIDAD Para la clasificación de los suelos finos y de la fracción fina de los suelos granulares Los límites de Atterberg situados en el área sombreada corresponden a la clasificación de frontera y requieren símbolos dobles. Ecuación de la línea A: $IP = 0.73 (LL - 20)$
			CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla	
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
			LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas				
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media				
Suelos altamente orgánicos	PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488		

Fuente: ASTM