

**DETERMINATION OF THE PROPERTIES OF A COMPRESSED EARTH
BLOCK (BTC) FROM THE MIXTURE OF A SOIL PRESENT IN THE CITY OF
OCAÑA WITH A CEMENTING AGENT**

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE UN BLOQUE DE TIERRA
COMPRIMIDA (BTC) A PARTIR DE LA MEZCLA DE UN SUELO PRESENTE
EN LA CIUDAD DE OCAÑA CON UN AGENTE CEMENTANTE**

**Msc. Haidee Yulady Jaramillo¹, Phd. Jaime Alexis Garcia Guzman²,
MSc. July Andrea Gomez Camperos¹**

¹ Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías, Sostenibilidad e Innovación (GINSTI), Ocaña, Norte de Santander
Email: (hyjaramillo,jagomezc)@ufpso.edu.co

² Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
Email: alexis.garcia@upb.edu.co

Abstract: The main objective of this project is to evaluate the behavior of the soil of the municipality of Ocaña Norte de Santander, in order to manufacture Compressed Earth Blocks (CEB). This project seeks an alternative of materials that allow self-building for the most vulnerable communities. This research seeks to value and strengthen sustainable construction in the municipality. This allow minimizing the use of Portland cement, which due to the high energy consumption and CO₂ emissions during the construction of homes, is one of the main causes of the high carbon emissions produced by the construction activity. As a result, an experimental and quantitative research was developed, in which a characterization of the different materials of the sector was made. Then, the design of mixtures and failure time was determined, and 10 x 15 x 30 cm samples were elaborated. Bricks elaborated with the different mixtures, acquired strength higher than 3 megapascal (MPa) before 28 days after manufacture, allowing compliance with the Colombian technical standard (NTC 5324) standard. Finally, the bricks obtained met the mechanical characteristics suitable for use as non-structural masonry.

Keywords: Self-building, Compressed Earth Blocks, sustainable construction, soil.

Resumen: Este proyecto, tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de un suelo presente en la ciudad de Ocaña Norte de Santander, con el fin de fabricar Bloques de Tierra Comprimida (BTC). Este proyecto busca una alternativa de materiales que permitan la auto-construcción para las comunidades más vulnerables. Esta investigación busca la valorización y el fortalecimiento de la construcción sostenible en el Municipio permitiendo ser una opción para minimizar el uso del concreto Portland, que debido al alto gasto energético y emisiones de CO₂ durante la construcción de las viviendas, siendo este uno de los principales causantes de la alta huella de Carbono producida por la actividad constructora. Por lo tanto se desarrolla una investigación de tipo experimental y cuantitativa, en la cual se realizó una caracterización de los diferentes materiales del sector, luego se determinó el diseño de mezclas y tiempo de fallado, para esto se elaboraron prototipos de (10x15x30 cm) ladrillos elaborados con las diferentes mezclas, adquirieron una resistencia antes de los 28 días de edad, mayor a 3 megapascal (MPa), permitiendo el cumplimiento de la norma técnica Colombiana (NTC 5324), y finalmente se obtuvieron (BTC) cumplen con características mecánicas aptas para ser utilizados como mampuestos no estructurales.

Palabras clave: auto construcción, bloques de tierra comprimida, construcción sostenible, suelo.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es el primer impulsador de la fabricación de ladrillos en cualquiera de sus variedades existentes, implementadas desde el año 10.000 y el 8.000 a.C. para proteger al ser humano y crear monumentos que han perdurado en la historia. Así mismo, el sector de la construcción es el responsable de generar un impacto ambiental negativo con emisiones de carbono del 30 % en el mundo, emisiones de otros gases y material particulado, junto con ello un deterioro del paisaje y cuerpos de agua subterráneos y superficiales.

Además, este sector es responsable del consumo del 40% de las materias primas en el mundo; equivalente a 3000 millones de toneladas por año, el 17% del agua potable, el 70% del total de los recursos madereros, el 10% de la tierra cultivable, un 20% del total de la energía mundiales consumida durante el proceso de construcción, elaboración de materiales y demolición de las obras de construcción, y consume casi exclusivamente los materiales pétreos no renovables, ha llegado a ser, en la mayoría de los países, el principal generador de los gases de efecto invernadero; con emisiones que para el 2004 alcanzaban 1,8 billones de toneladas métricas según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático y que podría alcanzarlos 15,6 billones de toneladas métricas para el 2030, si se siguen los modelos actuales (Agudelo, H. A., Hernández, A. V., & Cardona, 2012).

Uno de los elementos de construcción más común es el ladrillo cerámico, solo en Colombia existen cerca de 1500 a 2000 hornos que producen un estimado de 350.000 toneladas de ladrillos al mes con un consumo promedio de 0.07 toneladas de carbón por tonelada de ladrillos producidos, las cuales emiten: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, gas carbónico y material particulado (Rincón, C. D., Gil, J. C., Fabian, C. L., & Caro, 2017), los cuales ya son vinculados con problemas climáticos en ciudades como Medellín y Bogotá, donde la contaminación en el aire ha llegado a perdurar dos días provocando a la población el uso de tapabocas y reducir la salida al aire libre.

En forma particular en la ciudad de Ocaña, se encuentran activos alrededor de 30 chircales, distribuidos en diferentes sitios de la ciudad los cuales producen aproximadamente 1.027.600 productos/mes, estos chircales emplean métodos rudimentarios y manuales para la fabricación de los

mampuestos. Los productos derivados de la arcilla, como lo son las tejas y los ladrillos, son fabricados en hornos tradicionales, los cuales emiten numerosos gases que provocan el efecto invernadero, causando una huella negativa en la calidad del aire, lo que a su vez genera un cambio climático drástico.

Frente a la problemáticas ambientales que genera esta industria es fundamental empezar a considerar métodos alternativos para la producción de ladrillos, los bloques de tierra comprimida “BTC” con cementante (cemento) (Garg, A. A., Yalawar, A., Kamath, A., & Vinay, 2014), (Walker, 2014), son una alternativa sostenible debido a que para su fabricación no se emiten gases nocivos para el medio ambiente, pero tienen una gran falencia y es que después de su fabricación y ser utilizado en viviendas u otro tipo de infraestructura en el cual se pueda utilizar según su ficha técnica, es susceptible a la humedad debido a que no es petrificado, es decir, al entrar en contacto con el agua por eventos naturales o de otro tipo por labores cotidianas, sufre procesos de pérdida de sus propiedades físico-mecánicas al comenzar a desmoronarse y a perder resistencia estructural (Cañola, H. D., Builes-Jaramillo, A., Medina, C. A., & González-Castañeda, 2018).

En las culturas más importantes del mundo se ha utilizado la tierra o el barro crudo para edificar sus viviendas, estas se encuentran ubicadas en lugares como Egipto, Irán, China y Mesoamérica, dado que las técnicas aplicadas de construcción se facilitaban con este material, ya que era abundante, de fácil obtención y se podía manipular al pie de cualquier obra (Salvador, Gutiérrez, Adán, & Mújica, 2012).

Las diversas construcciones que se han preservado a lo largo de los siglos, permiten constatar que diversas técnicas de construcción con tierra han surgido en casi todas las civilizaciones del pasado. Estas técnicas se expandieron a través de las invasiones y colonizaciones, comunes en la historia de la humanidad. Las técnicas nativas se unieron a las técnicas traídas por los extranjeros y, con variadas combinaciones entre ellas, se fueron adaptando y organizando de las formas más apropiadas para la construcción. Las técnicas presentan similitudes de una región a otra, pero cada una tiene peculiaridades y nomenclatura propia que, muchas veces, confunde hasta a los más estudiosos (Hernandez, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, 2015).

Se estima que actualmente alrededor del 30% de la población mundial, cerca de 1.500 millones de personas, viven en construcciones en tierra; para el caso de los países no desarrollados cerca del 50% de su población rural y el 20% de la población urbana habitan en edificaciones de tierra. En países como Perú un 60% de las casas están hechas en adobe o tapia, en India esta cifra asciende al 73% que equivale a 67 millones de casas en donde habitan 374 millones de personas (Hernandez, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, 2015).

Entre los procedimientos de construcción con tierra destacan el Bloque de Tierra Comprimida (BTC), así denominado porque se utilizan maquinarias semi-mecanizadas o mecanizadas para producirlos y a la vez se adicionan sustancias o materiales que mejoran sus características originales (Waziri, B. S., & Lawan, 2013). Otro procedimiento es el denominado Tapial, el cual consiste en el apisonamiento del suelo dentro de una cimbra o encofrado para la realización de muros. Un procedimiento común en América Latina y el más rudimentario de todos, es el denominado Bahareque, que se basa en el embarrado de una estructura de varas. Cabe destacar que existen otros procedimientos y que varían según las condiciones locales de cada lugar (Salvador et al., 2012).

Gracias al conocimiento adquirido a través del tiempo sobre la construcción con tierra, se ha logrado poner en marcha dinámicas innovadoras para lograr una difusión a través de la comunicación virtual en Internet. El conocimiento generado en investigaciones y otras experiencias, antes limitados a los eruditos y constructores, son ahora más y mejor divulgados. Los portales, las redes virtuales, las redes sociales y el correo electrónico se han convertido en un gran aliado para el avance de la construcción en tierra, ya que permiten encontrar y ponerse en contacto con los investigadores y otros profesionales, con el fin de cambiar informaciones y conocimientos en un mundo atemporal, sin fronteras ni distancias, inimaginable en las generaciones pasadas (C. Neves, 2011).

Como material de construcción sostenible la tierra es el más importante y abundante en la mayoría de las regiones del mundo (Deboucha & Hashim, 2011). Este se obtiene frecuentemente en el sitio cuando se excavan los cimientos. A la tierra como material, se le ha dado diferentes nombres. Se denomina barro a la mezcla de arcilla, limo (arena muy fina), arena, con agregados mayores de gravilla y grava. Cuando se habla de bloques de

tierra arcillosa hechos a mano se emplea por lo general el término de bloques de barro o adobe, cuando se habla de bloques comprimidos se emplea el término bloques de suelo, cuando son extruidos en una ladrillera y no son cocidos se emplea el término ladrillo crudo (Vallés., 2014).

Algunas de las ventajas que ofrece el uso de la tierra como material de construcción son:

- Bajo impacto visual, fácil integración de las construcciones en el paisaje.
- Materia local, procedente de excavaciones y obras de acondicionamiento, evitando costes de transporte.
- Carácter reciclable del material, pues se reduce fácilmente a su estado original tras el derribo del edificio, sin producir residuos de carácter industrial.
- El proceso de producción del material es limpio y requiere bajos consumos de energía.
- El material presenta buenas características como aislante térmico frente a otros materiales de construcción de uso frecuente (Vásquez Hernandez, Botero Botero, & Carvajal Arango, 2015).

En el caso que la tierra a utilizar no cumpla con las características adecuadas para la construcción, estas pueden alcanzarse con el uso de estabilizantes. Este proceso consiste en emplear un método físico o químico que permita a una tierra responder satisfactoriamente a las exigencias impuestas para ser utilizado como material de construcción (FALCETO, 2012).

2. METODOLOGÍA

La presente investigación tiene el objetivo de la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) con el suelo arcillo arenoso del municipio Ocaña Norte de Santander. Para el desarrollo de la investigación se optó por una metodología experimental, y las variables identificadas son el tipo de suelo, y el agente cementante empleado.

2.1 Etapas de la investigación

2.1.1 Localización

Inicialmente fue necesario establecer la ubicación de la zona para la obtención de las muestras, y que sería un posible punto para la extracción de suelo para la elaboración de los bloques. En este sentido, se escogió un sector al nor-oriente de la ciudad como se aprecia en la Figura 1, en el cual se

aprecia una amplia extensión de material en apariencia arcillo arenoso.

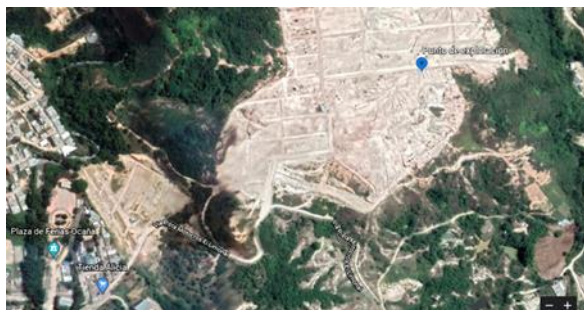


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio.

2.1.2 Caracterización del material

A fin de establecer las características del suelo de estudio, se realizaron los ensayos que se mencionan en la tabla 1:

Tabla 1. Descripción de los ensayos desarrollados.

Norma	Descripción
I.N.V.E-125	Determinación del límite líquido de los suelos
I.N.V.E-126	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos
I.N.V.E-123	Análisis granulométrico de suelos por tamizado
I.N.V.E-141	Relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (Ensayo normal de compactación)
NTC 4017	Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla
	resistencia a la compresión

2.1.3 Elaboración de los BTC

Una vez caracterizado el material se realizaron estableció un porcentaje de material cementante, el cual fue una combinación de cal y cemento, el cual se adiciona al suelo mezclándolo con la humedad óptima para lograr la máxima compactación. La máquina empleada para la elaboración de los bloques de tierra comprimida consistió en una cimbarra como se aprecia en la figura 2. Luego del proceso de fabricación se debe tener especial cuidado con el proceso de curado los primeros 3 a 7 días, acomodando los bloques en forma tal que se logre una ventilación entre ellos como se muestra en la figura 3.



Fig. 2. Fabricación de BTC en la cimbarra.



Fig. 3. Proceso de curado y acomodación del BTC.

2.1.4 Ensayos de resistencia

Luego del proceso de curado, y a una edad de 28 días, se realizaron las pruebas individuales a los BTC para establecer la resistencia a la compresión, de acuerdo lo establecido en la NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla resistencia a la compresión” y posteriormente compáralo con los valores establecidos en la NTC 5324 para bloques de suelo cemento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez identificado el lugar para la exploración se inició a la recolección de las diferentes muestras del material para la respectiva caracterización del mismo.

3.1 Ensayo de granulometría

Se identificaron dos tipo de suelo predominantes en la zona de estudio, cuya distribución granulométrica se aprecia en la figura 4, en esta misma grafica se han ubicado los limites inferior y superior definidos en la NTC 5324 para bloques de tierra comprimida, observando que el material de estudio es apto para la elaboración de los bloques.

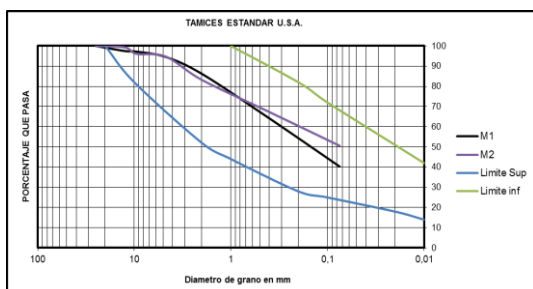


Fig. 4. Curvas granulométricas.

En la tabla 2, se especifican los porcentajes de grava, arena y fino respectivamente para las muestras analizadas. Se puede apreciar que la variación entre ambos materiales aunque no es elevada si es considerable, y la fracción que más influye en relación a si es suelo es óptimo o no, es el porcentaje de finos, puesto que estos influyen directamente en la plasticidad del material.

Tabla 2. Porcentajes de material.

Muestra	%Grava	%Arena	%Finos
M1	5,2	44,2	50,6
M2	5,4	54,2	40,3

3.2 Límites de plasticidad

Para lograr la identificación de los materiales o suelos analizados es necesario conocer los límites de plasticidad los cuales determinaran el grupo al que pertenece el suelo. En la (tabla 3), se muestran los valores del límite líquido, límite de plasticidad e índice de plasticidad respectivamente.

Tabla 3. Límites de plasticidad.

Muestra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
M1	37,10	29,12	8,18
M2	33,62	24,92	8,7

Con respecto a estos valores, la variación es muy poca, en general se podría hablar de una material con una plasticidad de media a baja. Ahora, con respecto a la clasificación de ambos suelos, estos corresponden a un OL (Limo orgánico de baja plasticidad) y un SM (Arena limosa de baja plasticidad), respectivamente para las muestras M1 y M2.

En la figura 5, se realiza un análisis de los valores de la plasticidad respecto a los rangos que establece la NTC 5324, y se puede apreciar como la muestra M1 se queda fuera del área sombreada la cual indica el rango de tolerancia, en cambio la muestra M2 si entra dentro de estos parámetros.

Posteriormente a la caracterización de los materiales o suelos correspondientes al depósito de la zona de estudio, se estableció un porcentaje de agente cementantes, el cual es una combinación entre cal y cemento, en una proporción previamente establecida mediante ajustes de ensayo y error en el laboratorio.

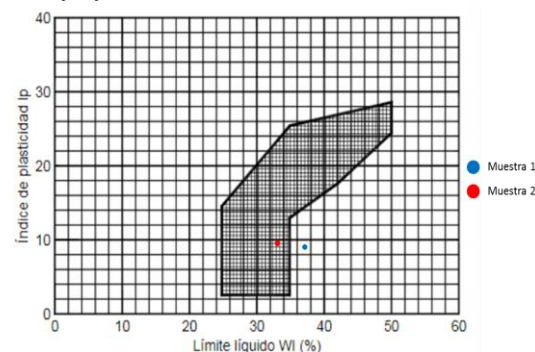


Fig. 5. Rangos de plasticidad.

3.3 Ensayos de compactación

Previo a la realización de los BTC, es necesario identificar la humedad óptima del material, para así lograr la máxima compactación del mismo. En las figuras 6 y 7 se indican las curvas correspondientes a la relación entre el peso específico y la humedad, para las muestras M1 y M2.

La densidad máxima fue de 1,775 gr/cm³ y 1,792 gr/cm³ respectivamente para M1 y M2, así mismo la humedad óptima para las mezclas corresponden a 16,80% y 15,60%.

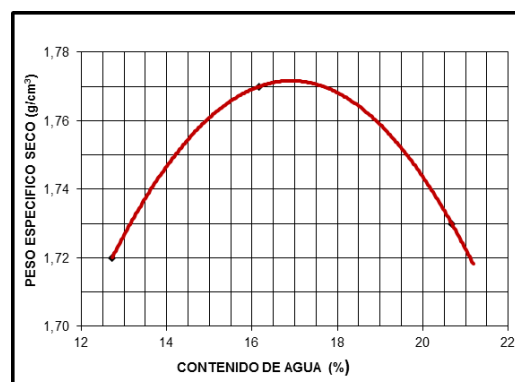


Fig. 6. Curva de compactación M1.

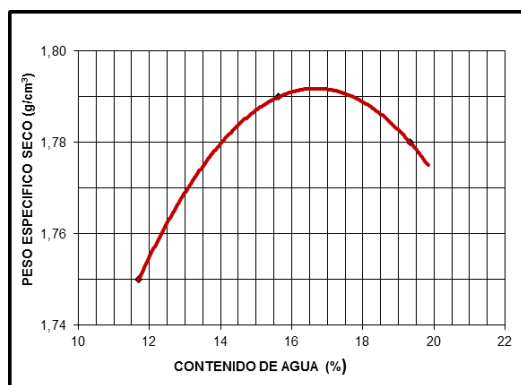


Fig. 7. Curva de compactación M2.

3.4 Resistencia a la compresión

Definida la humedad óptima para la elaboración de los bloques se procedió con la elaboración de los BTC haciendo uso de la cimbarra, y después de un cuidadoso curado durante 7 días, y a una edad de 28 días, se ensayaron los bloques a compresión obteniendo los resultados que se muestran en las figuras 8 y 9.

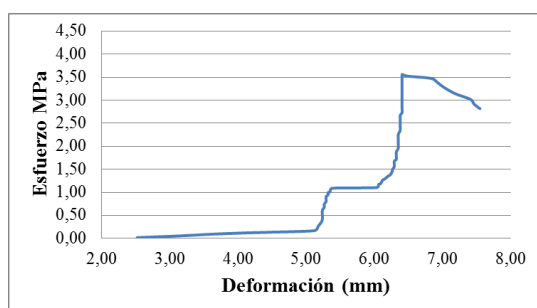


Fig. 8. Esfuerzo vs Deformación M1.

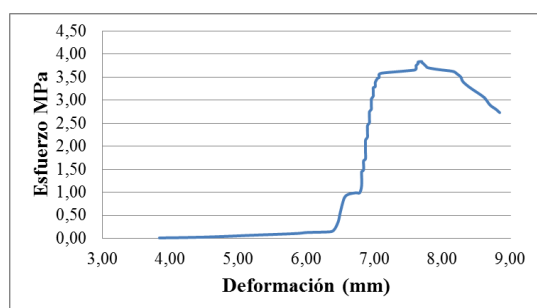


Fig. 9. Esfuerzo vs Deformación M2.

El esfuerzo máximo alcanzado fue de 3,56 MPa y 3,84 MPa para M1 y M2 respectivamente.

5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta investigación se ha logrado demostrar que los bloques de tierra comprimida o BTC, son una alternativa viable frente a la construcción industrializada en ladrillos

convencionales, además los BTC constituyen una opción sostenible y que además se puede llevar a cabo en comunidades vulnerables con muy bajos costos.

A partir de los resultados se observó que, aun cuando los materiales o suelos encontrados en el sitio de estudio y que corresponden a una misma formación geológica, estos presentan diferencias que logran influenciar en los resultados. Inicialmente el suelo M1 posee una mayor cantidad de finos, y un mayor porcentaje de límite líquido respecto al suelo M2. De igual manera según los parámetros que establece la NTC 5324, solo la muestra M2 en términos de plasticidad es apta para la elaboración e bloques en tierra comprimida.

Así mismo, los resultados de la resistencia a la compresión, indican que con el mismo porcentaje de cementante incorporado, la muestra M2 alcanza un mayor esfuerzo. Dicho esto, es posible asegurar que para la fabricación de BTC con el suelo presente en la zona de estudio es más viable hacer uso del suelo M2 que corresponde a un SM o arena limosa. No obstante, no se debe descartar el uso del otro suelo, puesto que con un mayor porcentaje de cementante puede alcanzar una mayor resistencia y mejorar su comportamiento.

Finalmente, aun cuando los BTC suelen tener resistencias menores a los ladrillos convencionales, esta alternativa tiene ventajas adicionales, que no solo se reflejan en el costo de producción, sino en la considerable reducción del impacto ambiental generado, y las bondades térmicas y acústicas de las construcciones en tierra

REFERENCIAS

- Agudelo, H. A., Hernández, A. V., & Cardona, D. A. R. (2012). Sostenibilidad Actualidad Y Necesidad En El Sector De La Construcción En Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105–118.
- C. Neves, and O. B. (2011). Técnicas de construcción con tierra. Universidad de Estadual Paulista. Retrieved from https://www.academia.edu/35702284/Técnicas_de_construcción_con_tierra
- Cañola, H. D., Builes-Jaramillo, A., Medina, C. A., & González-Castañeda, G. E. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *Tecnológicas*, 21(43), 135–145. <https://doi.org/10.22430/22565337.1061>

- Deboucha, S., & Hashim, R. (2011). A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. *Scientific Research and Essays*, 6(3), 499–506. <https://doi.org/10.5897/SRE09.356>
- FALCETO, J. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. (Vol. 800).
- Garg, A. A., Yalawar, A., Kamath, A., & Vinay, J. (2014). Effect of Varying Cement Proportions On Properties Of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB)-A Sustainable Low-Cost Housing Material. *International Conference on Sustainable Civil Infrastructure, ASCE India Section, October 17-18, 2014, Hyderabad, India*, (November), 1000–1010. <https://doi.org/10.13140/2.1.4966.4963>
- Hernandez, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, D. C. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 197–220.
- Rincón, C. D., Gil, J. C., Fabian, C. L., & Caro, C. A. (2017). Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia. *L'esprit Ingénieux*, 7(1), 35–45. Retrieved from <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1364/1263>
- Salvador, R., Gutiérrez, R., Adán, J., & Mújica, E. (2012). *Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales*.
- Vallés., R. (2014). Arquitectura con tierra: Bioconstrucción en cooperativas de viviendas por ayuda mútua. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2951400>
- Vásquez Hernandez, A., Botero Botero, L. F., & Carvajal Arango, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197–220. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.11.21.10>
- Walker, P. J. (2014). Strength and erosion characteristics of earth blocks and earth block masonry. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(5), 497–506.
- Waziri, B. S., & Lawan, Z. A. (2013). Properties of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB) For Low- Cost Housing Construction: A Preliminary Investigation. *International Journal of Sustainable Construction*
- Engineering and Technology*, 4(2), 39–46. Retrieved from <http://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET>