

BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS CON SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS Y MATERIALES RECICLABLES: UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA

Gloria Milena Molina Vinasco¹; Mónica Andrea Arenas Castaño²; Alejandro Londoño³; Oscar Andrés Parra³; Lina Marcela Vallejo³

Universidad Libre Seccional Pereira

¹gmmolina@unilibrepereira.edu.co, ²moaca5@hotmail.com, ³alondono.civil@unilibrepereira.edu.co,
³oaparra.civil@unilibrepereira.edu.co, ³lmvallejo.civil@unilibrepereira.edu.co.

Palabras clave: BTC, ceniza volcánica, resistencia a compresión, materiales reciclables

Resumen

El suelo como materia prima se ha usado en la construcción de vivienda desde la antigüedad con el uso del bahareque, tapia, adobe y bloque de tierra comprimida BTC. Actualmente se adelantan investigaciones para utilizarlo en la fabricación de bloques comprimidos. Este proyecto presenta la metodología para la elaboración de BTC no estructurales con suelos, producto de la meteorización de las cenizas volcánicas y materiales reciclables, comparando su resistencia y absorción con las normas NTC para la fabricación de ladrillos no estructurales y bloques de suelo cemento. En el proyecto se realizaron 16 tratamientos con distintas dosificaciones y con los siguientes materiales: suelo/vidrio, suelo/cartón, suelo/aserrín y suelo/plástico. Se logró determinar que el tratamiento que mostro mejores resultados fue suelo/cartón, sin embargo todos tuvieron absorciones superiores al 14%. Con la adición de cal al 3% al tratamiento suelo/cartón, se obtuvo resistencias a la compresión simple hasta de 9 MPa y absorciones inferiores a 14%, que se acercan a las recomendaciones de la norma NTC 4205 y NTC 5324. El costo del bloque individual no estructural terminado fue de 9,17 centavos de dólar (septiembre de 2015), valor que resulta inferior al costo de un ladrillo común (11,67 centavos de dólar). Se concluye entonces que este BTC puede ser considerado como un material alternativo de bajo costo y alto beneficio ambiental en cuanto al ahorro de energía, durante su proceso de secado al aire sin usar proceso de combustión.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra ha sido un material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos; los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole fibras vegetales como refuerzos para mejorar su resistencia (Pons, 2001). De acuerdo con Bestraten, Hormías y Altemir (2011), la construcción con tierra durante la primera década del siglo XXI ha resurgido en todo el mundo como un material con propiedades sostenibles, de bajo impacto ambiental y de gran capacidad expresiva, en su artículo realizan un compendio de obras construidas con técnicas como el tapial, el bloque de tierra comprimida (BTC) y el adobe, haciendo énfasis en los avances de investigación y calidad en las mismas. Sin embargo en la actualidad aún existe la preocupación por su calidad y técnicas de preparación.

De acuerdo con esta problemática, se observa una tendencia a nivel latinoamericano y europeo en reutilizar la construcción con bloques de tierra comprimida fabricados con suelo y otros aditivos que cumplan con las normas de construcción y calidad de cada uno de los países. Diversas investigaciones han sido realizadas para encontrar la resistencia y/o aditivos que se pueden aplicar al suelo en el proceso de fabricación de BTC, entre ellas se pueden mencionar: comportamiento de bloques de tierra comprimida sometidos a diferentes condiciones de humedad en España en el año 2003; bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (Galíndez, 2009); resistencia a la compresión de bloques de tierra comprimida estabilizados con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula; hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro (Yepes; Bedoya; Gómez, 2012).

Al mismo tiempo, en la literatura se encuentran normas, centros de investigación y artículos dedicados al análisis de estos materiales, entre ellos se puede mencionar: estructuras de bajo costo y el rol del CISMID en Perú (Torres, 2012); normas nacionales de sismo-resistencia en Perú en el año de 2006; Proyecto de investigación Proterra del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED, que busca difundir el uso de la tierra en la construcción de edificaciones (Garzón; Neves, 2007); el Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda – CRIATIC (Mellace y otros, 1992). En la década de 1950, el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento de Colombia realizó un programa de investigación y construcción con tierra, desarrollando un modelo bastante simple de una prensa manual para fabricación de bloques de suelo cemento, hoy muy conocida por la denominación CINVA Ram. Además de desarrollar actividades de construcción comunitaria en programas de ayuda mutua (Bedoya, 2011).

En Latinoamérica se pueden citar ejemplos de construcciones realizadas con este material, con resultados confiables y que hasta la fecha permanecen estables, como son: Casa de campo en Maldonado (Uruguay-2003); Casita Linda CEDESA México, Guanajuato, 2007 (Cereceda, 2010), Casa Manuel Hernández (Antioquia-1996), Obras como Mesa de Yeguas y Casa Mejía, construidas por el arquitecto Darío Angulo en bloques de suelo cemento procedentes de Bogotá en Colombia (Bedoya, 2011); viviendas sector Cazucá en Bogotá construidas en bloques de tierra prensada (González, 2005).

Sin embargo en el eje cafetero en Colombia no se encuentra información sobre investigaciones dedicadas al análisis de la resistencia de estos materiales construidos con suelos de la zona, así mismo dentro de las normas y códigos sismo resistentes no existe aún aprobación para el uso de estos materiales que aún en la actualidad siguen siendo utilizados.

Por éste motivo, es necesaria la realización de investigaciones que permitan conocer si los BTC construidos en la zona cumplen con las normas de construcción vigentes; este documento presenta los resultados de la investigación realizada con suelo (cenizas volcánicas) mezclado con algunos materiales reciclables (vidrio, cartón, aserrín, plástico), como una alternativa de construcción, utilizando todos aquellos conceptos ingenieriles que permiten el desarrollo de un material constructivo.

La investigación además de encontrar la resistencia de los BTC, involucra elementos ambientales en la elaboración de los mismos, como son incorporar elementos reciclados y ahorro energético en su proceso de fabricación.

2. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló en la Universidad Libre Seccional Pereira, Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Civil. La metodología de tipo experimental (Sampieri; Collado; Lucio, 2006) presenta las fases de trabajo realizadas para llevar a cabo el proyecto. Durante ellas se determinó para la elaboración de los BTC: el suelo a utilizar, los porcentajes de aditivos a aplicar al suelo, así como las variables relevantes en su proceso de fabricación, como son la humedad de compactación y el tiempo de secado.

2.1 Fase 1: Extracción y análisis de suelos

Se extrajeron muestras de suelo derivado de cenizas volcánicas, en zona rural del Municipio de Pereira Risaralda Colombia, Norte: 4° 43' 35,59", Oeste: 75° 42' 24,66", Elevación: 1449 msnm.

Se realizaron cinco perforaciones a una profundidad máxima de 2,0 m, las muestras fueron tomadas de forma aleatoria en el lugar. Se tomaron 5 kg de material alterado y muestras inalteradas en tubo Shelby.

A estas muestras se les realizaron ensayos de clasificación y de resistencia, como son: contenido de humedad (NTC 495), límites de Atterberg (NTC 4630), granulometría (NTC 1522), lavado por tamiz #200 (NTC 78), hidrómetro (INV E 124), resistencia a la compresión

inconfina (NTC 1527), peso unitario (INV E 141), Proctor modificado (INV E 142). En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de laboratorio realizados.

Tabla 1. Características de los suelos analizados

Suelo	W (%) NTC 1494	γ (t/m^3) I.N.V.E 141	Clasificación NTC 4630				Lavado tamiz #200 NTC78	Hidrometría INV.E 124-07			Resistencia a la compresión NTC 1527		τ_d (t/m^3) INV142	w (%) INV142
			LL (%)	LP (%)	IP (%)	USCS		% Arcilla	% Limo	% Arena	qu (N/m^2)	C (N/m^2)		
1	56,2	1,7	64,6	52,4	12,2	MH	45,3	7,41	37,1	54,7	9,0	4,5		
2	55,7	1,7	72,8	56,9	15,9	MH	54,9	14,2	39,0	45,1	10,0	5,0		
3	74,9	1,6	50,3	47,9	2,4	ML	64,1	38,4	24,5	35,9	2,6	1,3		
4	52,6	1,6	54,5	48,6	5,9	MH	66,8	45,4	37,8	15,2	2,8	1,5	1,2	26,0
5	77,2	1,5	58,0	51,3	6,7	ML	84,8	28,5	35,6	33,2	6,1	3,0		

γ_d : peso unitario seco máximo (t/m^3); w: humedad óptima de compactación (%);

Después de haber obtenido los resultados de los análisis de laboratorios mencionados y de conocer el porcentaje de suelos finos, limos y arcillas, se escogió la muestra de suelo con mayor contenido de arcilla para la elaboración de bloques de tierra comprimida.

2.2 Fase 2: Dosificación de los materiales suelo/aditivos

Los aditivos elegidos para conformar los BTC son reciclables para fabricar un bloque ecológico y económico. Los materiales fueron: cartón, vidrio, plástico y aserrín; además del suelo del sitio, arena y agua.

Los porcentajes de dosificación se determinaron de acuerdo con la experiencia en fabricación de ladrillos y con base en las investigaciones realizadas en BTC que anteceden el proyecto. El BTC tiene dimensiones de 30 cm x 15 cm x 5 cm, volumen de 2250 cm^3 ; de acuerdo con los ensayos realizados previamente a los suelos, se determinó que el peso de cada bloque es de 3,6 kg.

En la tabla 2 se describe de forma detallada el número de bloques que se realizaron para cada uno de los tratamientos escogidos, utilizando porcentajes fijos del 5%, 10% y 15%, para un número total de 120 unidades fabricadas.

Tabla 2. Dosificación de los materiales

Componentes	Unidades	Porcentajes de aditivos	Tratamiento
Arena + Suelo	4	Arena 5%	T1
	4	Arena 10%	T2
	4	Arena 15%	T3
Cartón + Arena + Suelo	4	Cartón 5%, arena 10%	T4
	4	Cartón 10%, arena 10%	T5
	4	Cartón 15%, arena 10%	T6
Aserrín + Arena + Suelo	4	Aserrín 5%, arena 10%	T7
	4	Aserrín 10%, arena 10%	T8
	4	Aserrín 15%, arena 10%	T9
Vidrio + Arena + Suelo	4	Vidrio 5%, arena 10%	T10
	4	Vidrio 10%, arena 10%	T11
	4	Vidrio 15%, arena 10%	T12
Plástico + Arena + Suelo	4	Plástico 5%, arena 10%	T13
	4	Plástico 10%, arena 10%	T14
	4	Plástico 15%, arena 10%	T15
Cartón + Arena + Cal + Suelo	40	Cartón 5%, arena 10%, cal 3%	T16

2.3 Fase III – Proceso de elaboración del bloque de tierra comprimida

El primer paso de esta fase consistió en la preparación de los aditivos, el cartón se utilizó en estado saturado, llevándolo hasta una consistencia acuosa, el vidrio se pulverizó hasta llegar a un tamaño máximo de 2mm, el aserrín se tamizó por un tamiz de abertura igual a 4,75 mm y la arena se tamizó por un tamiz de abertura 0,425 mm.

La fabricación del BTC se realizó con una prensa manual modelo CINVA Ram desarrollado por el Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento en 1963. El procedimiento consistió en realizar la dosificación por peso, determinada para cada uno de los tratamientos, para posteriormente realizar la mezcla con una humedad óptima determinada con el ensayo de Proctor modificado dejándola cubierta para evitar pérdida de humedad por un periodo mínimo de 16 horas, en el cual la mezcla alcanzara una humedad de equilibrio.

Pasado este tiempo se llevó el material a la prensa que tiene un molde de acero con las dimensiones de fabricación del BTC, por medio de la cual se realiza el ciclo de compresión. Comprimido el bloque, se dejó secar al aire libre durante un periodo de 7 días.

Para todos los bloques se realizó el mismo procedimiento y fueron fabricados el mismo día para minimizar las variables de cambio en los resultados esperados. Después de 7 días de edad, se procedió a realizar las pruebas de resistencia en la máquina universal adaptando las recomendaciones de NTC 4205 y NTC 4017 para ladrillos cocidos y NTC 5324 para bloques de suelo cemento y de absorción NTC 4205 y NTC4017 para ladrillos cocidos y NTC 5324 para bloques de suelo cemento.

Con los resultados de los ensayos de absorción y compresión simple, se determinó que para el tratamiento que cumpliera con la resistencia a la compresión promedio más alta, se le adicionaría un porcentaje de cal del 3% para aumentar la cohesión en el suelo y por ende su resistencia en seco, y evitar el desmoronamiento del bloque ante la prueba de absorción. Este porcentaje fue escogido usando los ábacos de Mc. Dowel y de Metcalf, y buscando no exceder el costo de fabricación de un ladrillo convencional macizo.

2.4 Fase IV. Construcción de muretes de BTC, aplicando el tratamiento 16

Se replicó el proceso para la elaboración de BTC, utilizando suelos derivados de cenizas volcánicas, seleccionados en la ciudad de Pereira, producto de la excavación para fundaciones.

Se elaboraron nueve muretes de tres unidades de mampostería unidas con mortero, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Elaboración de los muretes

Los muretes fueron probados siguiendo las recomendaciones de la norma NTC 3495, NTC 5324 y la norma sísmo resistente NSR-10 para ensayos en muretes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de compresión y de absorción de los BTC. En los tratamientos 11–12 (vidrio) y 14–15 (plástico), no se logró obtener una

adecuada manejabilidad ya que el contenido de humedad con la mezcla de vidrio y plástico se incrementó, por tal motivo no se llegó a la compactación esperada y no fue posible elaborar el bloque propuesto.

En la figura 2 se presentan una comparación entre los valores de la resistencia a la compresión no confinada promedio, para todos los tratamientos, con un tamaño de muestra mínimo de 4 unidades y máximo de 40 unidades. Al comparar todos los tratamientos analizados, se determinó que el valor mínimo fue de 1,25 MPa (tratamiento 9) y el máximo valor de 7,28 MPa (tratamiento 16).

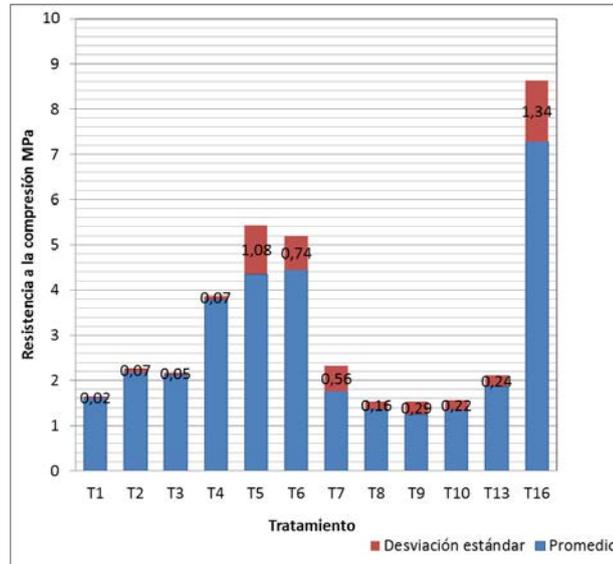


Figura 2. Resistencia a la compresión promedio de los tratamientos

De acuerdo con la norma NTC 4017, el valor de resistencia a la compresión promedio para un grupo de 5 ladrillos macizos no debe ser inferior a 10 MPa, se encontró que los tratamientos realizados sin adición de cal presentaron valores promedios inferiores en un 90%, al valor estipulado en la norma, mientras que, para el tratamiento 16 con adición de cal al 3%, se obtuvieron valores comprendidos entre 4,41 MPa y 9,59 MPa, con un porcentaje menor al aceptado en la norma desde un 1%, hasta un 50%.

Se observó que los bloques probados alcanzaron resistencias menores a las exigidas por la norma NTC 5324, las cuales no deben ser inferiores a 2MPa para BSC-20 y a 6 MPa para BSC-60. Debe tenerse en cuenta que los bloques se realizaron con suelos de textura limo y si adición de cemento; solamente el bloque con adición de cal alcanzó los valores recomendados por la norma.

Sin embargo estos resultados son superiores a los obtenidos por Roux y Olivares (2002), en bloques estabilizados con 6% de cemento y fibra de coco, elaborados con una prensa manual modelo CINVA Ram, como también que los obtenidos por Otero y Sandoval (2003) y Yetgin, Çavdar y Çavdar (2006) en bloques realizados con suelo comprimido.

Al mismo tiempo, Tejada (1993), Moromi (1993), Red Habiterra (1995) y Rodríguez, Barroso y Saroza (1997) coinciden en que la resistencia mínima que debe alcanzar una unidad debe encontrarse entre 1,00 MPa y 1,20 MPa, valores alcanzados en todos los bloques probados.

Adicionalmente se realizó una comparación entre los pesos unitarios húmedos de los bloques y la resistencia a la compresión para el tratamiento 16, mostrando el comportamiento en la figura 3. Se determinó que, con la energía de compactación aplicada por la máquina CINVA Ram, se logran obtener pesos unitarios secos comprendidos entre 0,91 t/m³ y 1,58 t/m³, con un valor promedio de 1,05 t/m³, el último inferior al valor obtenido en el ensayo de Proctor modificado para el suelo, que debía ser de 1,23 t/m³.

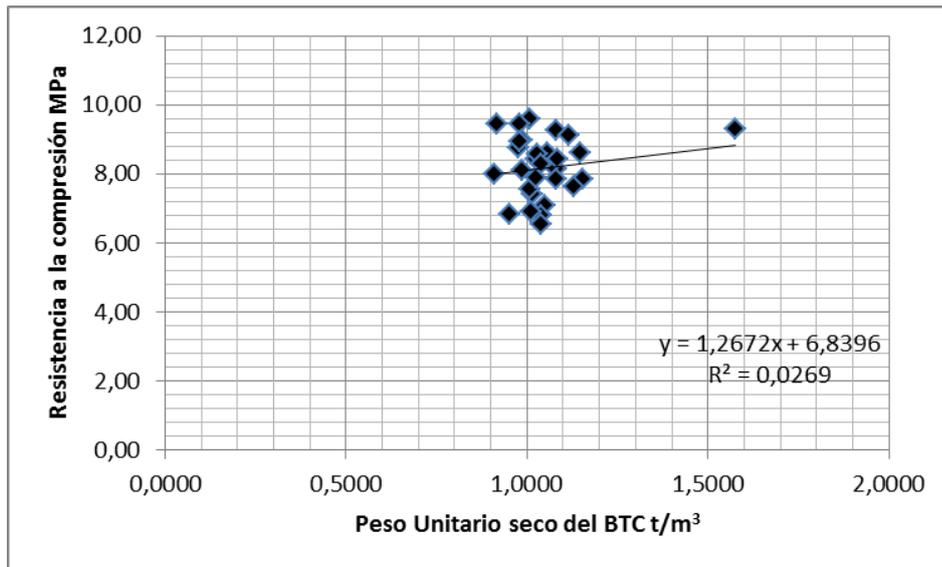


Figura 3. Comparación entre el peso unitario húmedo y la resistencia a la compresión del BTC

Los análisis de absorción mostraron que todos los tratamientos que no contenían cal, sufrirían un proceso de desmoronamiento cuando estuvieron sometidos a saturación en agua, como se observa en la figura 4, solamente el tratamiento 16 presentó un valor de absorción distinto al 100%, con un intervalo de valores entre 7,48% y 13,82%.

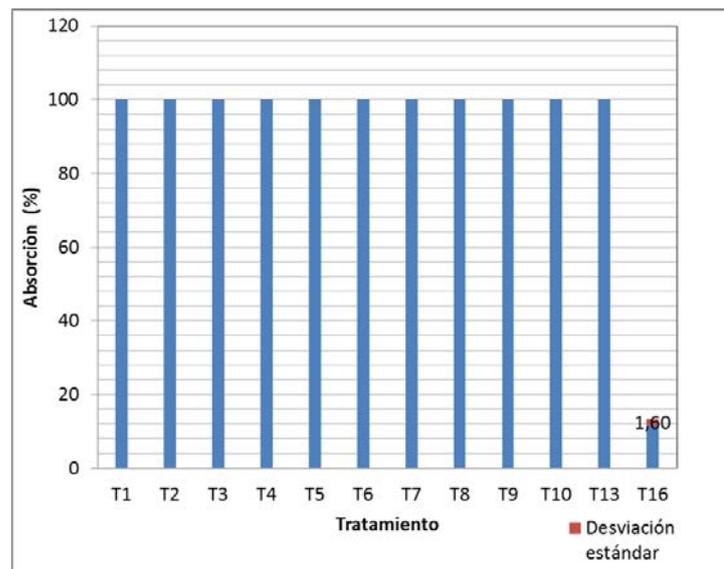


Figura 4. Comportamiento de los BTC al ensayo de absorción

Roux y Olivares (2002) encontraron valores de absorción máximos en sus ensayos de 15% para BTC estabilizados con cemento. Galíndez (2009) encontró que a mayor energía de compactación aplicada al suelo, se disminuirá la absorción de agua y se incrementará la resistencia a la compresión del mismo hasta un valor de 4,4 MPa sin adición de ningún estabilizante para suelos con altos contenidos de arcilla, también recomienda el uso de materiales hidrófugos para disminuir la absorción.

Los muretes fueron realizados con suelos producto de la meteorización de cenizas volcánicas extraídos de un sector diferente al cual se realizaron las pruebas iniciales, con el objeto de verificar si se podrían obtener réplicas del comportamiento a la compresión aún con suelos en los cuales las condiciones granulométricas y de plasticidad no fueran idénticas a las del suelo base, las demás condiciones no se alteraron.

El suelo utilizado fue clasificado como un suelo limo arenoso de baja plasticidad, ML, con un menor contenido de arcilla y mayor contenido de arena que el suelo inicial. La resistencia

promedio para los muretes individuales fue de 1,0 MPa, mucho menor a la encontrada con suelos con mayor contenido de arcilla.

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos para las pruebas de resistencia de los muretes. Se observa que las resistencias de los muretes son mayores a 1,00 MPa, con un valor promedio de 1,35 MPa. Este comportamiento muestra que la resistencia de los muretes es menor a la establecida para BSC-20 establecida por la norma NTC-5324.

Tabla 3. Resultados de la resistencia de los muretes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a (cm)	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
b (cm)	28,00	27,00	29,00	30,00	28,00	28,50	26,00	28,50	28,00
c (cm)	29,50	29,50	29,50	29,00	29,50	29,50	29,50	30,00	29,50
Peso (kg)	14,02	13,81	14,88	15,16	14,55	14,62	13,53	15,37	14,58
Resistencia (MPa)	1,04	1,04	1,18	1,10	1,24	1,44	1,70	1,92	1,48

Como se explicó en la metodología, el proceso de fabricación de los bloques es de tipo artesanal y no incluye la fase de cocción usada en la producción del ladrillo puzolánico, hecho que disminuye el gasto energético durante su proceso de fabricación, así como las emisiones de gas carbónico durante la combustión. Por eso, en esta fase de la investigación, no se determinó el valor del costo energético para la producción de los mismos.

Para tener una referencia del beneficio se consultaron investigaciones direccionadas al cálculo del valor energético de producción de ladrillos cocidos (Oti; Kinuthia; Bai, 2009), indican que la fabricación tradicional de estos tiene un coste energético de 4186,8 MJ por cada tonelada de ladrillos producidos con una temperatura de cocción entre 900°C y 1200°C liberando a la atmósfera alrededor de 202 kg de CO₂/tonelada (BDA, 2008). Por el contrario, usando sistemas artesanales de fabricación sin incluir cocción se pueden llegar a costos energéticos de 657,1 MJ/t y unas emisiones totales de 40,95 kg de CO₂/t (Cabo, 2011).

4. CONCLUSIONES

Con la presente investigación se comprobó que con un suelo clasificado como un limo arenoso de alta plasticidad (MH), con un límite líquido de 54,5% y un límite plástico de 48,6%, con un índice de plasticidad de 6%, es posible fabricar BTC estabilizados con cal y cartón obteniendo una resistencia promedio a la compresión de 7,2 MPa, y una absorción menor a 14%, valores que aunque no cumplen las normas NTC para ladrillos macizos no estructurales, son superiores a los obtenidos y aceptados en investigaciones realizadas a nivel mundial para BTC.

Se determinó que el tratamiento 16, generó buenos resultados al elaborar los bloques de tierra comprimido mezclado con cal al 3%, cartón al 5%, y arena al 10%. Con esta dosificación se alcanzaron las resistencias y absorciones especificadas. El costo de la elaboración de éste bloque es de 9,17 centavos de dólar (septiembre de 2015), cuyo valor incluye costos directos e indirectos de fabricación. El precio encontrado en la zona para un ladrillo común es un valor de 11,67 centavos de dólar.

Se recomienda que la relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos. Como también mantener el suelo en reposo húmedo durante 16 horas, con la humedad óptima determinada en el ensayo de Proctor modificado lo cual facilitara el mezclado y favorecerá la compactación.

Se concluye que deben fabricarse BTC con una prensa hidráulica que genere una energía de compactación mayor que la prensa manual, para disminuir los espacios vacíos y lograr una mayor cohesión entre las partículas. Este proceso aumentara la resistencia a la compresión simple y disminuirá la absorción del suelo para obviar la estabilización del suelo con cal.

Se observan valores aceptables para resistencias a la compresión de muretes, aunque sean realizados con suelos de menor contenido de arcilla, sin embargo es claro que el contenido de arcilla en el suelo a usar debe ser evaluado antes de la fabricación de los BTC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BDA, (2008). Brick Development Association. {online} accesos on the 28/7/2008 <http://www.brick.org.uk/industry-sustainability.html>.

Bedoya, M. C, M.(2011) Construcción sostenible para volver al camino. Biblioteca Jurídica DIKE. Universidad tecnológica de Cataluña

Bestraten, S. Hormías, E. Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Earthen construction in the 21rst century. Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 5-20, julio-septiembre 2011

Cabo, L, M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción presentado por María Cabo Laguna Universidad Pública de Navarra Escuela Técnica Superior De Ingenieros Agrónomos Junio.

Cereceda (2010). Construyendo con adoblock un México mejor. <http://suenamexico.com/verde-y-social/construyendo-con-adoblock-un-mexico-mejor/>

Galíndez, F. (2009). Bloque de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC); Aportación al ahorro energético. Seguridad y Medio Ambiente n.115. Madrid: Revista de Fundación Mapfre.

Garzón, L, E; Neves, C. M. (2007). Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. Apuntes. Volumen 20 numero 2, 324-335.

González (2005). Incidencia de la forma y composición del bloque de tierra prensada – Caso Cazucá. Disponible en <http://es.slideshare.net/archieg/incidencia-de-la-forma-y-composicin-del-btp-en-el-uso-como-elemento-arquitectnico-para-viviendas-sector-cazuca>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1995). NTC 78. Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 mm en agregados minerales. Bogotá: ICONTEC

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1999). NTC 1522 - Suelos. Ensayos para determinar la granulometría por tamizado. Bogotá: ICONTEC

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1999). NTC 4630. Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. Bogotá: ICONTEC

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2000). NTC 1527. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos. . Bogotá: ICONTEC

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2003). NTC 3495; Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2003.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2005). NTC 4017.Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. Bogotá: ICONTEC

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2008). NTC 5324; Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificacione. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. Bogotá, D.C: Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). .

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2009). NTC 4205. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Disponible en: www.sinab.unal.edu.co/ntc/NTC4205-1.pdf

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2013). NTC 1495. Suelos. Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa. Bogotá: ICONTEC

Instituto Nacional de Vías (2007). INV E-124. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro. Bogotá INVIAS.

Instituto Nacional de Vías (2007). INV E-141. Relaciones de humedad – masa unitaria seca e los suelos (ensayo normal de compactación). Bogotá: INVIAS

Instituto Nacional de Vías (2007). INV E-142. Relaciones de humedad – masa unitaria seca e los suelos (ensayo modificado de compactación). Bogotá: INVIAS

Mellace, R.; Sosa, M.; Maris, S.; Arias, L.; Alderete, C.; Ferreira, I.; Soria, R.; Rotondaro, R. (1992). Centro Regional de Investigaciones de Arquitectura de Tierra Cruda. Disponible en: http://www.habitat.arq.una.py/ambitos/tyh/cct/crh_cct_0090.pdf

Moromi Nakata, I. (1993). Materiales utilizados en edificaciones de bajo costo. V Curso Internacional sobre edificaciones de bajo costo en zonas sísmicas. Editado por CISMID la Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Octubre, 1993.

Otero B., L.A., Sandoval, J F. (2003). Comportamiento de bloques de tierra comprimida sometidos a diferentes condiciones de humedad. II Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Madrid, 18-19 de septiembre de 2003.

Oti, J.E.; Kinuthia, J.M.; Bai, J., (2009). Engineering properties of unfired clay masonry bricks. *Engineering Geology* 107 130-139.

Pons, G. (2001). La tierra como material de construcción. Disponible en: http://ieham.org/html/docs/La_tierra_como_material_de_construcion.pdf

Red Habiterra (1995). Recomendaciones para la elaboración de normas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento. Bolivia: CYTED/Habiterra

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (1997). NSR-10. Título D – Mampostería estructural. Bogotá, D.C: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Rodríguez D., M. A.; Barroso V, Ileana J; Saroza H, B. (1997). Aplicación tecnológica del adobe estabilizado. Universidad de Oviedo.

Roux G., R.S; Olivares S., M. (2002). Utilización de ladrillos de adobes estabilizados con cemento Portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. *Informes de la construcción*, v. 53, n. 478, marzo-abril 2002. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articulo/viewArticle/627>

Sampieri R.; Collado, C.; Lucio, P. (2006). Metodología de la investigación. México: Ed. Mc Graw Hill

Tejada, S. U. (1993). Técnicas de preparación y estabilización del adobe. V Curso Internacional sobre edificaciones de bajo costo en zonas sísmicas. Editado por CISMID y la Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Octubre, 1993.

Torres, R (f.c 2012). Investigaciones de estructuras para viviendas de bajo coste y el rol del CISMID. Seminario internacional de seguridad sísmica. Para vivienda de bajo costo. México

Yepes, G. O. N.; Bedoya, M. C. M.; Gómez, E. J. D. (2012). Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción en tierra como patrimonio futuro. “el bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de suelo geopolimerizado (BSG)”. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Maestría en Construcción Modalidad Profundización, Énfasis en Construcción Sostenible.

Yetgin, Ş; Çavdar, Ö; Çavdar, A. (2006). The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes. Department of Civil Engineering, Gumushane Faculty of Engineering, Karadeniz Technical University, 29000 Gumushane, Turkey

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a La Universidad Libre de Pereira, por la financiación de la investigación, y la adecuada disposición de recursos y laboratorios para el desarrollo del trabajo.

AUTORES

Gloria M. Molina Vinasco, Maestra en ciencias en ingeniería civil con énfasis en geotecnia, ingeniera civil; Líder del grupo de Investigación GICIVIL Pereira. Docente investigadora de La Universidad Libre Seccional Pereira. Currículo completo.

http://scienti1.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001361631

Mónica Andrea Arenas Castaño. Ingeniera civil. Egresada de la Universidad Libre Seccional Pereira.

Alejandro Londoño, Oscar Andrés Parra, Lina Marcela Vallejo, estudiantes de noveno semestre Ingeniería Civil. Universidad Libre Seccional Pereira.