ANÁLISIS DE LAS PROPOIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA

Mara Bruna Silveira Muniz[1]; Mariano Assandri[2]; Emiliano Ferrari[3]; Paulina Garcén[4]; Lucas Hernández [5]; Felipe Lucas,[6]

Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Uruguay

[1]bmuniz@fing.edu.uy; [2]marianoassandri@gmail.com; [3]emilianoferrariolmedo@gmail.com; [4]paulinagarcen@gmail.com; [5]felilucas8@gmail.com

Palabras-claves: construcción con tierra, resistencia mecánica, caracterización

Resumen

Los bloques de tierra comprimida (BTC) están compuestos por una mezcla de tierra con agua y, si lo necesitan, estabilizantes y aditivos. En muchos casos se utiliza un pequeño porcentaje de cemento portland para estabilizar la estructura del mampuesto. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar los bloques de tierra comprimida que son comercializados en Uruguay, para eso se está analizando BTC de dos fábricas distintas. Se pretende analizar la calidad de los bloques a través de ensayos físico-mecánicos, como el ensayo de resistencia a compresión y la prueba para determinar la capacidad de absorción de agua. El análisis se basa en estos dos parámetros, ya que son ensayos importantes para analizar la resistencia mecánica y la calidad de un mampuesto para su uso en la construcción de viviendas. Con relación al ensayo de compresión se comprobó que los BTC de la fábrica B son más resistentes comparados a los BTC de la fábrica A, pero no alcanzaron los 2 MPa exigidos por la norma adoptada. Con relación al ensayo de capacidad de absorción de agua, fueron obtenidos resultados satisfactorios para todos los BTC analizados. Por lo tanto, se concluye que se necesita de más ensayos para tener mayores conclusiones, principalmente con relación a los ensayos de resistencia a compresión, se debe testar más procedimientos para llegar a los resultados definidos por norma.

1 INTRODUCCIÓN

La tierra como material de construcción ha sido utilizada en Uruguay desde las primeras colonizaciones. A mitad del siglo XX, coincidiendo con una tendencia mundial en la que materiales industrializados sustituyeron a tradicionales, los sistemas y técnicas constructivas con tierra fueron dejados de lado. A partir de 1988, en Uruguay se comienza a revalorizar la arquitectura y construcción con tierra como respuesta a necesidades de vivienda, pero, a diferencia de otros países de la región, sin un marco normativo sobre el que basarse a la hora de evaluar las construcciones por parte de organismos nacionales o departamentales. A pesar de vacíos legales, las construcciones con tierra en Uruguay han aumentado significativamente en los primeros años de este siglo (Ferreiro, 2022).

Los bloques de tierra comprimida (BTC) están compuestos por una mezcla de tierra con agua y, si lo necesitan, estabilizantes y aditivos. En muchos casos se utiliza un pequeño porcentaje de cemento portland para estabilizar la estructura del mampuesto. Esta mezcla resultante se somete a una compresión estática o dinámica, ejercida mecánicamente por una prensa, que otorga a la masa una forma de paralelepípedo. Los elementos adquieren sus propiedades definitivas tras un proceso de secado natural, es entonces cuando podrán ser utilizados para la formación de muros (García-Carreño, 2020). De acuerdo con Minke (2008), la tierra con una adecuada distribución granulométrica para elaborar un BTC es aquella que contenga un 14% de arcilla, 22% de limo y 64% de arena, lo cual, ocurre que normalmente sea necesario agregar arena a la tierra extraída.

De acuerdo con Souza et al. (2008 apud Gonçalves et al., 2017), los BTC representan una alternativa a las directrices del desarrollo sostenible, ya que requieren bajo consumo de energía en la extracción de materias primas, podrán dispensar al proceso de cocción y reducir

la necesidad de transporte, ya que los bloques se pueden producir con la tierra de la propia construcción; otro aspecto es la capacidad de racionalizar el proceso de construcción, por el uso de bloques modulares que permiten el uso de técnicas empleadas en la albañilería, proporcionando la reducción de residuos y la reducción en el volumen de los desechos generados, así proporcionan rapidez en el proceso de construcción, materiales y mano de obra de ahorro; eliminar los daños en las paredes para el paso de tuberías, ya que los bloques tienen agujeros que se superponen a los conductos de la colocación, facilitando el pasaje de los cables y cañerías de las instalaciones eléctricas y sanitarias.

2 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar los BTC que son comercializados en Uruguay, para eso se están analizando productos de dos fábricas distintas. Se pretende analizar la calidad de los bloques a través de la resistencia a compresión y de la capacidad de absorción de agua. El análisis se basa en estos dos parámetros, ya que son ensayos importantes para analizar la resistencia mecánica y la eficiencia de un mampuesto para su uso en la construcción de viviendas.

3 METODOLOGÍA

La caracterización de los BTC fue realizada a través del ensayo mecánico de resistencia a compresión y del ensayo que determina la capacidad de absorción de agua de los bloques. Los ensayos fueron realizados bajo la norma brasileña NBR 8492 (2012) en la que recomienda usar 10 bloques por cada lote: siete bloques sometidos al ensayo de resistencia a la compresión y 3 bloques a la prueba para determinar la capacidad de absorción de agua. Primeramente, fue realizado el análisis dimensional de las muestras, sacando 3 mediciones en puntos distintos de cada cara del bloque a cada extremo y una medida en el medio de la muestra. Como ya dicho anteriormente, fueron caracterizados BTC de dos fábricas distintas en Uruguay, una fábrica ubicada en el departamento de San José, denominada de fábrica A y la otra está ubicada en el departamento de Canelones, denominada de fábrica B.

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de cementos del Instituto de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería (UdelaR). Esa actividad de investigación fue realizada en conjunto con estudiantes de ingeniería civil para culminar la unidad curricular de Monografía. Cabe destacar, que los resultados obtenidos en esta investigación serán comparados solamente entre sí.

3.1 Ensayo de compresión

Para el ensayo a compresión, primeramente, se cortó las muestras al medio, perpendicularmente a su mayor dimensión. En seguida, se apoyó las dos caras cortadas, una arriba de la otra, asentándolas con una capa fina de pasta de cemento portland entre 2 a 3 mm de espesor. Luego del curado de la pasta de cemento, las muestras fueron identificadas y después fueron sumergidas en agua durante 6 horas antes de someter al ensayo de compresión.

El ensayo a compresión fue realizado como describe la norma brasileña (NBR 8492, 2012) pero con algunas adaptaciones en los procedimientos adoptados a través de la bibliografía estudiada (Gomes, 2015). La pasta de cemento, hecha como se recomienda la norma brasileña, no hubo buena adherencia con el bloque; luego se hizo un mortero con cemento, arena y agua con una proporción de 1:3:1/2 respectivamente, como se describe en la norma UNIT-ISO 679 (2009). Se optó por hacer un encabezado para rectificar las caras superiores de los bloques que entran en contacto con el plato superior de la prensa, ya que la norma exige que el contacto de la muestra con la prensa sea totalmente plano y perpendicular. Para el mortero de encabezado se utilizó la misma dosificación del mortero de junta. Luego se llevó a la cámara húmeda y se dejó durante 7 días para que el mortero de encabezado alcance una resistencia a compresión superior al bloque. En la figura 1 se presenta los procedimientos previos al ensayo de compresión.

Figura 1 – Procedimientos previos al ensayo de compresión: (a) Bloques cortados superpuestos con mortero de junta; (b) Bloques con mortero de encabezado

Cada bloque posee dos orificios, de los cuales, las muestras cortadas al medio se quedan con un orificio, por lo tanto, fue utilizado vasos descartables para tapar los orificios, de esta manera facilitando la ejecución del encabezado en las muestras. Pasado los 7 días de curado del mortero se ensayó a compresión los BTC de la fábrica A y de la fábrica B. Las muestras fueron ensayadas en una prensa hidráulica con velocidad constante de 500 N/s a una sensibilidad de la prensa de 5 kN, como se presenta en la figura 2. La carga fue aplicada de manera constante hasta la rotura de la probeta.

Figura 2 – Ensayo de compresión

3.2 Determinación de la capacidad de absorción de agua de los BTC

Para determinar la capacidad de absorción de agua de los bloques se cortó los bloques al medio, como se describió en el ensayo a compresión. Se optó por el procedimiento de someter a la mitad de los BTC cortados al ensayo de absorción, como describe la NBR 8492 (2012), y la otra mitad fue sometida al ensayo de absorción de agua por capilaridad, como describe la norma europea UNE-EN 15801(2010). Se optó por el procedimiento de someter los bloques al ensayo de absorción de agua por sumersión y por capilaridad porque el ensayo por capilaridad mide la velocidad de succión de agua, o sea, la velocidad que el material absorbe agua (g/cm^2) es un dato muy importante principalmente como se trata de un mampuesto que no conlleva cocción en su proceso de fabricación.

En seguida de cortados, los BTC fueron colocados en un horno para secar, entre 105ºC y 110ºC, hasta obtener la constancia de la masa en gramos (cuerpo de prueba seco – m1).

Después de determinada la masa de los bloques, los mismos fueron dejados en temperatura ambiente del laboratorio para luego ser sumergidos en agua, 3 muestras de cada fábrica fueron sumergidas en un tanque durante 24 horas. Luego de las 24 horas se sacó las muestras del tanque, se esperó obtener temperatura ambiente y luego se determinó la masa de la muestra saturada (m^2).

Para el ensayo de absorción por capilaridad fueron sometidas 3 muestras por fábrica analizada. El ensayo se prosiguió de la siguiente manera: los bloques fueron colocados en un recipiente de plástico grande, en donde se colocó una lámina de agua de 5 mm (± 1 mm) de altura, se agregó las muestras adentro del recipiente y en seguida se tapó para que el agua no se evapore. Después se pesó las muestras en distintos intervalos de tiempo: 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 minutos y luego después de las 24 h. Contando desde el tiempo cero en que se comenzó el ensayo y siempre manteniendo la lámina de agua de 5 mm. Las muestras fueron enrolladas con un nylon film en las áreas que no eran necesarias la entrada de agua por capilaridad, apenas se dejó en contacto con el agua una superficie de contacto que coincide con la cara que quedaría externa en el caso de una construcción de una vivienda con ese mampuesto. El ensayo es ilustrado en la figura 3.

Figura 3 – Ensayo de absorción de agua por capilaridad (UNE-EN 15801, 2010)

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En ese apartado serán presentados los resultados obtenidos en la presente investigación a través de los ensayos de compresión y capacidad de absorción de agua de los BTC.

4.1 Ensayo de compresión

En la tabla 1 se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de los BTC de las fábricas A y B. Según la NBR 8491(2012), el promedio de las muestras ensayadas a la compresión no puede ser inferior a 2 MPa ni valores individuales de menos de 1,7 MPa, con edad mínima de 7 días. Como se observa en la tabla 1, el promedio de la fábrica A alcanzó 1,06 MPa con una mayor dispersión de los resultados. En contra partida, los BTC de la fábrica B alcanzaron un promedio de 1,69 MPa, con una menor dispersión entre los resultados obtenidos, o sea, los resultados están más parejos entre sí. Además, los BTC de la fábrica B tienen mejor resistencia a compresión con relación a los BTC de la fábrica A. De igual manera, ningún de los resultados alcanzan al requisito mínimo establecido por la norma brasileña. Cabe destacar, que la muestra número 7 de la fábrica A, fue descartada por obtener resistencia muy inferior con relación a las demás muestras.

La norma española (UNE 41410:2008) clasifica los BTC en 3 clases distintas:

- BTC 1 – R = 1,3 MPa

- BTC 3 – R = 3,0 MPa
- BTC 5 – R = 5,0 MPa

Con base a los resultados obtenidos con los BTC de la fábrica B, ellos estarían en la clase normalizada BTC 1, con resistencias mínima de 1,3 MPa.

Tabla 1 – Resultados de resistencia a la compresión de los BTC

Muestra	Resistencia a la compresión (MPa)	
	Fábrica A	Fábrica B
1	0,68	1,43
2	0,75	1,46
3	0,82	1,52
4	0,96	1,66
5	1,47	1,66
6	1,68	1,99
7	-	2,12
Promedio	**1,06**	**1,69**
Desviación	0,38	0,27

Con relación a los resultados inconsistentes fueron levantadas algunas hipótesis, de las cuales:

a) No hubo una buena adherencia entre la superficie de los bloques y el mortero, ya que en algunas probetas se despegó las juntas y también en algunas probetas no hubo adherencia del mortero de encabezado. Por lo tanto, se justifica el ocurrido por algún error cometido durante la ejecución de los procedimientos de ensayo.

b) La superficie del encabezado no se quedó totalmente plana, por lo tanto, al momento de colocar el bloque en la prensa la muestra quedó con un pequeño desvió y no había un contacto 100% del plato superior de la prensa con relación a la cara superior de la muestra.

En la figura 4 se presenta los resultados de compresión obtenidos en los BTC analizados de las fábricas A y B. Analizando cada probeta por separado y comparando entre las dos fábricas, se observa que los BTC de la fábrica A obtuvieron una resistencia de compresión inferior con relación a la fábrica B. No fue posible conseguir de las empresas estudiadas los análisis de las dosificaciones empleadas para la fabricación de los BTC, de esa manera no se puede afirmar con seguridad porque los BTC de la fábrica B son más resistentes con relación a los BTC de la fábrica A, tampoco hay información sobre la distribución granulométrica del suelo utilizado en la fabricación de los bloques, un dato que podría ayudar en la discusión de los resultados.

Fue levantada algunas hipótesis, como, por ejemplo, la cantidad de cemento influye en la resistencia a la compresión, por lo tanto, se puede decir que los BTC de la fábrica B tienen más cemento comparado a los BTC de la fábrica A. Otro factor decisivo en la resistencia a compresión de los BTC es la capacidad de compactación de la prensa y este es otro dato que no se tiene, sobre la prensa utilizada en la fábrica A, ya que en la fábrica B fue realizada una visita y ellos utilizan una prensa hidráulica para la fabricación de los BTC.

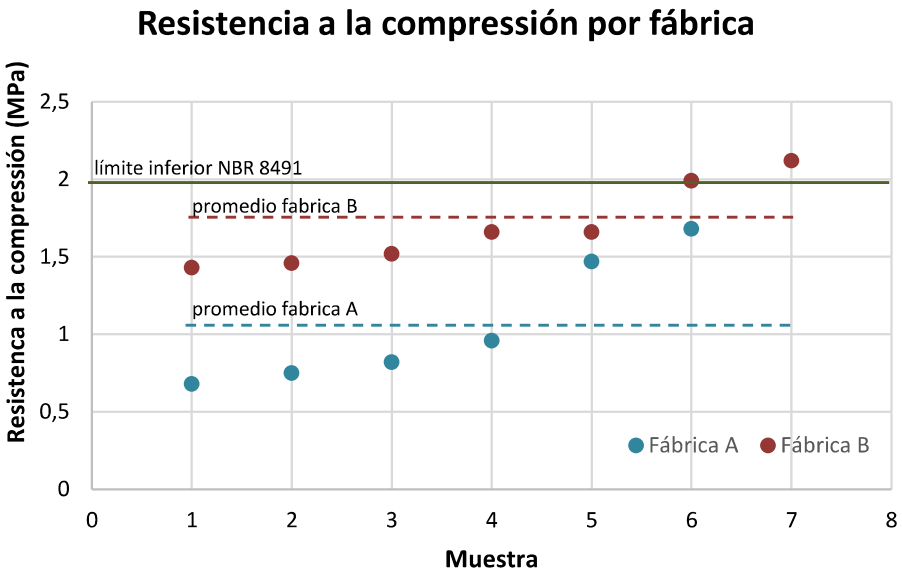

Figura 4 – Resultados de compresión en los BTC de las fábricas A y B

4.2 Ensayo de absorción por inmersión

Según la ABNT NBR 8492 (2012), el promedio de las probetas ensayadas a absorción por inmersión no debe ultrapasar el 22% de capacidad de absorción de agua y el resultado de una probeta individual no puede ultrapasar el 20%. Como se observa en la tabla 2, los resultados obtenidos para la fábrica A y para la fábrica B son satisfactorios, o sea, están por debajo del parámetro, como dicta la norma brasileña. La fábrica A llego a un promedio de 8,43% de capacidad de absorción de agua, pero con una dispersión acentuada en los resultados; la fábrica B alcanzo el 12,32% de capacidad de absorción de agua con una dispersión de los resultados más pareja entre sí.

Tabla 2 – Resultados de capacidad de absorción de agua por inmersión de los BTC

Muestra	Absorción del agua por inmersión (%)	
	Fábrica A	Fábrica B
1	4,82	12,13
2	8,97	12,21
3	11,49	12,62
Promedio	**8,43**	**12,32**
Desviación	3,37	0,27

En la figura 5 es presentada una gráfica con los resultados de capacidad de absorción de agua por inmersión de los BTC de la fábrica A y la fábrica B. Como se observa en la gráfica los BTC de la fábrica B tienen mayor capacidad de absorción de agua comparada a los BTC de la fábrica A. A pesar de que no se tiene conocimiento de los datos de la distribución granulométrica del suelo utilizado en la fabricación de los BTC y tampoco los datos de dosificación, es sabido que la arena es más permeable que la arcilla y la arcilla tiene mayor capacidad de retención de agua que la arena, por lo tanto, se puede decir que los BTC de la fábrica B poseen mayor cantidad de arena cuando comparado a los BTC de la fábrica A.

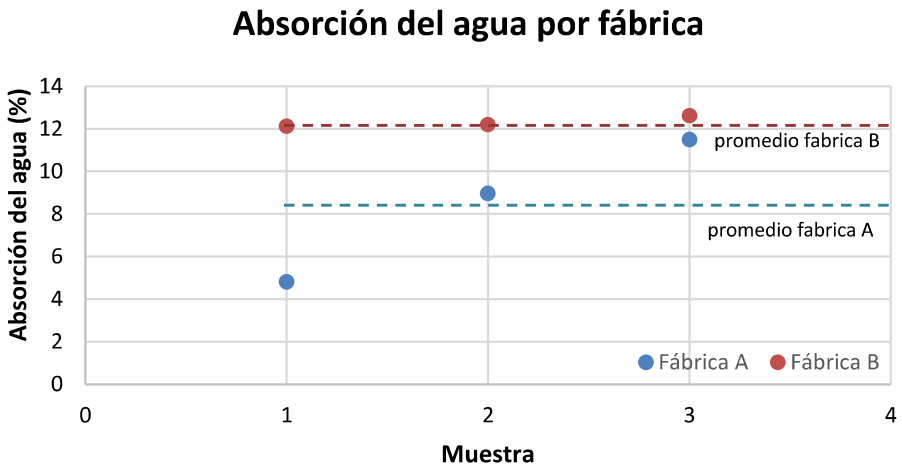

Figura 5 – Resultados del ensayo de absorción de agua por inmersión

4.3 Ensayo de absorción por capilaridad

En la tabla 3 se presenta los resultados obtenidos en el ensayo de absorción por capilaridad de los BTC, VA se refiere a la velocidad de absorción de agua medida en gramos por cm² y CC se refiere al coeficiente de capilaridad obtenido por VA* raíz cuadrada de T en minutos. Cuanto mayor el CC, mayor será la capacidad de absorción de agua de los BTC. Como dicho anteriormente, se optó por realizar el ensayo de absorción por capilaridad con la finalidad de determinar la velocidad de succión de los bloques. A través de los resultados obtenidos, se observa que los BTC de la fábrica A tienen mayor velocidad de absorción de agua con relación a los BTC de la fábrica B, con un promedio de 1,43 g/cm², en contrapartida los BTC de la fábrica B poseen un promedio de 1,00 g/cm². Como mencionado anteriormente, la arcilla tiene mayor capacidad para retener el agua cuando comparada a la arena, por lo tanto, un suelo más arcilloso tendrá una velocidad de succión de agua más rápida. De la hipótesis levantada anteriormente, la cual se sospecha que el suelo de la fábrica A es más arcilloso con relación al suelo de la fábrica B, justificando los resultados obtenidos.

Tabla 3 – Resultados de la velocidad de absorción de agua y el coeficiente de capilaridad de los BTC

Muestras	VA (g/cm²)	CC ($g/cm^2.min^{0,5}$)
Fábrica A		
BTC_C1	1,27	18,37
BTC_C2	1,50	20,69
BTC_C3	1,51	20,76
Promedio	**1,43**	**19,94**
Desviación	0,14	1,36
Fábrica B		
BTC_L1	1,12	17,47
BTC_L2	0,93	14,68
BTC_L3	0,94	14,72
Promedio	**1,00**	**15,62**
Desviación	0,11	1,60

En la figura 6 se muestra una gráfica con las curvas de absorción de agua de los BTC analizados en el presente trabajo. Como se observa en la gráfica, los BTC de la fábrica B alcanzaron una velocidad de absorción de agua (VA) muy parejos entre sí y los BTC de la fábrica A también, salvo el BTC-C1 que alcanzo un VA menor en comparación a los demás BTC.

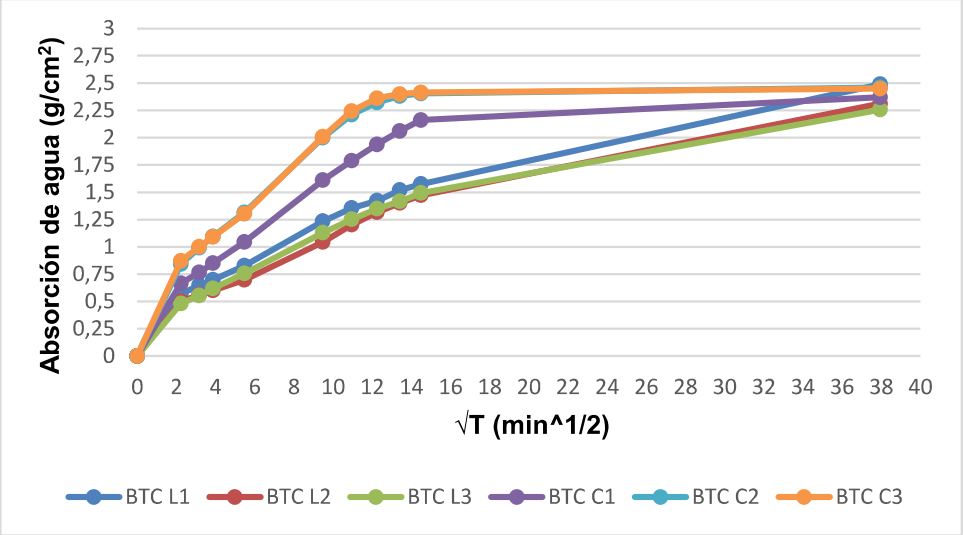

Figura 6 – Curvas de absorción de agua por capilaridad

5 CONCLUSIONES

Con relación a los resultados de compresión, se concluye que:

- En la mayoría de las probetas no hubo buena adherencia entre la superficie de los bloques y el mortero, ya que en algunas probetas se despegó las juntas y también en algunas probetas no hubo adherencia del mortero de encabezado, justificando los resultados insatisfactorios de resistencia a compresión;
- Los BTC de la fábrica B son más resistentes comparados a los BTC de la fábrica A;
- Habría que repetí el ensayo de resistencia a compresión para tener mayores conclusiones, pero por una cuestión de tiempo no fue posible realizar la repetición para la presente investigación.

Con relación al ensayo de absorción, se concluye que:

- Los resultados fueron satisfactorios para todos los BTC analizados, tanto de la fábrica A cuánto de la fábrica B, con base en el parámetro de la norma ABNT 8492:2012, para el ensayo de absorción por inmersión;
- En el ensayo de absorción por inmersión, los BTC de la fábrica B poseen una mayor capacidad de absorción de agua cuando comparado a los BTC de la fábrica A;
- En el ensayo de absorción por capilaridad, los BTC de la fábrica A poseen mayor velocidad de absorción de agua cuando comparados a los BTC de la fábrica B;
- Para mayores conclusiones de los resultados obtenidos en el ensayo de absorción, con relación a mayor capacidad de absorción de agua entre una fábrica y otra, sería necesario el análisis de la distribución granulométrica de la tierra utilizada en la fabricación de los BTC, pero este dato no fue brindado por las fábricas.

Por lo tanto, se concluye que se necesita de más ensayos para tener mayores conclusiones, principalmente con relación a los ensayos de compresión, se debe testar más procedimientos

para llegar a los resultados definidos por norma. Cabe destacar que la presente investigación es considerada un experimento teste para luego seguir con una investigación más grande.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreiro, A. (2022). Análisis comparativo de los atributos de los bloques de tierra comprimida en la producción nacional. Disponible en: http://www.revistaconstruccion.uy/aplicaciones-practicas/analisis-comparativo-de-los-atributos-de-los-bloques-de-tierra-comprimida-en-la-produccion-nacional/

García-Carreño, L. T. (2020). Bloque de tierra comprimida: Estudio y optimización de prototipo para su comercialización. Universidad Politécnica de Cartagena.

Gomes, N. D. B. (2015). Caracterização de blocos de terra para construção de alvenarias ecoeficientes. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Gonçalves, J. E.; Paixão, R.; da Silva, J.; Aquotty, N.; da Silva. P.; Lizama, M.; Andreazzi, M.; Moraes Filho, A, (2017), Caracterização física e mecânica de tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduos diversos. Informe GEPEC, v.21, n.2, p. 182-196. https://doi.org/10.48075/igepec.v21i2.17559

Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. 3rd ed. Editorial Fin de siglo.

NBR 8491 (2012). Tijolo de solo cimento: Requisitos. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 8492 (2012). Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

UNE-EN-15801 (2010). Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. Comité europeo de normalización CEN.

UNIT-ISO 679 (2009). Métodos de ensayo de cementos: determinación de resistencias mecánicas. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas

UNIT 692 (1983). Bloques huecos de hormigón de cementos Portland. Métodos de ensayo. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas

AUTORES

Mara Bruna Muniz, ingeniera. civil, magister en ingeniería oceánica con énfasis en la durabilidad de estructuras de hormigón en el medio marino. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay). Actualmente, investiga sobre biomateriales y estructuras de madera.

Mariano Assandri, estudiante de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay).

Emiliano Ferrari, estudiante de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay).

Paulina Garcén, estudiante de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay).

Lucas Hernández, estudiante de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay).

Felipe Lucas, estudiante de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdelaR – Uruguay).