

## **Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos**

### **Compressed Earth Blocks (CEB) with bitumen emulsion**

Hernán Darío Cañola<sup>1</sup>, Alejandro Builes-Jaramillo<sup>2</sup>, Carlos Andrés Medina<sup>3</sup>, y Gustavo Enrique González-Castañeda<sup>4</sup>

Recibido: 27 de diciembre de 2017

Aceptado: 28 de mayo de 2018

---

#### Cómo citar / How to cite

H. D. Cañola, A. Builes-Jaramillo, C. A. Medina, y G. E. González-Castañeda, Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoLógicas*, vol. 21, no. 43, pp. 135-145, 2018.

---

<sup>1</sup> MSc. en Construcción, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, hernan.canola@colmayor.edu.co

<sup>2</sup> PhD. en Ingeniería -Recursos Hidráulicos, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, luis.builes@colmayor.edu.co

<sup>3</sup> MSc. en Construcción, Grupo de Investigación Ambiente, Hábitat y Sostenibilidad, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Medellín-Colombia, medina@colmayor.edu.co

<sup>4</sup> Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Exactas y Aplicadas, Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), Medellín-Colombia, goncas35@hotmail.com

## **Resumen**

Los muros en tierra, presentan lesiones patológicas debido a su exposición al agua lluvia, y al agua proveniente del suelo. Además, por sus características de higroscopicidad los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) presentan bajas resistencias a la penetración del agua y altos coeficientes de absorción capilar. Como alternativa para la reducción del coeficiente de absorción capilar e incremento de la resistencia a la penetración de agua se analizaron experimentalmente bloques de tierra comprimida adicionados con emulsión asfáltica en frío en proporciones del 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, respecto al peso del agua. Se estudió para cada una de las muestras la absorción capilar, resistencias a la compresión y penetración de humedad con el fin de evaluar la proporción optima de adición. Como resultado de la experimentación se determinó que los BTC adicionados con un 50 % de emulsión asfáltica presentan las mejores características de protección contra la humedad garantizando la resistencia a compresión necesaria para su uso en la construcción.

## **Palabras clave**

Absorción capilar, bloque de tierra comprimida, emulsión asfáltica en frío, penetración de agua, resistencia a la compresión.

## **Abstract**

Walls made of soil present serious failures due to their exposure to rain and groundwater. In addition, due to their hygroscopic characteristics, compressed earth blocks (CEBs) present low resistance to water penetration and high capillary absorption coefficients. Therefore, CEBs combined with a cold asphalt emulsion were experimentally analyzed as an alternative to reduce their capillary absorption coefficient and improve their resistance to water penetration. The emulsion was incorporated in proportions of 25%, 50%, 75% and 100% with respect to the weight of water. The capillary absorption, resistance to compression, and moisture penetration of each sample were studied in order to calculate the optimal proportion of the mixture. Based on the results, CEBs with 50% asphalt emulsion exhibit the best characteristics of protection against humidity, thus guaranteeing the compressive strength required for traditional construction.

## **Keywords**

Capillary suction, compressed earth block, cold bitumen emulsion, water penetration, compressive strength.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tierra ha sido a través de la historia uno de los materiales más utilizados por el hombre en la ejecución de edificaciones debido a su abundancia y fácil manipulación [1]–[9]. Es por lo anterior que aproximadamente el 15 % de los lugares patrimoniales de la UNESCO se encuentran contruidos en este material [10]. Los elementos constructivos en tierra tienen como características afinidad por el agua y una alta higroscopicidad, que de la mano con deficiencias en el mantenimiento preventivo y procesos inadecuados de protección frente la humedad genera lesiones relacionadas con el exceso de agua y elevadas inversiones destinadas a su conservación [10].

Hay gran variedad de investigación orientada a la reducción de las lesiones patológicas relacionadas con la exposición a la humedad en las edificaciones contruidas en tierra, particularmente en BTC y para disminuir los coeficientes de absorción capilar de los muros contruidos con estos materiales, como se muestra a continuación.

Según [11], la mezcla de aditivos acrílicos en elementos constructivos en tierra y arcilla mejora sustancialmente la resistencia a la abrasión, pero reduce significativamente la transmisión de vapor y aumenta la capilaridad; además establecen en su investigación que el uso de aditivo etil-silicato se comporta como el acrílico, pero ocasiona que el elemento constructivo en tierra sea más resistente al agua. [12] establecieron que la estabilización físico-química de las tierras arcillosas a través de productos que las hagan menos hidrófilas, tiene como objetivo principal disminuir la sensibilidad de este material frente al agua, como es el caso del uso de asfaltos e hidrocarburos.

[10] realizaron un estudio experimental para determinar el comportamiento de los enlucidos en tierra con diferentes aditivos frente a los agentes atmosféricos. En esta

investigación se compara el aumento de la repelencia al agua de enlucidos en tierra adicionados con silano-siloxano y cera de abejas combinada con nano partículas de silicio, presentando los mejores resultados el silano-siloxano, ya que es el único producto capaz de proteger a los enlucidos de la humedad y de la erosión generada por la exposición al agua lluvia.

[13] determinaron en su investigación que el uso de mezclas hidrofóbicas a base de zinc, calcio, sodio y siliconas adicionados en las mezclas de morteros minimizan los problemas derivados de la humedad debido a la disminución de su permeabilidad después del proceso de curado.

[14] determinan, con base en la experimentación, que valores menores a 0,030 (kg / (s<sup>1/2</sup> m<sup>2</sup>)) del coeficiente de absorción capilar se consideran repelentes al agua y menores que 0,008 (kg / (s<sup>1/2</sup> m<sup>2</sup>)) se considera hidrófugos.

En este artículo se estudia el comportamiento físico-mecánico (coeficiente de absorción capilar, resistencia a la penetración de agua y a la compresión) de los BTC adicionados con compuestos bituminosos. La obtención de mezclas de BTC con resistencias a la penetración del agua de aproximadamente de 30x10<sup>6</sup> s/m<sup>2</sup> y coeficientes de absorción capilar en el rango de los materiales hidrófugos (ver Fig. 1), se considera como una necesidad para la reducción de las patologías asociadas a la exposición a la humedad en las construcciones con BTC.

## 2. METODOLOGÍA

Para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los BTC es necesario ejecutar ensayos sobre el bloque y sobre la mezcla de constitución fraguada en probetas cilíndricas, debido a que hay propiedades que no se pueden analizar en los bloques. En los BTC se evaluó: penetración de agua (método RILEM), módulo de elasticidad promedio y

resistencia a la compresión; y en las probetas cilíndricas de tierra comprimida: la porosidad efectiva; la resistencia a la penetración de agua; el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar. Para el desarrollo de los ensayos se siguió el diseño experimental propuesto por [15].

Los bloques se fabricaron según los parámetros de la norma NTC 5324 [16] con dimensiones de 0.095 m de alto, 0.14 m de ancho y 0.295 m de longitud aligerados con perforación vertical; y las probetas cilíndricas se fabricaron según los parámetros de la norma UNE PrUNE 83.982 [17] y la norma ASTM C1585-04 [18] con dimensiones de 0.10 m de diámetro y 0.05 m de alto.

Dichas muestras (probetas y bloques) se fabricaron con tierra (proveniente del Municipio de El Retiro en el Departamento de Antioquia), cemento Portland tipo 1 (Argos), emulsión asfáltica en frío (Emulsion Asfáltica Sika®) y agua. En la Tabla 1 (Ver Tabla 1.) se presentan las densidades del cemento Portland tipo 1 y la emulsión asfáltica.

Tabla 1. Densidades. Fuente: autores.	
Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	3.150
Emulsión asfáltica	1.060

Para la fabricación de los bloques y las probetas se definió un peso total de mezcla compuesto por tierra, cemento, agua y

emulsión asfáltica. Para tierra clasificada como limo de alta plasticidad (MH) se toman proporciones de 76 % del peso total de tierra, 8 % de cemento y 16 % de agua [19], posteriormente, se adiciona la emulsión a la mezcla en proporciones del 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, respecto al peso del agua. Una vez realizada la mezcla de materiales esta es comprimida en una Cinva-Ram hidráulica a una presión constante de 14 MPa durante 1 min y luego los bloques se someten a un proceso de secado a temperatura ambiente durante 14 días para posteriormente ser analizados.

El desarrollo experimental se dividió en seis etapas: i) caracterización del suelo para la fabricación de los BTC de acuerdo con análisis organolépticos de campo [20], ii) caracterización de la tierra a través de análisis granulométricos acordes con la norma ASTM D 422-63 [21] y análisis de plasticidad a partir de la norma ASTM D 4318-17 [22]; iii) ensayo de succión capilar bajo los parámetros de la norma UNE PrUNE 83.982 [17] y la norma ASTM C1585-04 [18]; iv) ensayos de penetración de agua siguiendo el método RILEM CPC 11.2 [23]–[25], v) ensayos de compresión de acuerdo a la norma NTC 5324 [16] y vi) Ensayo de módulo de elasticidad mediante el uso de ultrasonido norma ASTM C597 – 16 [26].



Fig. 1. Bloque de tierra comprimida con emulsión asfáltica. Fuente: autores.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la caracterización organoléptica de la tierra utilizada (ver Fig. 2), se ejecutaron las siguientes pruebas: prueba de olor, prueba de mordedura, prueba de brillo, prueba de sedimentación simplificada y prueba del cordón. Según estos análisis se estableció que la tierra provenía de un suelo inorgánico, limo arcilloso de textura suave y su superficie presentaba poco brillo, además contenía arena fina, arcilla y partículas de cuarzo y mica (clasificada como tipo MH).

El análisis granulométrico se desarrolló con una muestra de 500 g de tierra, de esta, 263.2 g pasaron por el tamiz N° 200, equivalente a más del 50 % de la muestra, además se obtuvo un módulo de finura de 1.80 %, clasificando el suelo como fino-granular. Posterior al análisis granulométrico se procedió a ejecutar el análisis de plasticidad a través de los límites de Atterberg (Limite líquido y Limite plástico), los cuales proporcionaron información de la consistencia del suelo, contenido de material orgánico y arcillas [27], [28]. Los resultados del análisis de plasticidad, densidad seca máxima (Proctor), contenido de humedad óptima y

clasificación del suelo se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del suelo. Fuente: autores.

Tipo de suelo	MH
Límite líquido (%)	52.4
Límite plástico (%)	45.7
Índice de Plasticidad (%)	6.7
Densidad máxima (kg/m <sup>3</sup> )	1390
Humedad Óptima (%)	24

Se empleó el ensayo de absorción capilar [15], [29] para evaluar porosidad, resistencia a la penetración del agua, coeficiente de absorción capilar y velocidad de absorción capilar de las muestras (probetas cilíndricas). Este ensayo se repitió en 20 muestras por cada tipo de mezcla. Las muestras con dimensiones de 0.10 m de diámetro y 0.05 m de altura (ver Fig. 3).

El proceso de curado, impermeabilización, pesaje y medición de la absorción de humedad por capilaridad de las muestras se llevó a cabo según la norma UNE PrUNE 83.982 [17], manteniendo un promedio de temperatura ambiente y humedad relativa de 25°C y 65 % respectivamente.



Fig. 2. Tierra utilizada, proveniente de El Retiro Antioquia. Fuente: autores.



Fig. 3. Ensayo de succión Capilar. Fuente: autores

El ensayo de succión capilar UNE PrUNE 83.982 [17] permitió determinar para cada una de las probetas:

La resistencia a la penetración del agua, presentada en la ecuación (1):

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (1)$$

Donde  $m$  es la resistencia a la penetración del agua ( $s/m^2$ ),  $t_n$  es el tiempo en el punto crítico de saturación de la probeta ( $s$ ) y  $h$  es la altura o espesor total de la probeta ( $m$ ). El coeficiente de absorción capilar, presentado en la ecuación (2):

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \frac{1}{A} \quad (2)$$

Donde  $k$  es el coeficiente de absorción capilar ( $kg / (s^{1/2} m^2)$ ),  $Q_n$  y  $Q_0$  son las masas de la probeta en el punto crítico y al inicio del ensayo respectivamente ( $kg$ ) y  $A$  es el área de succión de la probeta ( $m^2$ ). La porosidad efectiva se define en la ecuación (3):

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{Ah\rho} \quad (3)$$

Donde,  $\varepsilon$  es la porosidad efectiva (%) y  $\rho$  es la densidad del agua ( $kg/m^3$ ).

Además, la velocidad de absorción capilar  $S$  ( $m/s^{1/2}$ ) se estimó según la norma ASTM C1585-04 [18], como la pendiente de una recta entre el origen y el punto crítico de saturación en la gráfica definida por la ecuación (4):

$$\frac{Q_t - Q_0}{\rho A} \text{ vs } \sqrt{t} \quad (4)$$

Donde,  $Q_t$  es la masa de la probeta en el tiempo  $t$  ( $kg$ ) y  $t$  es el tiempo de saturación de la probeta ( $s$ ).

El peso de las probetas presentó un aumento constante debido a la succión de agua, hasta alcanzar el punto crítico de saturación mostrado en color rojo (ver Fig. 4). Luego de este punto crítico la absorción de agua en las probetas logró la estabilización.

En la Fig. 4 se observa que las probetas sin adición de emulsión presentan una menor absorción de agua, en comparación con las que tienen adiciones de 25 %, 50 % y 75 %, este es un resultado contradictorio, ya que se espera que al no estar adicionadas absorban mayor cantidad de agua durante el ensayo. Este comportamiento atípico puede ser explicado por la pérdida de masa que presentan las probetas sin adición cuando

son sometidas a análisis de absorción capilar. Estas disminuciones de masa son de aproximadamente el 8 % (ver Fig. 5 y Tabla 3), lo cual influye en el peso inicial de comparación.

En la Tabla 4 se presentan los resultados de porosidad, resistencia a la penetración del agua, coeficiente de absorción capilar y velocidad de absorción capilar, para cada una de las proporciones de adición de emulsión.

La incorporación de emulsión contribuye en la disminución de la

absorción capilar en bloques de tierra comprimida y garantiza la conservación de masa frente a la humedad. Los mejores resultados se obtienen con una adición del 50 %, 75 % y 100 % de emulsión asfáltica.

Para los bloques con una incorporación de emulsión superior al 25 % se encuentran coeficientes de absorción capilar y velocidades de absorción capilar adecuadas, pero los valores de coeficiente de absorción capilar de 0,058 (kg / s<sup>1/2</sup> m<sup>2</sup>) hacen que la mezcla no pueda clasificarse como un material hidrófugo (ver [14]).

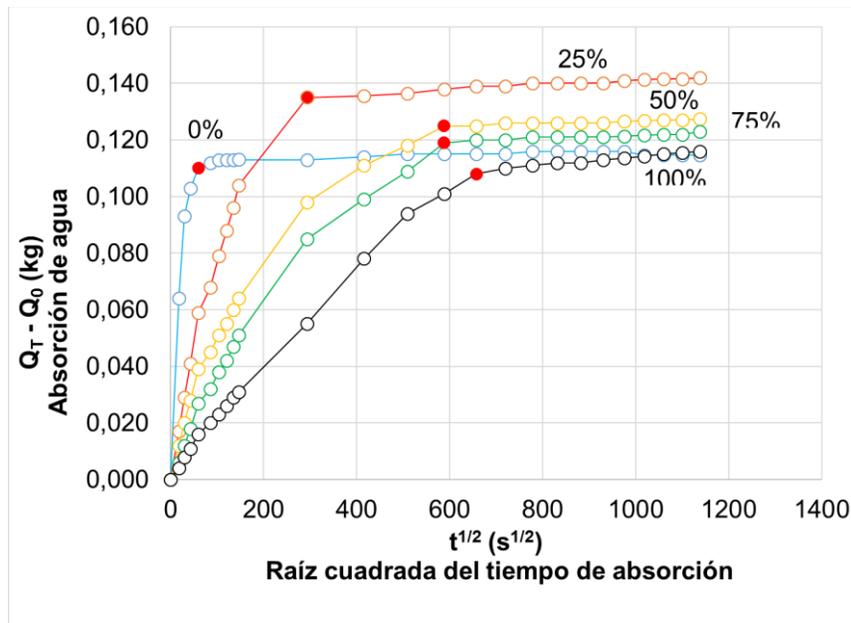


Fig. 4. Gráficas de absorción capilar para cada uno de los tipos de mezcla (% de emulsión) en función del tiempo (0% línea azul, 25 % línea roja, 50 % línea amarilla, 75 % línea verde y 100 % línea negra). En cada línea se identifica el punto de crítico de saturación con un punto rojo. Fuente: autores.



Fig. 5. Pérdida de masa de probetas sin adición de emulsión respecto a probetas adicionadas. Fuente: autores.

Tabla 3. Variación de pesos muestras cilíndricas. Fuente: autores.

Adición de emulsión asfáltica respecto al peso del agua (%)	Peso Inicial seco (kg)	Peso final seco (kg)	Variación de pesos (%)
0	0,60	0,55	8
25	0,61	0,61	0
50	0,63	0,63	0
75	0,61	0,61	0
100	0,63	0,63	0

Tabla 4. Resultados del ensayo de succión capilar para cada uno de los tipos de mezcla. Fuente: autores.

Emulsión asfáltica respecto al peso del agua (%)	Porosidad $\epsilon$ (%)	Resistencia penetración del agua m ( $10^6$ s/m <sup>2</sup> )	Coefficiente absorción capilar k ( $\text{kg}/(\text{s}^{1/2}\text{m}^2)$ )	Velocidad absorción capilar S ( $10^{-4}$ m/s <sup>1/2</sup> )
0	29	1,56	0,233	1,0
25	34	34,56	0,058	0,5
50	31	127,81	0,027	0,2
75	29	127,81	0,026	0,2
100	26	159,76	0,021	0,2

La penetración del agua en los bloques se estima por medio del RILEM CPC 11.2 [23]–[25](ver Fig. 6). Luego de garantizar que la superficie de los bloques está seca y limpia se aplica masilla impermeable para adherir una pipeta de Kasrten de 1 cm<sup>2</sup> de sección transversal y un volumen de 5 cm<sup>3</sup> [15], verificando que no haya fugas. El ensayo se desarrolla durante 10 minutos, registrándose la penetración del agua durante este periodo (ver Fig. 7).

En la Tabla 5 se presentan los promedios de penetración al agua después de 10 minutos para cada una de las proporciones de mezcla. Al comparar los resultados de penetración del agua en los BTC adicionados con emulsión y aquellos que no tienen se encuentran reducciones de 64 %, 58 %, 43 % y 25 % para las adiciones de 100 %, 75 %, 50 % y 25 % respectivamente. Las mayores reducciones en términos de penetración de agua se

obtienen con el 75 % y el 100 % de adición de emulsión asfáltica.

Tabla 5. Penetración promedio de agua (método RILEM) para cada uno de los tipos de mezcla. Fuente: autores.

Muestra	Adición de emulsión asfáltica respecto al peso del cemento (%)	Penetración de agua promedio Pt ( $10^{-6}$ m <sup>3</sup> )
1	0	4,54
2	25	3,80
3	50	2,60
4	75	1,89
5	100	1,62

En la Tabla 6 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días y módulo de elasticidad mediante ultrasonido (ver Figura 8) para todos los tipos de mezcla. Ambos parámetros disminuyen a medida que se aumenta la proporción de emulsión asfáltica en los BTC.



Fig. 6. Ensayo de penetración de agua con el método RILEM. Fuente: autores.

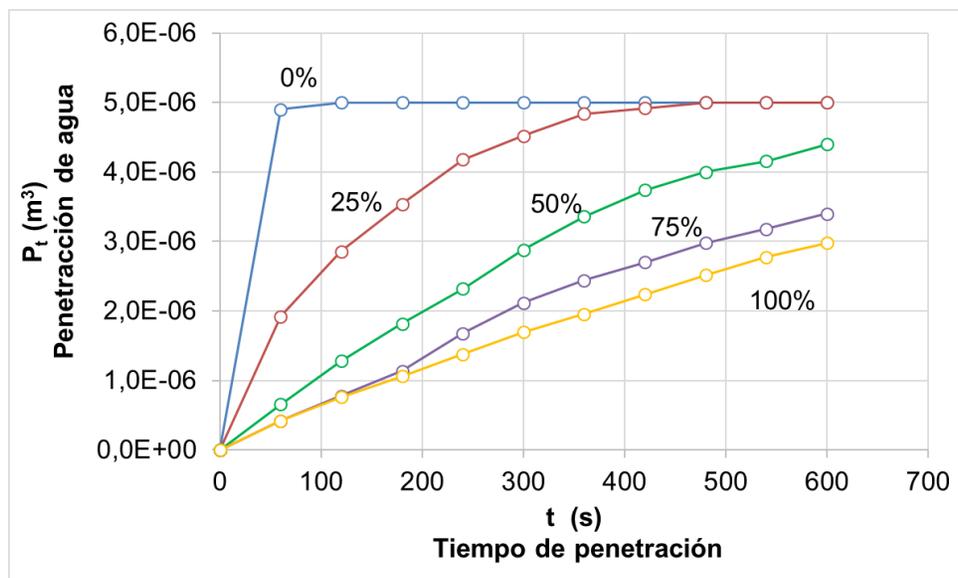


Fig. 7. Gráficas Penetración de agua (método RILEM) para cada uno de los tipos de mezcla (% de emulsión) en función del tiempo (0 % línea azul, 25 % línea roja, 50 % línea amarilla, 75 % línea verde y 100 % línea negra). En el eje de las abscisas se presentan los valores de Tiempo de penetración  $t$  (s) y en el eje de las ordenadas los valores de penetración de agua en el tiempo  $t$  ( $m^3$ ). Fuente: autores.

Tabla 6. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión y ultrasonido (módulo de elasticidad). Fuente: autores.

Adición de emulsión asfáltica respecto al peso del agua (%)	Número de bloques	Resistencia a la compresión promedio en área neta (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (GPa)
0	20	3,4	2,4
25	20	2,5	1,6
50	20	2,3	1,2
75	20	2,1	1,1
100	20	2,1	1,1



Fig. 8. Análisis de BTC con ultrasonido. Fuente: autores.

#### 4. CONCLUSIONES

Mediante análisis experimental se encuentra que la proporción de mezcla óptima para la fabricación de BTC con emulsión asfáltica es del 50 %, ya que permite mantener condiciones aceptables de resistencia a la compresión de los bloques (2,3 MPa) y garantiza valores bajos del coeficiente de absorción capilar (0,027 kg / s<sup>1/2</sup> m<sup>2</sup>) aunque no sean considerados hidrófugos [14]. Cuando la proporción de adición es del 75 % se disminuye en un 9 % la resistencia a la compresión y en 4 % el coeficiente de absorción capilar, lo cual indica que para aplicaciones que no demanden altas resistencias del BTC podría ser una alternativa de mezcla.

Es importante resaltar que el uso de emulsión asfáltica como reductor de la succión capilar y penetración de agua es inversamente proporcional a la mejora de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad. Este resultado es de especial interés, ya que los bloques serán empleados en procesos constructivos, por lo cual es necesario verificar siempre las restricciones en cuanto a resistencia final del producto.

Una adición de emulsión asfáltica de 25 % respecto al peso del agua logra reducir drásticamente la absorción capilar en la mezcla, con la cual se podrían eliminar los

posibles daños en los muros en BTC por la presencia de humedad del suelo o la lluvia.

Los resultados de los ensayos de succión capilar muestran el comportamiento del material frente a la humedad proveniente del terreno, las muestras sin adición de emulsión presentan una disminución en peso (8 %) que puede atribuirse a procesos de erosión debido a la presencia de humedad. Se recomienda estudiar con más profundidad estos procesos de degradación en futuras investigaciones.

Para una investigación futura, se recomienda estudiar los morteros de pega adicionados con emulsión asfáltica para muros en BTC y verificar la viabilidad económica de esta alternativa de mejora para las construcciones en tierra.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] C. Egenti, J. M. Khatib, and D. Oloke, "Conceptualisation and pilot study of shelled compressed earth block for sustainable housing in Nigeria," *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 3, no. 1, pp. 72–86, Jun. 2014.
- [2] C. Jayasinghe and N. Kamaladasa, "Compressive strength characteristics of cement stabilized rammed earth walls," *Constr. Build. Mater.*, vol. 21, no. 11, pp. 1971–1976, Nov. 2007.
- [3] M. Hall and Y. Djerbib, "Rammed earth sample production: context,

- recommendations and consistency,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 18, no. 4, pp. 281–286, May 2004.
- [4] P. Marais, J. Littlewood, and G. Karani, “The Use of Polymer Stabilised Earth Foundations for Rammed Earth Construction,” *Energy Procedia*, vol. 83, pp. 464–473, Dec. 2015.
- [5] H. Ben Ayed, O. Limam, M. Aidi, and A. Jelidi, “Experimental and numerical study of Interlocking Stabilized Earth Blocks mechanical behavior,” *J. Build. Eng.*, vol. 7, pp. 207–216, Sep. 2016.
- [6] a. Tavares, A. Costa, F. Rocha, and A. Velosa, “Absorbent materials in waterproofing barriers, analysis of the role of diatomaceous earth,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 102, pp. 125–132, Jan. 2016.
- [7] M. Hall and Y. Djerbib, “Moisture ingress in rammed earth: Part 2 – The effect of soil particle-size distribution on the absorption of static pressure-driven water,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 20, no. 6, pp. 374–383, Jul. 2006.
- [8] P. Donkor and E. Obonyo, “Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers,” *Mater. Des.*, vol. 83, pp. 813–819, Oct. 2015.
- [9] B. Taallah, A. Guettala, S. Guettala, and A. Kriker, “Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 59, pp. 161–168, May 2014.
- [10] F. Stazi, A. Nacci, F. Tittarelli, E. Pasqualini, and P. Munafò, “An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments,” *J. Cult. Herit.*, vol. 17, pp. 27–41, Jan. 2016.
- [11] M. I. Beas Guerrero de Luna, “Consolidation of traditional plasters : a laboratory research,” in *Conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura de terra*, 1993, pp. 410–416.
- [12] P. Doat, A. Hays, H. Houben, S. Matuk, and F. Vitoux, *Construir con tierra*, 2nd ed. CRAterre, 1979.
- [13] M. Lanzón and P. A. García-Ruiz, “Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 10, pp. 3287–3291, Oct. 2009.
- [14] C. Zürcher and T. Frank, *Physique du bâtiment. Construction et énergie*. vdf Hochschulvlg, 2014.
- [15] H. D. Cañola and C. Echavarría, “Concrete blocks with bitumen emulsion for foundation walls,” *Ing. y Desarro.*, vol. 35, no. 2, pp. 491–512, Jun. 2017.
- [16] Norma Técnica Colombiana, *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega: NTC 5324*, ICONTEC. 2004.
- [17] Asociación Española de Normalización y Certificación, *UNE 83982: durabilidad del hormigón : métodos de ensayo : determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido : método Fagerlund*. AENOR, 2008.
- [18] ASTM International, *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement concretes: ASTM C1585-04*, vol. i. ASTM International, 2004.
- [19] E. Adam and A. Agib, “Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan,” Paris, France, 2001.
- [20] P. Doat, A. Hays, H. Houben, S. Matuk, and F. Vitoux, *Construir con tierra*, 1st ed. 1979.
- [21] ASTM International, “Standard test method for particle-size analysis of soils: ASTM D 422,” 2007.
- [22] ASTM International, *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils: ASTM D4318-17e1*, vol. 04.08. ASTM International, 2017.
- [23] J. L. Crissinger, CCS, and CCCA, “Measuring Moisture Resistance to Wind Driven Rain Using a RILEM Tube,” 2005.
- [24] D. Vandevoorde *et al.*, “Validation of in situ Applicable Measuring Techniques for Analysis of the Water Adsorption by Stone,” *Procedia Chem.*, vol. 8, pp. 317–327, 2013.
- [25] M. a. Wilson, M. a. Carter, and W. D. Hoff, “British standard and RILEM water absorption tests: A critical evaluation,” *Mater. Struct.*, vol. 32, no. 8, pp. 571–578, Oct. 1999.
- [26] ASTM International, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete: ASTM C597-16*. ASTM International, 2018.
- [27] A. Yalcin, “The effects of clay on landslides: A case study,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 38, no. 1–2, pp. 77–85, Dec. 2007.
- [28] A. Hemmat, N. Aghilinategh, Y. Rezajnejad, and M. Sadeghi, “Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran,” *Soil Tillage Res.*, vol. 108, no. 1–2, pp. 43–50, May 2010.
- [29] C. Echavarría and H. D. Cañola, “Bloques de concreto con emulsión de parafina,” *Lámpsakos*, no. 17, pp. 14–19, 2017.