

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA
MEJORADOS CON ADITIVOS ARTIFICIALES Y NATURALES DE ACUERDO A
DIFERENTES INVESTIGACIONES A NIVEL MUNDIAL**

PRESENTADO POR:

SILVIA JULIANA ROJAS MORENO

ID: 000268571

ANTONIO JOSÉ FERNÁNDEZ SERRANO

ID:000281497

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

2021

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA
MEJORADOS CON ADITIVOS ARTIFICIALES Y NATURALES DE ACUERDO A
DIFERENTES INVESTIGACIONES A NIVEL MUNDIAL**

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO(A) CIVIL

SILVIA JULIANA ROJAS MORENO

ID: 000268571

ANTONIO JOSÉ FERNÁNDEZ SERRANO

ID: 000281497

DIRECTOR:

ELKIN MAURICIO LÓPEZ MORANTES

MSc. INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma presidente del Jurado

Firma Jurado N° 1

Firma Jurado N° 2

Bucaramanga, 2021

DEDICATORIA

A Dios, que me brindo los conocimientos suficientes, la sabiduría y fortaleza necesaria para así poder culminar mi carrera universitaria.

A mis padres, pero sobre todo a mi madre Rubiela Moreno Beltrán por su amor incondicional, comprensión y apoyo en todo este proceso, por brindarme la mejor enseñanza y la oportunidad de obtener mi título profesional. A ella le debo todo.

A mi amiga Silvia Carolina Galvis Bautista, quién me apoyo a lo largo de mi carrera, brindándome su cariño y apoyo, por nunca dudar de mí y por el orgullo que siente al culminar mi carrera, fue quién me motivo en ir hasta el final.

A toda mi familia, por darme todo su cariño y ayudar a forjar la persona que soy hoy en día.

A todos mis amigos y amigas, que he tenido a lo largo de mi vida, por su incondicionalidad, por los momentos de alegría y por su total compañía en los momentos de dificultad.

A todos aquellos, que tuvieron un lugar importante en mi vida y hoy ya no están, gracias.

SILVIA JULIANA ROJAS MORENO

DEDICATORIA

A mis padres, Álvaro Enrique Fernández Soto y Teresa Serrano Acevedo que con su esfuerzo y dedicación hacen hoy posible este logro de mi vida.

A mi novia Catalina Quintero Díaz, quien ha sido un apoyo importante en la etapa final de la carrera.

A mi hijo que viene en camino. Esto es por ti y para ti.

A mis amigos, que estuvieron en los buenos y malos momentos, brindándome su compañía para la culminación de la carrera.

ANTONIO JOSÉ FERNÁNDEZ SERRANO

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios por darnos la oportunidad de culminar este proyecto y nuestra carrera universitaria,

Al ingeniero Elkin López Morantes nuestro director de trabajo de grado, por todo su apoyo y orientación, quien con su paciencia y sus conocimientos nos guio en este trabajo de grado.

Finalmente queremos agradecer a todos los docentes y administrativos que hicieron parte de este proceso y ofrecernos las bases necesarias para obtener una formación integral y así poder emprender esté nuevo camino.

Tabla de contenido

Lista de Tablas	10
Lista de Figuras	11
Introducción	14
1 Planteamiento del Problema	16
2 Justificación	19
3 Objetivos.....	21
3.1 Objetivo General	21
3.2 Objetivos Específicos.....	21
4 Antecedentes.....	22
5 Marco Teórico	27
5.1 Historia de la construcción con tierra.....	27
5.2 La tierra como material de construcción.....	28
5.2.1 Ventajas y Desventajas.....	29
5.2.2 Componentes de la Tierra.....	29
5.2.3 Propiedades de la tierra como material de construcción	30
5.3 Procesos de Estabilización del Material.....	31
5.3.1 Procesos Homogéneos.....	32
5.3.2 Procesos Heterogéneos.....	32
5.4 Bloques de Tierra Comprimido (BTC)	33

5.4.1	Proceso de Producción BTC.....	34
5.4.2	Formas y Dimensiones de los BTC.....	34
5.4.3	Tipos de BTC	35
5.4.4	Maquinaria para la Fabricación de BTC	37
5.4.5	Estabilizantes utilizados en la elaboración de bloques de tierra compactada	40
5.4.6	Marco Normativo Aplicable al BTC.....	41
6	Diseño Metodológico	44
6.1	Tipo de Investigación.....	44
6.2	Alcance de la investigación.....	44
6.2.1	Fase I: Recolección de Datos	45
6.2.2	Fase II: Observación.....	45
6.2.3	Fase III: Análisis.....	46
6.2.4	Documentación.....	47
6.3	Población.....	47
6.3.1	Tamaño de la Población	47
6.3.2	Muestra	47
6.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de información	48
7	Revisión de Literatura e Identificación de Aditivos utilizados para BTC.....	49
7.1	Definición de Términos Clave	49
7.2	Definición de Criterios	49

7.2.1	Criterios de Inclusión.....	50
7.2.2	Etapas de la revisión.....	51
7.3	Identificación de los Componentes y/o Aditivos tanto Naturales como Artificiales utilizados para la Fabricación de BTC a Nivel Mundial.....	53
8	Análisis comparativo de los diferentes aditivos usados en el BTC en la incidencia de las propiedades Físico - Mecánicas.....	62
8.1	Resistencia a la Compresión	63
8.2	Resistencia a la Flexión.....	66
8.3	Densidad.....	67
8.4	Conductividad Térmica.....	68
8.5	Absorción de Agua o Coeficiente de absorción	69
8.6	Erosión y Resistencia a la Penetración.....	70
9	Marco Metodológico Para La Selección de Aditivos En la Fabricación de BTC	71
9.1	Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Natural.....	72
9.2	Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Artificial	75
	Conclusiones	77
	Bibliografía	81

Lista de Tablas

Tabla 1. Marco Normativo BTC.....	41
Tabla 2 Términos Clave.....	49
Tabla 3. Resumen de Resultados	54
Tabla 4. Comparativo de la resistencia a la compresión de los BTC.....	63
Tabla 5. Comparativo de la resistencia a la Flexión de los BTC	66
Tabla 6. Comparativo Densidad Aparente de los BTC.....	68
Tabla 7. Comparativo Conductividad Térmica de los BTC.....	69
Tabla 8. Comparativo Coeficiente de Absorción de los BTC.....	70
Tabla 9. Comparativo Coeficiente de Absorción de los BTC.....	71
Tabla 10. Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Natural	73
Tabla 11. Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Artificial.....	75

Lista de Figuras

Figura 1. Las Muralla China	28
Figura 2. Proceso de Fabricación de BTC	34
Figura 3. Diferentes formas y Dimensiones de los BTC	35
Figura 4. Bloques articulados BaSC	36
Figura 5. BTC a base de cáñamo	37
Figura 6. Maquina Cinva-Ram.....	38
Figura 7. Maquina CETA-RAM.....	39
Figura 8. Maquina Auram 3000.....	39
Figura 9. Maquina QMR.....	40
Figura 10 Etapas de la revisión Bibliográfica.....	51
Figura 11. Tipos de Aditivos por Artículos	61
Figura 12. Porcentaje de Aumento de Resistencia a la Compresión por Tipo de Aditivo	65
Figura 13. Porcentaje de Aumento de Resistencia a la Flexión por Tipo de Aditivo	67

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA MEJORADOS CON ADITIVOS ARTIFICIALES Y NATURALES DE ACUERDO A DIFERENTES INVESTIGACIONES A NIVEL MUNDIAL

AUTOR(ES): Silvia Juliana Rojas Moreno
Antonio José Fernández Serrano

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Elkin Mauricio López Morantes

RESUMEN

Este proyecto de investigación presenta la revisión bibliográfica de documentos que aporten información relevante sobre agregados de materiales para la estabilización de BTC, donde el objetivo principal es el de realizar un análisis comparativo de los diferentes aditivos artificiales y naturales utilizados para el mejoramiento de los BTC a Nivel Mundial, esto con el fin de crear un marco que permita la elección de materiales y/o aditivos para la fabricación de bloques de tierra comprimida. Dentro de esta revisión de literatura se encontraron 18 documentos aplicables al tema de investigación y de los cuales se pudo obtener información valiosa para el estudio. Dentro los resultados más significativos, se nombra el aumento de la propiedad a la compresión de aditivos elaborados a partir de materiales como el EPS, PET y el de cemento y cascarillas de arroz que demostraron porcentajes superiores al 100% de resistencia con respecto a los BTC tradicionales y el aumento en la propiedad de resistencia a la flexión mediante la utilización de aditivo de gel de origen vegetal, que presento un 300% de aumento, teniendo como contraste la disminución de la densidad de la mayoría de los elementos identificados. Como conclusión general se puede decir que la introducción de aditivos ya sea de tipo natural o artificial en la composición de los bloques de tierra comprimida (BTC) mejora sus propiedades.

PALABRAS CLAVE:

Componentes, Aditivos, Fabricación, BTC, Bloques de Tierra comprimida

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPRESSED EARTH BLOCKS IMPROVED WITH ARTIFICIAL AND NATURAL ADDITIVES ACCORDING TO DIFFERENT WORLDWIDE INVESTIGATIONS

AUTHOR(S): Silvia Juliana Rojas Moreno
Antonio José Fernández Serrano

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Elkin Mauricio López Morantes

ABSTRACT

This research project presents the literature review of documents that provide relevant information on aggregates of materials for the stabilization of BTC, where the main objective is to perform a comparative analysis of the different artificial and natural additives used for the improvement of BTC worldwide, in order to create a framework that allows the choice of materials and / or additives for the manufacture of compressed earth blocks. Within this literature review, 18 documents applicable to the research topic were found and from which valuable information for the study could be obtained. Among the most significant results, the increase in the compressive strength of additives made from materials such as EPS, PET and cement and rice husks, which showed percentages higher than 100% of resistance with respect to traditional BTC, and the increase in the property of flexural strength through the use of gel additive of vegetable origin, which presented a 300% increase, having as a contrast the decrease in the density of most of the identified elements. As a general conclusion, it can be said that the introduction of additives of either natural or artificial type in the composition of compressed earth blocks (BTC) improves their properties.

KEYWORDS:

Components, Additives, Manufacturing, CEB, Compressed Earth Blocks

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

El bloque de tierra comprimida, llamado regularmente BTC, es una de las incorporaciones más actuales en el campo de la construcción con tierra, evolucionando con esta técnica las prácticas tradicionales de elaboración de piezas en adobe, siendo este un elemento de albañilería elaborado con tierras compactadas que son moldeadas por compresión o prensado, y desmoldadas inmediatamente (Gatti, 2012).

El BTC puede sustituir en cualquier tipo de construcción bloques cerámicos o de concretos convencionales tanto en cerramientos como en mampostería portante, pero teniendo presente las capacidades de resistencia establecidas en cada proyecto en particular, por lo cual los expertos y profesionales de la materia, han realizado estudios en una constante búsqueda del mejoramiento de sus propiedades físico mecánicas, tratando de aumentar la resistencia de compresión, la impermeabilidad, durabilidad y acciones abrasivas de fenómenos naturales como los vientos, a través de la utilización de sustancias y aditivos artificiales y naturales (Gatti, 2012).

Atendiendo a lo anterior, se desarrolla esta investigación, donde el objetivo es realizar un análisis comparativo de los diferentes aditivos artificiales y naturales utilizados para el mejoramiento de los BTC a Nivel Mundial, con el fin de establecer un marco referencial y metodológico con la definición de ciertos parámetros, que facilite la elección de materiales y/o aditivos para la fabricación de bloques de tierra comprimida en el territorio colombiano y con ello incentivar la utilización de este material como método constructivo actual y alternativa económica y sostenible ambientalmente.

Mediante una metodología con enfoque cualitativo y de tipo descriptivo, se lleva a cabo la recopilación de información a través de una revisión bibliográfica, que permite la obtención, análisis y descripción de los datos hallados, logrando así la identificación de los diferentes tipos

de componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales, realizar la comparación de las propiedades Físico - Mecánicas adquiridas por el BTC con su uso y establecer el marco metodológico.

Este proyecto de investigación está estructurado en tres fases, iniciando con la recolección de los datos, donde se desarrolla la planeación y ejecución de la revisión bibliográfica para obtener la identificación de los componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales que están siendo utilizados a nivel mundial; en la segunda fase denominada observación, se lleva a cabo un examen profundo de la documentación referente, para proceder al desarrollo del análisis comparativo de los aditivos y poder gestionar el marco metodológico propuesto.

1 Planteamiento del Problema

La industria de la construcción ha hecho grandes contribuciones a la estructura económica y al bienestar social del país. Sin embargo, independientemente de sus acciones y / o actividades económicas, la industria interactúa constantemente con el medio ambiente, que directa o indirectamente produce ciertos tipos de afectaciones. La construcción es uno de los sectores de producción más contaminantes, entre los principales impactos ambientales que causa se encuentra el de alto consumo energético, tanto para proveer a las edificaciones así como la que se emplea para la fabricación de los materiales necesarios; mucha energía consumida hace que se emita mucho CO₂ a la atmósfera (Alvarez Ordoñez, 2018). Según (Medineckiene, Turskis, & Zavadskas, 2010) los materiales utilizados para los procesos de construcción pueden ser nocivos para la salud humana, y se caracterizan por generar el cambio climático, el impacto en la capa de ozono, generación de sustancias orgánicas e inorgánicas, estas sustancias pueden causar cáncer y afectar la respiración en los individuos.

Por tanto, al analizar el impacto medioambiental de las edificaciones que utilizan materiales convencionales, la tierra aparecerá como un material alternativo, ya que es un elemento de fácil localización y obtención. Sin embargo los materiales de construcción en tierra poseen entre sus principales características una atracción por el agua y una alta capacidad de absorción de la humedad atmosférica, lo cual junto con la falta de mantenimiento preventivo y tratamientos no adecuados para la conservación y/o protección hacia la humedad provoca daños vinculados al exceso de agua y grandes costos en su preservación (Darío Cañola, Builes-Jaramillo, Medina, & González-Castañeda, 2018).

Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) son una elección potencial en reemplazo de materiales como el cemento y la albañilería en gran medida en zonas con bajo desarrollo

económico. Sin embargo, el sistema estructural de casas y/o construcciones fabricadas con tierra tiene varias restricciones. Estas restricciones se han reflejado a lo largo de la historia por incalculables afectaciones del intemperismo y/o desastres naturales; lo previamente descrito es causado ya que el bloque de tierra comprimido clásico no es un material de construcción estandarizado y actualmente no cuenta con la aprobación de la NSR-10, Su composición se basa principalmente en el lugar de extracción, que puede contener diversas cantidades y tipos de arcilla, limo, arena y agregados, los cuales pueden inferir en tener una menor resistencia (Alvarez Ordoñez, 2018). Al momento de fabricar bloques de tierra comprimida generalmente se tiene en cuenta el tipo de tierra para su elaboración ya que aquella tierra con alto contenido de arcilla no son adecuadas, y para que este material posea resistencias aceptables se le debe incorporar algún aditivo que le proporcione dicha resistencia, de igual manera debido a la alta sensibilidad que este material posee a la humedad se hace necesaria de incorporación de elementos que brinden propiedades impermeabilizantes (GALÍNDEZ, 2009).

Con base en las principales limitaciones de los BTC tradicionales, de alguna manera se busca conocer y comprender investigaciones que ayuden a mejorar su composición y crear alternativas sostenibles para abordar los problemas ambientales. Por eso es necesario agregar un material que pueda mejorar su desempeño al BTC, y de esta manera reducir los problemas de deterioro, agrietamiento y aislamiento, evitando así problemas relacionados, y en ocasiones evitando el colapso de estos edificios o estructuras. Para lo cual se quiere investigar mejoras realizadas en todo el mundo, proporcionando así una base teórica para determinar los materiales de refuerzo y aditivos más adecuados y mejores durante la construcción. Por lo tanto, la siguiente investigación nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas:

¿Dentro de los diferentes aditivos naturales y/o artificiales empleadas hasta la actualidad para la fabricación del BTC, cual ha sido el que ha mostrado una mejor incidencia en las propiedades Físico - Mecánicas de estos? ¿Dentro de los sistemas o métodos utilizados a nivel mundial para la incorporación de aditivos a las mezclas de BTC, cual ha mostrado mayor eficiencia?

2 Justificación

En este mundo que cambia rápidamente, cada vez más profesionales de la industria de la construcción buscan la sostenibilidad en el desarrollo de sus proyectos. Según (Cuitiño, Rotondaro y Esteves, 2019), la sostenibilidad radica en adaptar el entorno humano a un factor limitante: la capacidad del entorno para resistir la presión humana para asegurar que sus recursos naturales no se degraden de una manera irreversible (p.139)

Por tanto, la tierra es un sustituto porque es un material que se esparce por todo el mundo, en la actualidad, debido a la necesaria conciencia ecológica, sus materiales de bajo costo, reciclables y adaptables, su uso se ha ido incrementando. Añadiendo algunos complementos, el material se moldea para que tenga las características deseadas. La modernización de este modelo revela el resurgimiento de la ingeniería y la arquitectura en la tierra (Arteaga, Medina, & Gutierrez, 2011). Entre las principales que brindan sustento a esta investigación se encuentra que la fabricación con BTC genera un gran ahorro energético debido a que en su proceso de elaboración solo existen costos y gastos asociados al transporte y en la mayoría de casos si se hacen excavaciones se puede utilizar esta tierra, lo que genera que el gasto energético sea dividido y gracias a que este material es térmicamente ventajoso presenta gran ahorro en climatización. En cuanto al ahorro en materiales este bloque puede ser elaborado con desechos de otras industrias y en el final de su vida útil puede ser reciclado, lo que no solo brinda grandes ventajas económicas sino también medioambientales, de igual manera en la contribución medioambiental existen diversos beneficios ya que este material es de tecnología limpia, ya que en su proceso de fabricación no se produce algún tipo de contaminación y los residuos resultantes de este proceso son reciclables y reutilizables, durante su vida útil no produce ningún tipo de radiación y/o produce productos tóxicos. Finalmente en términos económicos es un material de alta durabilidad y de bajos costos de mantenimiento, lo que brinda una alternativa de construcción sostenible y sustentable que puede

aportar a la disminución del déficit habitacional que se presenta en Latinoamérica (GALÍNDEZ, 2009).

Las edificaciones con bloques de tierra comprimida brindan alternativas viables que se pueden aplicar a edificaciones sustentables y casas de bajo costo en el país, las cuales están más orientadas a la construcción de casas rurales y casas alejadas de los sitios de fabricación de materiales. Para obtener mejores propiedades físicas y mecánicas y una mejor resistencia para brindar mayor seguridad, es necesario mejorar la composición de los materiales agregando aditivos naturales y artificiales. Por tanto, el propósito de este estudio es resumir todas las prácticas y estudios desarrollados por centros de investigación y universidades de todo el mundo para diferentes tipos de aditivos (ya sean aditivos naturales o aditivos artificiales) para mejorar el rendimiento de estos bloques.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de los bloques de tierra comprimida mejorados con aditivos artificiales y naturales de acuerdo con diferentes investigaciones a Nivel Mundial, mediante una revisión bibliográfica, con el fin de incentivar la utilización de este material como método constructivo.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los diferentes aditivos tanto naturales como artificiales utilizados para la fabricación de BTC a nivel mundial, por medio de una revisión bibliográfica detallada.
- Realizar un análisis comparativo de los diferentes aditivos usados en el BTC en la incidencia de las propiedades Físico - Mecánicas de estos bloques, a través de la información obtenida en la revisión bibliográfica.
- Clasificar los diferentes aditivos tanto naturales como artificiales reportados en la literatura, con base en su incidencia en las propiedades físico – mecánicas, para incentivar la utilización de este material como método constructivo.

4 Antecedentes

La construcción de edificios a partir de la tierra o los ladrillos creados con ella se considera una tecnología antigua en la historia, porque los humanos la han utilizado desde el principio para protegerse del mundo exterior y del medio ambiente circundante. Sin embargo, el usar BTC (Bloques de Tierra Compactado) como material para la construcción es una técnica que nace en Colombia en el año 1954 con la creación de la maquina CINVA-RAM, esta máquina fue desarrollada para favorecer las condiciones de vida en las zonas rurales, porque era muy difícil transportar materiales de construcción como ladrillos y cemento en las zonas rurales de Colombia, pero desde hace 50 años, el país se encuentra en un entorno social complejo. La situación política, producto de la migración del campo a las grandes ciudades, ha provocado una disminución de la población rural, por lo que el diseño de la máquina que fue financiado por el Instituto de Crédito Territorial no tienen el impacto esperado porque se enfocaron en Agricultores con respecto al tema del desplazamiento territorial, algunos de ellos piensan que BTC no es apto para la construcción de viviendas, pero están ansiosos por utilizar materiales modernos, como los ladrillos. Por las razones colombianas antes mencionadas, CINVA-RAM y su uso han sido archivados. Sin embargo, dado que los BTC tiene menos impacto en el medio ambiente y es posible el desarrollo de viviendas sostenibles, el diseño de esta máquina ha llevado al desarrollo de modelos similares para su fabricación en todo el mundo. A partir de esta idea, se ha avanzado en la investigación para buscar alternativas de adición de diferentes tipos de materiales (como cal, cemento, etc.) para mejorar sus propiedades.

Por ello, se han realizado diversos estudios sobre este componente y se han realizado diversas modificaciones para mejorar su calidad. En apoyo de esta investigación, comenzamos con el análisis de cinco estudios anteriores. Se presentarán brevemente cada uno de ellos:

Para el año 2014 Barrera y Buitrago de la Universidad La gran Colombia, desarrollaron una tesis donde el objetivo principal es buscar el mejoramiento estructural utilizando fibras de poli sombra reutilizables en BTC. En primer lugar, infirieron que el BTC tradicional no respondía de forma estructural, por lo que continuaron utilizando fibras de poli sombra reutilizables para fortalecerlo y estabilizarlo. Para las características necesarias de refuerzo, igualmente se realizaron pruebas y experimentos de laboratorio en materiales de suelo y bloques con ligamentos para mejorar su resistencia a la compresión, el resultado fue de 41,87 kg f / cm², que excedió la norma NTC 4017. El mínimo es de 20 kg f / cm² (Barrera & Buitrago, 2014).

Luego en el año 2015, en el artículo “COMPARACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOBES TRADICIONALES Y BTC ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE”, Vazquez, Guzman, & Iñiguez, a través de una investigación práctica, presentaron una propuesta para mejorar el material del bloque de tierra, utilizando tres tipos de estabilizadores para optimizar las propiedades físicas y mecánicas del BTC. Como primer paso, utilizaron estabilizadores físicos, en los que diseñaron la mezcla correcta para el suelo para obtener la mejor composición granulométrica. Estabilización mecánica, en la que se trata hidráulicamente la mezcla del suelo; finalmente, se realiza la estabilización química, y a partir de ahí se inicia la investigación de estabilizadores que cambien las características del suelo. Finalmente, seleccionan el mejor compuesto químicamente estable a través de una matriz que lo pueda identificar en cuatro aspectos: impacto ambiental, materiales reciclables, economía y mejoras tecnológicas (Vazquez et al., 2015).

Alvarado (2015) estima la repercusión del aglomerante natural cal puzolana en las características físicas y propiedades mecánicas de los BTC atendiendo las exigencias de la normativa española UNE 41410:2008 “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques.

Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo”, el proyecto se desarrolló a través de la fabricación de BTC sin estabilizar, estabilizados con aglomerante natural cal puzolana y otros estabilizados con cemento tipo UGC, donde se verificó la incidencia del aglomerante natural cal puzolana. Al verificar la ocurrencia de puzolana de cal como aglutinante natural, se mejora el cemento en las propiedades físicas y mecánicas, comparado con el no estabilizado (Alvarado, 2015).

En la Universidad Libre de Pereira en el año 2016 se desarrolló un estudio que lleva por nombre “BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO Y CEMENTO COMO SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES” El objetivo principal de los investigadores es determinar la dosis óptima de BTC para reemplazar la construcción sostenible de muros no estructurales con suelo derivado de puzolana, hormigón y escombros de cemento. Al realizar esta investigación, los autores concluyeron que existe una alternativa sostenible a la construcción sin dañar el medio ambiente, al igual que los materiales de bajo costo y fácilmente disponibles pueden brindar oportunidades para las personas de bajos ingresos. (Molina, 2016)

Posteriormente se desarrolló en Perú en el año 2018 una investigación que lleva por nombre EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN TÉCNICA DE LAS PROPIEDADES ADOBE, TÍPICO CONVENCIONAL Y EL REFORZADO CON CENIZAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN EL CC. PP DE TAMBAR – MORO, en el sus autores tratan de mejorar el BTC tradicional agregando ceniza de bagazo de caña de azúcar, en el desarrollo de este proyecto se describieron dos tipos de BTC, un BTC convencional típico es el bloque estándar y el otro es la adición de ceniza de bagazo de caña. CBCA) como aditivo, expresado en porcentajes del 5%, 10% y 15% con respecto al peso de la tierra. Utilizan

adobe de 40x20x10 cm para realizar la prueba de absorción física en ladrillos porosos, y el tamaño cambia; realizar la prueba de compresión mecánica en un cubo de 10x10x10 cm, tirándolo de una probeta de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y finalmente utilizan 13,3x6,6x3,3. El resultado final es que la unidad de Adobe con un 10% de CBCA muestra mejores propiedades mecánicas (Aburto & Bravo, 2018).

En España López Dávalos (2018) en su proyecto de investigación “DESARROLLO DE UN NUEVO BLOQUE DE TIERRA MEJORADA CON LA INCORPORACIÓN DE ADITIVOS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS”, fabricación de bloques de construcción ecológicos cuidadosamente elaborados con aditivos de suelo y gel de origen vegetal, que contribuyen al desarrollo del entorno en construcción, y buscan aumentar la resistencia de los bloques de suelo mediante la adición de gel de origen vegetal (GOV). Inicialmente, diseñó la campaña de prueba y usó la muestra como blanco de referencia compuesto de agua y tierra para la prueba, lo que muestra que se pueden ver mejoras al usar GOV. Estas pruebas son para probar la resistencia mecánica, el envejecimiento artificial acelerado y el rendimiento a prueba de agua. Al final, se obtuvieron resultados satisfactorios con GOV. La tasa de compresión de una de las muestras aumentó en un 134%, la tasa de flexión aumentó en un 300% y su resistencia mecánica superó la del BTC (López Dávalos, 2018).

Para el año 2018 en la ciudad de Medellín se publicó un artículo científico que buscaba disminuir las lesiones patológicas de las construcciones con Bloques de Tierra Comprimida causadas por el agua y por ello desarrollaron un nuevo BTC con adición de emulsión asfáltica en frío, la adición de este componente bituminoso proporciona al bloque mejores características de protección contra la humedad y brindando resistencia a compresión apta para los procesos constructivos, con un 50 % de adición de emulsión asfáltica (Darío Cañola et al., 2018).

A nivel Suramérica Vilcas en el año 2019 llevo a cabo una investigación denominada “Comparación de los resultados de ensayos físico-mecánicos realizados a bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición en Sudamérica”, la cual buscaba la comparación de las propiedades físicas y mecánicas, absorción y resistencia a la compresión, de los BTC mejorados con residuos de construcción y demolición en cuatro países: Ecuador, Colombia, Brasil y Perú, y en el cual se tuvo como resultado una disminución en los índices de absorción y un aumento en la resistencia a la compresión en estos bloques. Este estudio brinda grandes alternativas sostenibles para la reutilización de los desechos propios del sector de la construcción (Vilcas, 2019).

En el año 2020 en Pakistán se desarrolló un artículo, el cual tenía por objeto el de determinar el efecto de la madera de yute en la resistencia a la compresión, el módulo de ruptura, la respuesta a la deformación de la carga, el encogimiento, el tiempo de secado y las grietas en los BTC, en el ensayo se utiliza un compuesto novedoso de suelo (es decir, arcilla, arena y fibra de yute) para producir BTC sin adición de cemento. Como resultados este artículo muestra que los BTC fabricados con arcilla, arena y fibra de yute podrían usarse para la construcción de edificios de tierra en lugar de los estabilizados con cemento (Zardari, Lakho, & Amur, 2020).

5 Marco Teórico

5.1 Historia de la construcción con tierra.

Desde el comienzo de la construcción, el suelo ha sido un material de construcción común desde el 5800 a. C. Hasta ahora, se ha empleado en gran medida en muchos centros de población de países en crecimiento.

Al principio, los antiguos constructores tenían que encontrar una manera conveniente de preparar pequeños bloques de tierra y perfeccionar el proceso de secado adecuado poco a poco, porque el suelo original como recurso natural de construcción necesita resistencia, durabilidad y flexibilidad, pero las propiedades mecánicas necesarias pueden ser cumplidas del proceso de estabilización correcto. De acuerdo con las condiciones climáticas, a través de experimentos se descubrió que se agregaban otros materiales (como paja triturada o cal) para estabilizar la composición del bloque de suelo para cumplir con los requisitos de durabilidad de cada necesidad.

Se encuentran dentro de los ejemplos más relevantes las construcciones con adobe y tapia pisada desde hace 3000 años a. de C en Mesopotamia y el antiguo Egipto. De igual manera se encuentran ejemplos de edificios como las mezquitas de Mali y el Bazar de Seideyan en la República Islámica de Irán en el Medio Oriente, la Gran Muralla de China (Ver Figura 1), el centro de la Pirámide del Sol en Teotihuacan, México; o la Alhambra en Granada, España. Estos ejemplos muestran claramente que el tiempo ha permitido a las personas continuar desarrollando tecnologías existentes y otras tecnologías de construcción como el bahareque y, en la actualidad, los BTC (Alvarado, 2015).



Figura 1. Las Muralla China

Fuente: Tomada de El Universal, “Lo que debes saber de la Gran Muralla” ,(Samantha Guzmán, 2018)

5.2 La tierra como material de construcción.

En los últimos años, debido a ciertas características como la conciencia ecológica, el bajo costo, y porque el suelo es un material reciclable y se adapta a las diferentes condiciones climáticas, se ha incrementado el empleo del suelo como material de construcción. Añadiendo algunos ingredientes adicionales, el material se moldea para que tenga las propiedades necesarias.

La tierra correcta para la construcción es aquella que posea un escaso contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, debido a que con la permeabilización y secado del agua la arcilla modifica su masa y no lo recobra. Con respecto a los componentes granulométricos de la tierra esta contiene arena, limo y arcilla, y en su composición general incorpora agua y aire; su uso es posible gracias a esta composición, porque es posible su estabilización de una manera adecuada, teniendo en cuenta el rango de cohesión, para su mejora. De acuerdo al sistema de construcción a emplear se determina el tipo de arcilla a utilizar considerando la humedad adecuada para la compactación. (Barrera & Buitrago, 2014, p.25)

5.2.1 Ventajas y Desventajas

- ✓ Ajusta la temperatura de la casa para ahorrar energía en los edificios y reducir la contaminación ambiental.
- ✓ Materiales reutilizables y construcción rápida.
- ✓ Conservante de madera y resistente a los hongos e insectos.
- ✓ No es un material estándar y su elaboración depende de la ubicación del material extraído, por lo que la proporción de la mezcla es variable.
- ✓ Se encoge y se agrieta durante el secado, es permeable.

5.2.2 Componentes de la Tierra

La tierra es una combinación de arcilla, limo y arena, que en ocasiones en su contenido incluye agregados mayores, denominados gravas. En ingeniería sus partículas se definen dependiendo de su diámetro:

- Arcillas: partículas con diámetros menores a 0,002 mm
- Arenas: entre 0,06 y 2 mm
- Limos: entre 0,002 y 0,06 mm.
- Gravas: partículas mayores a 2 mm

Para pegar las partículas más grandes o mayores de tierra la arcilla ejerce la labor de aglomerante natural. Los rellenos en la tierra están constituidos por limo, arena y otros agregados. Un suelo se puede denominar como un suelo arcilloso, limoso o arenoso dependiendo de la predominación de alguno de estos tres componentes.(Alvarado, 2015, p.5)

5.2.3 Propiedades de la tierra como material de construcción

5.2.3.1 Distribución granulométrica

La proporción granulométrica de la tierra es representada por una curva granulométrica, en la cual se presentan los resultados obtenidos en pruebas dentro de un laboratorio, sobre la dimensión de las partículas que lo forman, en el estudio de la distribución de la tierra. Para el análisis granulométrico se hace uso de un par de procedimientos en forma combinada, donde las partículas mayores son separadas a través de tamices con aberturas de malla estandarizadas, y posteriormente las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz son pesadas. En cuanto a la partículas menores estas son separadas mediante el método hidrométrico. (Alvarado, 2015, p.5)

5.2.3.2 Contenido de Agua o Humedad

La humedad se utiliza para activar la fuerza de unión de los materiales del suelo. Para proporcionar humedad a la mezcla, no solo se puede usar agua libre, sino que también hay tres tipos diversos de agua en el material: i) Agua cristalina: forma la estructura del material, está unida químicamente y solo puede calentarse de 400 a 900 Solo está probado a ° C: ii) Agua absorbida: se combina eléctricamente con los minerales de la arcilla, y se separa del material cuando se calienta a 100 ° C, y finalmente iii) agua capilar: ingresa al material de los poros por capilaridad. Cuando se calienta a 100 ° C, el agua absorbida y el capilar se separarán del material. (Alvarado, 2015, p.6)

5.2.3.3 Porosidad

El volumen de todos los poros del material tierra define l grado de porosidad. Las dimensiones de los poros son de gran importancia más aún que el volumen. Al ser más grande o mayor el grado de porosidad de manera similar, cuanto mayor sea la difusión del vapor, más fuerte será la resistencia al congelamiento-descongelamiento del material (Alvarado, 2015, p.6)

5.2.3.4 Superficie específica

Alvarado (2015) establece que la superficie específica del suelo es la suma de todas las superficies de las partículas. La superficie específica de la arena gruesa es de aproximadamente 23 cm² / g y la superficie específica de la arcilla es de 10 a 1000 m² / g. (p. 7). Entre más grande sea el área específica de la arcilla de igual manera serán las fuerzas internas de unión que son de gran importancia en cuanto a la resistencia a la compresión, la tensión del material y la capacidad aglutinante. (Alvarado, 2015, p.7)

5.2.3.5 Densidad

La relación de la masa seca con respecto al volumen define la densidad del material, incluidos los poros. Cuando un suelo ha sido excavado recientemente posee una densidad de 1.200 a 1.500 Kg/m³. Al ser compactado el suelo con técnicas como las de tapia pisada o bloques de tierra, tiene una variación entre de 1.700 a 2.200 Kg/m³ en su densidad, y esta variación puede aumentar si la mezcla contiene altas cantidades de grava. (Alvarado, 2015, p.7)

5.2.3.6 Compactibilidad

Se le denomina compactibilidad a la capacidad que tiene la tierra de compactarse a través de una presión estática o compactación dinámica la cual reduce su volumen. Si se quiere conseguir una compactación mayor, la tierra dentro de su contenido debe incluir una óptima de agua, lo cual permitirá tener la densidad máxima del material. (Alvarado, 2015, p.7)

5.3 Procesos de Estabilización del Material

Para mejorar la calidad del suelo, existen algunos efectos estabilizadores de los agregados, divididos en procesos homogéneos y heterogéneos:

5.3.1 Procesos Homogéneos

El proceso de homogeneización incluye agregar materiales faltantes: si el suelo no es muy pegajoso, es arcilla; si es muy pegajoso, es arena; estos materiales se mezclan en seco y deben ser similares al material a estabilizar (Medina, Medina, & Gutierrez, 2011).

5.3.2 Procesos Heterogéneos

Ocurre en un proceso heterogéneo el combinar otro tipo de materiales para lograr la función de brindar estabilidad a los materiales naturales; el proceso se divide en estabilizadores a través de la consolidación, fricción e impermeabilización (Medina, Medina, & Gutierrez, 2011):

5.3.2.1 Consolidantes

Los estabilizadores de consolidación se combinan con limo y arena para mantenerlos juntos. La cal es uno de los mejores estabilizadores para la consolidación porque une las partículas del suelo y aumenta su resistencia a la compresión y al esfuerzo cortante. También reduce la absorción de agua. La cal no cambiará la porosidad y la tierra no perderá su adherencia. En cuanto a las sustancias orgánicas, ciertas sustancias aglutinantes se pueden encontrar en los vegetales como cactus y suculentas, coloides orgánicos, leche y huevos.

5.3.2.2 Fibras:

La fibra utilizada como estabilizador evita que aparezcan grietas y continúa funcionando con el tiempo. También tienen una estructura que funciona como bisagras y los hacen flexibles en caso de movimiento sísmico.

El uso de estabilizadores de fibra puede controlar el comportamiento de expansión y contracción durante el proceso de solidificación. Esto incluye el material fibroso que se adhiere al suelo y forma una red cuando se conecta. Estas fibras logran ser de origen vegetal, como paja,

diferentes gramíneas, virutas de madera, agujas de pino, cáscaras de coco, rastrojo de maíz y fibras de pita o fique, o de origen animal, como lana, pelo de caballo, llamado pelo. El material añadido debe estar seco para evitar su descomposición.

5.4 Bloques de Tierra Comprimido (BTC)

El BTC fue expuesto en la década de 1950 en Colombia, como un producto de investigación del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) para crear materiales de construcción de bajo costo. A través de esta investigación, nació la prensa CINVA-RAM, que lleva el nombre del Centro Interamericano de Vivienda y lleva el nombre del desarrollador Ing. Raúl Ramírez (Chile) recibió su nombre del apellido y se utilizó para producir BTC. Desde la década de 1980, se ha distribuido ampliamente en todo el mundo. El bloque de tierra comprimido es un material utilizado en la construcción, hecho de una mezcla de suelo e ingredientes estabilizadores (como cal de aire, cal hidráulica, cemento o arcilla), estos materiales se encuentran en folletos de prensa o maquinaria. El BTC se utiliza para la construcción de muros mediante apilamiento manual, lo que lo convierte en una alternativa a los ladrillos convencionales.

5.4.1 Proceso de Producción BTC

Para producir bloques de tierra comprimidos, el material debe tamizarse antes de mezclarse y estabilizarse. Para el proceso de compactación se utiliza una máquina denominada prensa o bloquera. El más común es CINVA-RAM, que tiene una caja de metal de 16 cm de alto, 29 cm de largo y 14 cm de ancho. Para realizar el bloque: i). El material debe estar preparado, ii). Abra la caja y colóquela en suelo estable ii). Cierre la caja y coloque la varilla de metal operada manualmente, iv). Aplicar la presión necesaria hasta que se baje la palanca v). Posteriormente, el bloque se retira del molde y se transfiere para su curado o secado, donde el bloque puede durar de dos días a una semana dependiendo del contenido de humedad del bloque después de la compactación, en la Figura 2 se muestra el progreso de fabricación de los BTC (Arteaga et al., 2011).

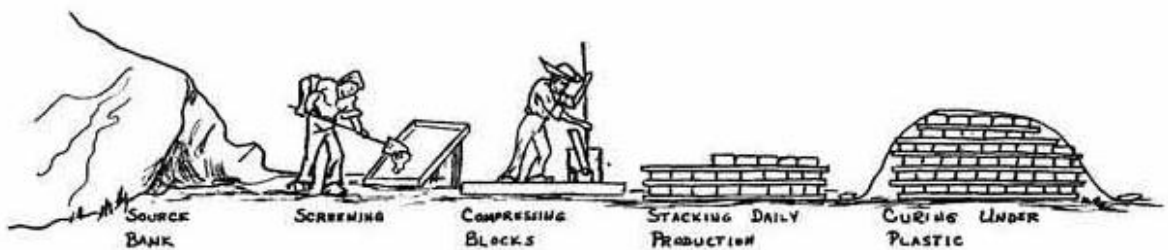


Figura 2. Proceso de Fabricación de BTC
Fuente: Tomado de “Construir una casa con BTC”, (eba, 2017)

5.4.2 Formas y Dimensiones de los BTC

No existe un tamaño específico para el tamaño del bloque (Ver Figura 3), pero hay algunas recomendaciones generales, en las que se determina que la longitud no debe ser mayor al doble del ancho más el grosor de la junta de pega. La longitud y el ancho deben ser el tamaño máximo de 40 cm. Si es posible, la altura no debe ser superior a 14 cm. La relación entre la longitud y la altura debe ser de aproximadamente 4: 1, de modo que la relación de superposición horizontal sea

2: 1, lo que puede resistir con seguridad el efecto de cizallamiento causado por el terremoto (Echeverry & Jaramillo, 2017).



Figura 3. Diferentes formas y Dimensiones de los BTC

Fuente: Tomado de “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico”, (Puerta Montiel, 2017)

5.4.3 Tipos de BTC

Existen diversos tipos de bloques, que varían según su forma, tamaño, composición y sistema de fabricación. Los bloques hechos a mano sin maquinaria, rellenos de arcilla y secados al aire libre, se llaman adobes. Por el contrario, cuando el suelo húmedo se compacta con una prensa manual o mecánica, se denominan bloques de tierra. Los ladrillos fabricados por la extrusora sin cocer en la fábrica de ladrillos se denominan ladrillos verdes, y finalmente los ladrillos más grandes compactados manual o mecánicamente en el molde se denominan bloques de tierra comprimidos (Minke, 2005).

5.4.3.1 Bloques de tierra articulados.

En el sistema constructivo de zócalos, son los elementos básicos que permiten la fijación estructural sin el uso de mortero. Esta estabilidad se beneficia de juntas horizontales y verticales,

que se fusionan entre una misma fila y filas sucesivas, lo que le da a la mampostería estabilidad y homogeneidad. De esta manera, se pueden ajustar esquinas, encuentros y cruces de paredes, evitando así la molestia del procesamiento fino de fragmentos. También permite la inserción de pilares como soporte estructural, eliminando así la necesidad de estructuras sísmicas (Calderón, 2013). En los últimos años se ha desarrollado el sistema LAMARS, partiendo de BaSC (Ver Figura 4), el sistema ha desarrollado un modelo a través de bloques articulados cemento-suelo, que pueden realizar la construcción de muros sin utilizar mortero tradicional entre la mampostería. La plataforma de perforación enriquece la estructura relacionada, el comportamiento y la capacidad sísmica, además de reducir la cantidad de mampostería, materias primas, personal requerido y por lo tanto los costos de producción (Montes, 2018).

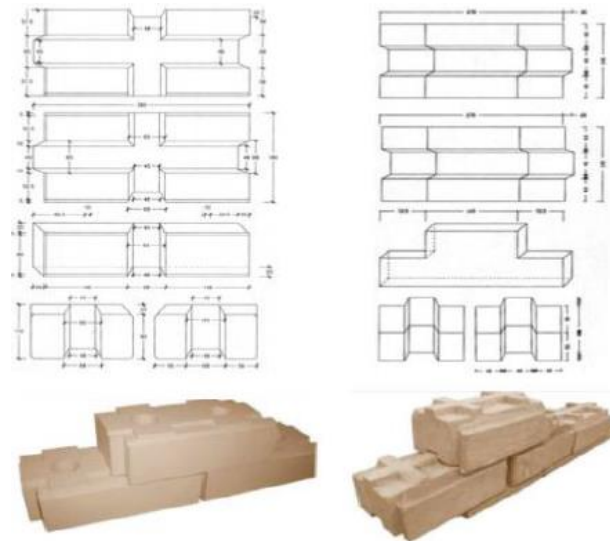


Figura 4. Bloques articulados BaSC
Fuente: Tomado de Montes, (2018)

5.4.3.2 Bloques de tierra con adición de fibras y conglomerantes vegetales.

BTC los cuales son fabricados a bases de fibras o algún tipo de conglomerante vegetal, el cannabric es un ejemplo de esto, se trata de un bloque macizo de apariencia rugosa a base de

cañamón, material vegetal, conglomerantes naturales y aglomerantes minerales y de reciclaje (Ver Figura 5)(Cannabric, 2020).



Figura 5. BTC a base de cañamo

5.4.3.3 Bloques de tierra de alta resistencia.

Están hechos de arcilla y tienen excelentes características de resistencia eléctrica. Según la normativa española, la resistencia a la compresión de BTC se puede dividir en 3 tipos. BTC 1 = 1.3 N / mm², BTC 2 = 3 N / mm² y BTC 3 = 5 N / mm², este último representa la resistencia más fuerte, pero por su composición y fabricación en exceso, casi no se cotizan en el mercados (Calderón, 2013).

5.4.4 Maquinaria para la Fabricación de BTC

5.4.4.1 Máquina de Tipo CINVA – RAM.

La máquina utilizada para hacer BTC más conocida recibió el nombre de Cinva-Ram por el centro de investigación, que fue desarrollado originalmente en la década de 1950 (Centro Interamericano de Vivienda, CINVA) y luego pasó al apellido del promotor Raúl Ramírez. Cada máquina pesa 65 kilogramos y es operada por dos personas. Produce 300 piezas por día con una cantidad de mezcla de 1 a 14 cemento a tierra en volumen. Expresado en un lenguaje simple y

mecánica básica, este es un hito en la adaptación ordenada de la transformación, la maquina se muestra en la Figura 6 (Vargas Rubiano & Vargas Caicedo, 2007).



Figura 6. Maquina Cinva-Ram

Fuente: Tomado de “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico”, (Puerta Montiel, 2017)

5.4.4.2 Máquina de Tipo CETA – RAM.

La máquina fue desarrollada por el Centro Experimental de Tecnología Apropriada CETA después del terremoto de 1976. Adoptó la idea básica de CINVA-RAM y la hizo adecuada para la fabricación de bloques de tierra - cemento huecos, promoviendo así la construcción sísmica. La máquina sigue el principio de funcionamiento de CINVA-RAM, que se basa en el mecanismo de "palanca" o "fuerza infinita". Utiliza dos guías internas que tienen orificios a través de los cuales se puede reforzar fácilmente la estructura. Es más simple que CINVA-RAM, porque el doble carril guía simplifica la operación y reduce el costo de la máquina. El módulo y sus juntas de módulo se encuentran a 0,5 y 1,0 metro respectivamente. Estos orificios también permiten ajustar la varilla de refuerzo a 0,5 o 1,0 metro. Una desventaja es que debido al carril de guía central, su versatilidad no es tan buena como CINVA-RAM (CEMAT, 1987).

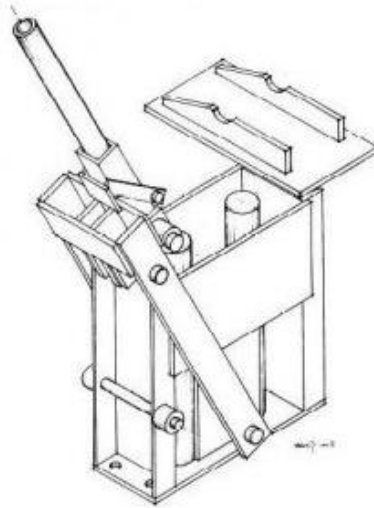


Figura 7. Máquina CETA-RAM

Fuente: Tomado de “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico”, (Puerta Montiel, 2017)

5.4.4.3 Máquina AURAM PRESS 3000

Uno de los referentes de fabricación de BTC desarrollado en Auroville, capaz de desarrollar hasta 75 piezas diferentes. Auram 3000 es un sistema muy versátil que proporciona una amplia gama de accesorios y moldes que se pueden producir a partir de bloques especiales redondos o huecos para Bloques adaptados a Atributos específicos de construcción como puertas y vigas mixtas y rodapiés y vigas anulares. Aunque la prensa de movimiento de tierras Auram 3000 (Ver Figura 8) se opera manualmente, aún puede alcanzar una relación de compresión muy alta de 1,83 bajo la acción de 15 toneladas de fuerza disponible (Aureka, 2020).



Figura 8. Máquina Auram 3000

Fuente: Tomado de “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico”, (Puerta Montiel, 2017)

5.4.4.4 Maquina QMR

Esta es una máquina fabricada en China, formadora de bloques. En diferentes versiones, es copiada por muchos fabricantes, especialmente copiado de gigantes asiáticos, basada en el primer CINVA-RAM, pero tiene moldes intercambiables o tolvas de alimentación, por ejemplo, es una versión económica, la maquina QMR se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Maquina QMR

Fuente: Tomado de “BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico”, (Puerta Montiel, 2017)

5.4.5 Estabilizantes utilizados en la elaboración de bloques de tierra compactada

Un estabilizante es un material que, como su nombre refleja, puede mejorar las propiedades físicas del suelo incrementando la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción o reduciendo las grietas causadas por la contracción de la arcilla. Las ventajas incluyen:

- Aumentar la resistencia.
- Evitar variación de tamaño al secar.
- Evitar erosión.
- Impedir la inserción de insectos.
- Mejorar la resistencia a la humedad.

Los tipos de aditivos que se utilizan para estabilizar los bloques de suelo compactado son:

5.4.5.1 Aditivos de Tipo Artificial o Sintéticos

Se consideran aditivos artificiales o sintéticos aquellos obtenidos mediante el uso de productos sintéticos que no existen en la naturaleza y / o mediante operaciones de generación o incorporación de sustancias no naturales (incluidos polímeros, cemento, látex, escorias de colada, etc.). Resina acrílica y epoxi, neumáticos y plásticos, etc. (Sebastián Guzmán & Iñiguez, 2016).

5.4.5.2 Aditivos de Tipo Natural o Mineral

Se obtienen a partir de productos naturales mediante operaciones físicas. Estas operaciones no implican la incorporación de otras sustancias no naturales. Entre estos se encuentran: cal, cloruro de sodio, cloruro de calcio, aceites naturales, gomas naturales, silicatos, yemas de huevo, productos de cenizas volcánicas, estucos y fibras vegetales, etc. (Sebastián Guzmán & Iñiguez, 2016)

5.4.6 Marco Normativo Aplicable al BTC

En la Tabla 1 se presenta una revisión internacional de las diferentes normatividades que se emplean para las definiciones, especificaciones y revisiones en la utilización de BTC; en la tabla se especifica la norma, el país de utilización, el año de expedición, la organización expedidora y la descripción de la norma.

Tabla 1. Marco Normativo BTC

Norma	País	Año	Organización	Especificación de la Norma
UNE 41410	España	2008	UNE Normalización Española	Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.
AFNOR - XP P13-901	Francia	2001	AFNOR	Bloques de tierra comprimida para paredes y tabiques: definiciones, especificaciones, métodos de prueba, condiciones de aceptación de entrega.
NBR 10833: 2012 Versión corregida: 2013	Brasil	2013	ABNT	Fabricación de ladrillos y bloques de suelo-cemento mediante prensa manual o hidráulica - Procedimiento

NBR 8491: 2012		2012	ABNT	Ladrillo de suelo y cemento - Requisitos
NBR 8492: 2012		2012	ABNT	Ladrillo suelo-cemento, análisis dimensional, determinación de la resistencia a la compresión y absorción de agua - Método de ensayo
NBR 10834: 2012 Versión corregida: 2013		2013	ABNT	Bloque de suelo-cemento sin función estructural - Requisitos
NBR 10836: 2013		2013	ABNT	Bloque de suelo-cemento sin función estructural - Análisis dimensional, determinación de la resistencia a la compresión y absorción de agua - Método de ensayo
ARS 674	R. África	1996	ARSO	Especificaciones técnicas para bloques de tierra comprimida ordinarios
ARS 675		1996	ARSO	Especificaciones técnicas para el revestimiento de bloques de tierra comprimida
ARS 676		1996	ARSO	Especificaciones técnicas para morteros de tierra ordinaria
ARS 677		1996	ARSO	Especificaciones técnicas para morteros de tierra de revestimiento
ARS 678		1996	ARSO	Especificaciones técnicas para mampostería ordinaria de bloques de tierra comprimida
ARS 679		1996	ARSO	Especificaciones técnicas para el revestimiento de mampostería de bloques de tierra comprimida
ARS 680		1996	ARSO	Código de prácticas para la producción de bloques de tierra comprimida
ARS 681		1996	ARSO	Código de prácticas para la preparación de morteros de tierra
ARS 682		1996	ARSO	Código de prácticas para el montaje de mampostería de bloques de tierra comprimida

IS 1725	India	1982	BIS	Esta norma cubre los requisitos y la prueba para bloques a base de suelo para uso en la construcción de edificios en general.
KS 1070: 1993	Kenia	1993	KEBS	Especificación para bloques de suelo estabilizados.
SLS 1382 Parte 1	Sri Lanka	2009	SLSI	Bloques de tierra estabilizada comprimida - Requisitos
SLS 1382 Parte 2		2009	SLSI	Bloques de tierra estabilizada comprimida. Métodos de ensayo.
SLS 1382 Parte 3		2009	SLSI	Bloques de tierra comprimida estabilizada - Directrices sobre producción, diseño y construcción
NTC 5324	Colombia	2004	ICONTEC	Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.
NIS 369	Nigeria	1997	SON	Estándar para Ladrillos de tierra estabilizada

Elaboración Propia

6 Diseño Metodológico

Una revisión bibliográfica no solo consiste en una serie de citas o extractos de documentos o párrafos, vas más allá ya que su principal tarea es la de organizar y resumir las referencias, de tal manera que evidencien el estado actual del conocimiento en este caso el tema principal de las diferentes metodologías o practicas utilizadas para el mejoramiento de los bloques de tierra comprimido ya sea con aditivos o adiciones de otro tipo, en el contexto de una nueva investigación. La revisión de la bibliografía debe identificar tanto las congruencias como las contradicciones, así como explicar las incongruencias, un ejemplo de esto serían los diferentes conceptos, prácticas, alternativas o métodos (Gómez, Navas, Aponte, & Betancourt, 2014).

6.1 Tipo de Investigación

Según la naturaleza de los datos e información a obtener, el estudio tiene un enfoque de tipo cualitativo ya que se busca obtener los datos mediante la observación y el análisis, enmarcados en esta metodología que se centra en describir los aspectos, y los detalles para ser analizados a fondo y conformar con ellos una solución (Hernandez Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2014). El diseño de la investigación es de tipo investigación acción, ya que existe una problemática social en cuanto al daño ambiental generado por las construcciones convencionales que necesita resolverse y se pretende lograr el cambio mediante la implementación de métodos constructivos más amigables con el entorno como lo es el BTC y por eso se hace necesario conocer alternativas que aporten a su mejoramiento y promuevan su uso.

6.2 Alcance de la investigación

La investigación tiene un alcance exploratorio y descriptivo, porque el propósito principal es observar, analizar y registrar la mayor cantidad posible de temas de investigación, seleccionar una serie de preguntas y medir cada pregunta de forma independiente para describir el contenido

de la investigación. Esta investigación se concentra exclusivamente en un análisis de literatura correspondiente a la revisión bibliográfica que se desarrolla a través de las bases de datos asociadas a la Universidad Pontificia Bolivariana, tal como Scopus. Dicho esto, no se contempla la realización de ensayos o prácticas de tipo experimental.

6.2.1 Fase I: Recolección de Datos

En el estudio cualitativo principalmente y dentro de esta fase el objetivo principal es el de obtener datos, los cuales son la información a observar y posteriormente analizar ya sea de personas, seres vivos, comunidades, situaciones o procesos en profundidad (Hernandez Sampieri et al., 2014). En este caso la fase I hace parte del objetivo de investigar los componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales utilizados para la fabricación de BTC a nivel mundial, por medio de una revisión detallada de la literatura y se desarrolla en los siguientes pasos:

- Definir el objetivo de la revisión.
- Determinar los Terminos Clave.
- Definición de los criterios de inclusión, de exclusión y de calidad.
- Elaboración de la matriz de artículos de investigación, tomando como fuentes principales la base de datos Scopus, durante la última década (2011 – 2021).

6.2.2 Fase II: Observación

La fase de observación no se basa solo en la contemplación del entorno, esta requiere de la incorporación de todos los sentidos para estar atento a los detalles, interacción profunda con las situaciones y en este caso con la documentación recolectada, mantener un papel activo, y una constante reflexión (Hernandez Sampieri et al., 2014). Para esta fase el objetivo es el de la identificación de componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales utilizados para la

fabricación de BTC a nivel mundial, por medio de una revisión detallada de la literatura y se efectúa en los siguientes pasos

- Se define una ecuación de búsqueda en la que se utilizan los operadores booleanos: “AND”, “OR”, “NOT”. Con la combinación de palabras clave y conectores se puede encontrar artículos efectivos adecuados para los objetivos planteados.
- Para realizar la correspondiente investigación de la literatura, una vez definida la ecuación de búsqueda, se ingresan al sistema de base de datos en una fecha determinada para controlar el número de artículos y / o documentos.
- Se recolecta documentación que hable sobre los métodos de adición o incorporación de aditivos a los BTC utilizados a nivel nacional e internacional, por medio de las bases de datos Scopus.

6.2.3 Fase III: Análisis

El análisis dentro de la investigación cualitativa tiene 5 propósitos fundamentales según (Hernandez Sampieri et al., 2014) los que serán empleados dentro de la investigación. Para la tercera fase de la investigación se realiza el estudio de la información recolectada con el fin de dar cumplimiento al objetivo de realizar un análisis comparativo de los diferentes aditivos usados en el BTC en el ámbito de cambios o mejoras en las propiedades Físico - Mecánicas de estos bloques, a través de la información obtenida en la revisión bibliográfica, lo cual sirve para identificar las diferencias entre los métodos de adición y/o aditivos usados a nivel nacional e internacional, y se realiza en los siguientes pasos :

- Explorar la información recolectada
- Imponerles una estructura, lo cual consiste en organizar la información en diferentes categorías.

- Describir las experiencias de los investigadores según su perspectiva.
- Descubrir los conceptos a analizar en la información, su objetivo, con el fin de darles sentido, interpretarlos y explicarlos.
- Comprender en profundidad el contexto que rodea la información.

En general, se realiza un análisis al inicio para determinar los criterios de inclusión o exclusión propuestos, en el que se lee en detalle el título, el resumen y las palabras clave. Una vez establecida la muestra final, se extrae la información relevante de la plantilla de análisis de datos y se realiza la observación de contenido para detectar los datos interesantes del artículo que se identifican como directamente relacionados con la idea más importante.

6.2.4 Documentación

Se registra todo el proceso de las primeras etapas con el fin de comprender y exponer la definición de ciertos parámetros en el marco metodológico, que permiten la selección de materiales y / o aditivos para la fabricación de BTC y cumplir con los objetivos finales de la investigación.

6.3 Población

6.3.1 Tamaño de la Población

Según la revisión bibliográfica, para la población, serán los artículos y documentos más relevantes de los últimos años (desde 2011 hasta la actualidad), y todos los artículos y documentos relacionados con el tema de esta investigación. Se centra principalmente en artículos que discuten las diferentes prácticas y materiales aditivos utilizados por BTC.

6.3.2 Muestra

Para el desarrollo de la investigación, el muestreo no probabilístico se elige por conveniencia. Esta técnica de muestreo se basa en la conveniencia, accesibilidad y proximidad de

los datos para los investigadores. y teniendo en cuenta que para la investigación cualitativa, de acuerdo a sus características, requiere de muestras más flexibles, donde esta se va evaluando y redefiniendo constantemente (Hernandez Sampieri et al., 2014) (Otzen & Manterola, 2017). Y para este caso en particular se escoge la literatura resultante luego de la búsqueda y el análisis teniendo en cuenta los criterios definidos.

6.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de información

De acuerdo con el método de investigación propuesto, las observaciones se utilizan para la recolección de datos y las ecuaciones de búsqueda se aplican a la base de datos.

7 Revisión de Literatura e Identificación de Aditivos utilizados para Fabricación de BTC

Para la planeación y puesta en marcha de la revisión de literatura se establecen un conjunto de acciones que se deben cumplir para lograr el propósito principal, que es la recopilación de información relevante e importante, que contribuya a identificar datos válidos para el estudio.

7.1 Definición de Términos Clave

Para delimitar la búsqueda se establecen una serie de palabras o terminología clave para utilizar en la ecuación de búsqueda que se aplicará en las bases de datos:

- Componentes
- Aditivos
- Fabricación
- BTC: Bloques de Tierra comprimida

Tabla 2. *Términos Clave*

Palabras Clave	Términos Posibles	Términos en Ingles
Componentes	Elementos, materiales	components, elements, materials
Mejoramiento	Perfeccionamiento	improvement, refinement
Aditivos		Additive
Adición		Admixture, addition
Fabricación	Elaboración	manufacture, elaboration
BTC	Bloque de Tierra Comprimida	CEB, Compressed Earth Block

Fuente: Elaboración Propia

7.2 Definición de Criterios

Para que los resultados sean lo más acertados posibles y conforme a la temática de estudio específica, se establecen unos criterios:

7.2.1 Criterios de Inclusión.

- Campos de búsqueda: Título, resumen y palabras claves, mencionen: mejoramiento, componentes, aditivos, elementos, fabricación, elaboración, BTC y/o bloques de tierra comprimida.
- Periodo de la revisión bibliográfica: Todos los artículos desde el año 2011 a la fecha de la aplicación de la búsqueda.
- Idiomas: español e inglés.
- Tipos de documentos: Artículos, Tesis, páginas y documentos web que contengan planes, desarrollos, reportes técnicos, memorias de conferencias, simposios, noticias, casos de éxito, y/o cualquier otro documento con información relevante y de interés en la temática de estudio.

7.2.1.1 Criterios de Exclusión

- Aquellos documentos que, en su título, palabras clave, resumen o introducción no hagan referencia a mejoramientos de BTC con componentes y/o aditivos naturales o artificiales.
- Aquellos documentos que no hagan referencia a casos y evidencias acerca del tema de análisis.
- El documento hace referencia a utilización de componentes y/o aditivos naturales o artificiales para el mejoramiento del BTC, pero no detallan parámetros o información de propiedades físico-mecánicas, que se requiere para continuar con las siguientes fases.
- Documentos repetidos
- Documentos que sean anuncios publicitarios
- Acceso al documento
- Que el área temática no sea de pertinencia del estudio.

- No se tienen en cuenta estudios teóricos y/o revisiones sistemáticas o de literatura.

7.2.1.2 *Criterios de Calidad*

Los documentos deben cumplir adicionalmente con otros criterios de selección:

- Tener carácter aplicativo.
- Contener información detallada del proceso realizado.
- Contener descripción de las propiedades halladas y/o analizadas del componente y/o aditivo utilizado y de las propiedades alcanzadas en el BTC con este.
- Debe involucrar programas de ingeniería, economía y/o ambiental.

7.2.2 *Etapas de la revisión*

Una vez establecidos y delimitados los términos y los criterios se llevan a cabo una serie de etapas para obtener los resultados de la revisión.

En la Figura 10 se relacionan las 5 etapas que enmarcan y son la base de la revisión bibliográfica.



Figura 10 Etapas de la revisión Bibliográfica

7.2.2.1 *Identificación de Campo y Periodo.*

En esta primera etapa, se delimita el campo de estudio que se precisa para el análisis: componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales utilizados para la fabricación de BTC a nivel mundial y el periodo serán, los últimos 10 años (2011 – 2021).

7.2.2.2 Selección Fuentes de Información.

Para realizar la búsqueda de información sobre componentes y/o aditivos tanto naturales como artificiales utilizados para la elaboración de BTC a nivel mundial, se realizará el ingreso de palabras clave y terminología en las bases de datos Scopus, e igualmente se realizará la búsqueda de documentación alternativa en buscadores Web, Teniendo en cuenta el listado de palabras clave y terminología, se hizo uso de los operadores booleanos “AND” y “OR. Para hacer esto, se busca una palabra para incluir todos los resultados posibles y búsqueda de sus posibles términos para incluir al menos un término relacionado. Igualmente se utilizarán descriptores en inglés, incorporando también el uso combinado de booleanos “AND” y “OR” y el uso de los términos de búsqueda que incluyen: components, elements, materials, improvement, refinement, manufacture, elaboración, BTC, Compressed Earth Block. Estos términos se escogen para dar una búsqueda más específica al tema de análisis.

7.2.2.3 Realización de la Búsqueda.

En esta etapa se desarrollan actividades como: prueba piloto, búsqueda de artículos, selección e inclusión de artículos según criterios.

Teniendo en cuenta lo establecido en la planeación, se transcriben los criterios y términos claves a las bases de datos seleccionadas y buscadores web, construyendo la ecuación y realizando la búsqueda electrónica de información necesaria.

Se realiza exploración una vez obtenida la ecuación de los términos clave y la delimitación del periodo específico en las bases de datos.

7.2.2.4 Recopilación y Análisis de Resultados

En esta etapa se elabora la matriz de artículos de investigación, donde se recolectan los datos y la información. Al momento de obtener el conjunto de artículos y documentos arrojados

en las búsquedas, se elabora la matriz, donde se aplican los criterios establecidos de exclusión y de calidad, para poder extraer aquellos que contienen los datos relevantes para el presente estudio.

Con las fuentes de información ya sintetizadas en la matriz, se realiza un análisis crítico según aspectos, criterios y relatividad con el estudio a realizar, este es el insumo para continuar con el desarrollo de las posteriores fases.

7.3 Identificación de los Componentes y/o Aditivos tanto Naturales como Artificiales utilizados para la Fabricación de BTC a Nivel Mundial

Al llevar a cabo el proceso de búsqueda de artículos en las diferentes bases de datos que se encuentran en la biblioteca virtual UPB tales como Scopus, Science Direct, así como el uso de búsqueda adicional, se obtienen un total de 72 artículos, a los cuales se les realiza una valoración y se filtran de acuerdo a los criterios de inclusión y criterios de calidad que se han establecido, lo que da como resultado 26; de igual forma al realizar la búsqueda y descarga de los artículos para ser analizados no se encontraron disponibles 8 artículos, la investigación se realizó con un total de 18 artículos finales.

Para el análisis e interpretación de los datos hallados, se identificaron los diferentes aditivos estabilizantes utilizados a nivel mundial con el fin de mejorar el rendimiento y las propiedades, así como proporcionar una mayor resistencia y durabilidad en los Bloques de Tierra Comprimida. En la Tabla 3 se describe el autor y título del artículo, el proceso de fabricación del BTC y, por último, el aditivo incorporado en este proceso.

Tabla 3. Resumen de Resultados

Título	Autor	Fabricación del BTC	Aditivos	Tipo de Aditivo
Novel Simplified Construction of Walls and Prisms Made of BTCs and Earth-Based Mortar)	(Darwish, Khedr, Halim, & Khalil, 2020)	El BTC se fabrica manualmente utilizando una nueva tecnología simplificada, mientras que el mortero a base de suelo se desarrolla utilizando una mezcla de suelo que incluye subproductos industriales. La unión entre el mortero a base de suelo y el BTC se probó experimentalmente. Después del endurecimiento de la superficie de BTC, los prismas y paredes de BTC se construyeron con el mortero desarrollado.	6% de sulfonato de lignina adquirido como subproducto de la industria del cuero en Egipto	Natural
Physico-mechanical and hygro-thermal properties of compressed earth blocks stabilized with industrial and agro by-product binders	(Nshimiyimana, Messan, & Courard, 2020)	Se prepara con materiales arcillosos y 0-25% en peso de CCR. Se preparó otra mezcla usando material de arcilla y 20% en peso de CCR parcialmente sustituido con RHA (es decir, CCR: RHA en una proporción de 20: 0-12: 8). Además, se elaboró una mezcla de control utilizando material arcilloso y cemento al 8% (8CEM). La mezcla se seca y se mezcla completamente hasta que se obtiene una uniformidad clara, y luego se agrega la humedad apropiada a la mezcla seca y se mezcla hasta que se logre una distribución uniforme de la humedad. Se comprime manualmente una cantidad adecuada de mezcla humectante en un molde prismático.	Residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA)	Natural

<p>Structural behavior of large size compressed earth blocks stabilized with jute fiber</p>	<p>(Zardari et al., 2020)</p>	<p>La arcilla y la arena se mezclaron en una relación de peso predeterminada de 7: 3. El límite líquido y el límite plástico del suelo mixto son 33% y 17%, respectivamente. La densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo mezclado fueron 21 kN / m³ y 12,5%, respectivamente. Se compraron bolsas de armas usadas en el mercado local y se cortaron en madera de yute. El contenido de fibra de yute varía del 0,5% al 2% en peso de la mezcla de arcilla y arena, con cada 0,5% de aumento. Se prepararon cuatro lotes de arcilla húmeda y mezcla de mena agregando 22% de agua. La mezcla de tierra húmeda se mezcló en el mezclador durante 20 minutos.</p>	<p>Fibra de yute 2%</p>	<p>Natural</p>
<p>Improvement of lifetime of compressed earth blocks by adding limestone, sandstone and porphyry aggregates</p>	<p>(Lavie Arsène, Frédéric, & Nathalie, 2020)</p>	<p>Se prepara la mezcla para BTC de manera tradicional. Una vez completada la preparación de la muestra, se mezcla un volumen de la muestra con el estabilizador (agregado) y agua. Para cada mezcla, la cantidad de agua agregada es el 12% de la masa total de suelo en la mezcla. La fabricación de BTC se completa de acuerdo con 5 fórmulas: sin agregado, y el porcentaje en volumen de agregado es 20%, 33%, 43% y 50%. Después de mezclar, haga CEB con la prensa manual.</p>	<p>Caliza, arenisca y pórfido</p>	<p>Natural</p>

Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales	(Molina, 2016)	Para la fabricación de BTC estabilizados con cal y cartón se usó un suelo definido como limo arenoso de alta plasticidad (MH), que contenía un límite líquido de 54,5% y un límite plástico de 48,6%, con un índice de plasticidad de 6%.	Cartón, vidrio, plástico y aserrín.	Artificial
Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorada con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos	(López Dávalos, 2018)	El proceso de fabricación de BTC es un proceso tradicional y se modificará el contenido de agua por GOV. Mezcle almidón de arroz (1 parte) y agua (5 partes) y hierva una parte de arroz en 5 partes de agua a fuego lento. Cuando el arroz esté pastoso, liberará todo el almidón, y al mezclarlo con agua, producirá un líquido viscoso (gel vegetal). Finalmente, saca el arroz con un colador, dejando solo el líquido, y déjalo reposar de 15 a 28 días.	Gel de Origen Vegetal (GOV)	Natural
Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime	(Velasco-Aquino et al., 2020)	BTC está hecho de suelo limoso y arcilloso (Altamira, Tamaulipas, México), estabilizador biodegradable de aloe y fibras cortas de mesocarpio de coco, y se compara con la cal tradicional como estabilizador. El mucílago de aloe se obtuvo mediante extracción artificial en la plantación de la instalación universitaria y se preparó una solución acuosa al 7% p / p. La fibra de coco se obtiene manualmente de plantas locales, porque el coco (Cocos nucifera L) es un árbol frutal común en las zonas costeras. Cortar la fibra	Fibras de coco y aloe vera	Natural

		en una longitud de 26 0,1 cm. Se añade fibra de coco en forma de cuerda de 2 cm con un peso de 0,25 y 0,5%.		
The influence of the addition of ground olive stone on the thermo-mechanical behavior of compressed earth blocks	(Djadouf, Chelouah, & Tahakourt, 2020)	Bloque ecológico de tierra comprimida (BTC) con la adición de huesos de aceituna triturados (NOB). NOB se agrega como un reemplazo parcial de la arcilla en diferentes proporciones.	Hueso de aceituna molido	Natural
Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates	(Bogas, Silva, & Glória Gomes, 2019)	Se utilizan áridos reciclados de residuos de construcción. El árido reciclado (RA) con un tamaño máximo de partícula de 2 mm está compuesto principalmente por hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento. La mezcla se produce en una hormigonera. Primero, el suelo se pulveriza con un molino eléctrico y luego se mezcla en seco con otros componentes. Luego se añadió agua lentamente a la mezcla y todos los ingredientes se mezclaron durante 3-4 minutos. Después de mezclar, el molde de compresión manual se llena y la fuerza de compresión está diseñada para ser aplicada.	Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Artificial
Compressed earth blocks with powdered green mussel shell as partial binder and pig hair as fiber reinforcement	(Lejano, Gabaldon, Go, Juan, & Wong, 2019)	La fibra de pelo de cerdo (PHF) es un material de desecho que se puede utilizar como material reforzado con fibra para mejorar la resistencia al agrietamiento de BTC. Debido al alto costo del cemento, el mejillón verde (GMS) es otro material de desecho que se puede utilizar como sustituto parcial del	Fibras de pelo de cerdo (PHF) y conchas de mejillón verde (GMS)	Natural

		cemento en bloques de tierra comprimida.		
Thermal, mechanical and physical behavior of compressed earth blocks loads by natural wastes	(Mohamed, Hajar, Hassan, & M'bark, 2018)	El polvo del argán se obtiene cáscara de nuez aplastando las conchas de argán. Esta operación es cargada usando un molino de cuchillos de RETSCH SM tipo 100. Se prueban tres contenidos de carga; 2%, 4% y 6% con una estabilización agregando 5% de cemento. Se obtiene el aserrín utilizado de la pérdida de una unidad de madera industrial. La máquina usada para hacer bloques es una prensa manual la cual genera una fuerza estática de compactación de Orden 2MPA.	Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín	Natural
Effect of banana fibers on the compressive and flexural strength of compressed earth blocks	(Mostafa & Uddin, 2015)	Bloques reforzados con fibras de banano naturales, las cuales antes de ser incorporadas a la mezcla, pasan por un proceso de limpieza inicial y se sumergieron en una solución de NaOH al 6% durante 2 horas temperatura ambiente, luego se lavaron a fondo por inmersión en un tanque de agua limpia para eliminar el álcali que no reaccionó hasta que las fibras estuvieran libres de álcali. Los BTC se forman utilizando una mezcla (en peso) de arena (35%), agregado de 5 mm (30%), arcilla (35%), cemento (7%) y agua (10%).	Fibras de Banana	Natural

<p>Stabilization of compressed earth blocks (BTCs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso</p>	<p>(Omar Sore, Messan, Prud'homme, Escadeillas, & Tsobnang, 2018)</p>	<p>La mezcla para la producción de los CEB se preparó en dos etapas. Tras la homogeneización de la mezcla seca (laterita + metacaolín) durante 10 minutos, se añadió el agua y la solución alcalina en una proporción de masa de 0,8. La cantidad de humedad (EhG) necesaria se encontró ajustando el contenido óptimo de agua de la mezcla seca (WGi, con $i = 1, 2, 3$ y 4 según la cantidad de metacaolín) por la cantidad de solución alcalina (Sa). Así, los BTCs se estabilizaron con un contenido de geopolímero que oscilaba entre el 5 y el 20%.</p>	<p>Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio</p>	<p>Artificial</p>
<p>Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers</p>	<p>(Donkor & Obonyo, 2015)</p>	<p>Las fibras se introdujeron gradualmente en la mezcla después de que se observara que la mezcla inicial seca a mano de arena y OPC era completa. Después de 20 minutos adicionales, la mezcla parecía uniforme y completamente mezclada con las fibras bien diseminadas. La mezcla seca se regó gradualmente de manera uniforme mientras se continuaba mezclando. Se necesitaron aproximadamente 0,6 kg de agua por cada 45,36 kg de mezcla de suelo-cemento-fibra.</p>	<p>Fibras de polipropileno</p>	<p>Artificial</p>
<p>The Effect of Incorporating Recycled Materials on the Load Deformation</p>	<p>(Dick, Pieniuta, Arnold, Logan, & Krahn, 2019)</p>	<p>La incorporación de desechos en materiales de construcción basados en tierra proporciona un enfoque innovador para utilizar desechos de</p>	<p>Poliestireno expandido (EPS), tereftalato de polietileno (PET), papel y cartón</p>	<p>Artificial</p>

Behaviour of Earth for Buildings		poliestireno expandido (EPS) y tereftalato de polietileno (PET), junto con otros materiales reciclables, incluidos papel, plástico y cartón.		
Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos	(Cañola et al., 2018)	Para tierra seleccionada como limo de alta plasticidad (MH) se toman proporciones de 76 % del peso completo de tierra, 8 % de cemento y 16 % de agua, luego, se añade la emulsión asfáltica a la mezcla en cantidades del 25 %, 50 %, 75 % y 100 %, respecto al peso del agua. Justo después de realizada la mezcla de materiales esta es comprimida en una Cinva-Ram hidráulica a una presión constante de 14 MPa.	Emulsión asfáltica en frío	Artificial
Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles	(Alzate & Molina, 2019)	BTC fabricados con mezclas suelo-cal-escombros de concreto, con porcentajes de escombros de concreto que variaron entre 5%, 10%, 15% y 20%. Para la fabricación de los BTC finales, se utilizó la bloquera CINVA RAM, la cual produjo bloques estándar de dimensiones 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto	Cal 4,5% escombros de concreto 10%	Artificial
El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental	(Ramos & Lopez, 2019)	Se mezcló el suelo básico con agua y las adiciones estudiadas (cemento y cascarilla de arroz) en los porcentajes debidamente propuestos.	Cemento Portland y cascarilla de arroz	Artificial y Natural

Elaboración Propia

Dentro del análisis de contenido de las investigaciones, se evidencia que las adiciones más usadas son de tipo natural siendo referidas en 10 estudios de los 18 examinados, buscando mitigar las afectaciones al medio ambiente y la incorporación de este tipo de materiales como reemplazo

a los convencionales, con el fin de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Del total de la literatura revisada, un 56% de los documentos utilizan aditivos de tipo natural y un 39% de tipo artificial y un documento (6%) implementó la utilización de cemento y cascarilla de arroz, lo cual involucra el uso de la combinación de los dos (Ver Figura 11).

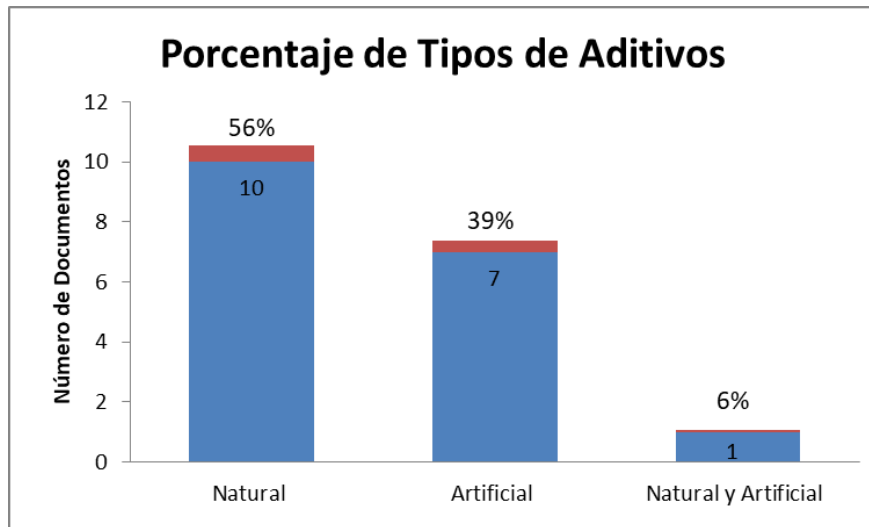


Figura 11. Tipos de Aditivos por Artículos

8 Análisis comparativo de los diferentes aditivos usados en el BTC en la incidencia de las propiedades Físico - Mecánicas

A partir del análisis de contenido de los diferentes documentos recolectados, se logra identificar que la fabricación de BTC con la utilización de aditivos se realiza con el fin de mejorar ciertas propiedades de estos o para reemplazar agregados convencionales no tan amigables con el ambiente, pero con el propósito de que estos cumplan con los valores establecidos para la fabricación y mantengan las diferentes propiedades de los BTC. Se identifican siete propiedades como las principales ensayadas dentro de las diferentes investigaciones consultadas. Estas propiedades son:

1. Resistencia a la Compresión
2. Resistencia a la Flexión
3. Densidad
4. Conductividad Térmica
5. Absorción de Agua o Coeficiente de absorción
6. Erosión
7. Resistencia a la penetración

En los estudios comparativos analizados, se han identificado como las propiedades más comúnmente evaluadas a todos los aditivos: La resistencia a la compresión y a la flexión. El primero establece la capacidad que tiene el BTC estabilizado con aditivos de soportar una carga antes de deformarse (Mostafa & Uddin, 2015). La resistencia a la flexión, comprende el módulo de rotura, el cual es el esfuerzo máximo que muestran los ensayos de BTC con aditivos justo antes de que se agriete o se rompa.

8.1 Resistencia a la Compresión

De los artículos analizados, se encuentra que en 15 de estos realizaron ensayos para determinar en qué medida el aditivo influía en el comportamiento en cuanto a la resistencia compresión. Los resultados de las investigaciones se resumen en la Tabla 4, la cual presenta el parámetro, el tipo de aditivos y un resumen de los resultados que obtuvieron los autores. Para el caso de los aditivos de Hueso de aceituna molido y Cartón, vidrio, plástico y aserrín los autores a través de estos ensayos obtuvieron resultados negativos, ya que se presentó disminución en esta propiedad y por ende no alcanzaron los límites exigido por las normas establecidas (Djadouf et al., 2020) (Molina, 2016).

Tabla 4. *Comparativo de la resistencia a la compresión de los BTC*

Parámetro	Aditivos	Tipo de Aditivo	Resultados
Resistencia a la Compresión	6% de sulfonato de lignina adquirido como subproducto de la industria del cuero en Egipto	Natural	Los prismas construidos con mortero de tierra alcanzan resistencias aceptables que oscilan entre 0,46 y 0,74 MPa. Esto significa que un muro de carga de 4 m de longitud y 300 mm de espesor construido con CEBs y morteros a base de tierra podría soportar con seguridad una carga vertical de 551 kN, lo que significa que dicho muro podría soportar con seguridad las cargas transferidas desde una estructura de dos pisos
	Residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA)	Natural	Aumentó la resistencia a la compresión en seco (CS) de 1,1 MPa con 0% de RCC a 4,3 MPa con 10% de RCC y más; disminuyó la densidad aparente (ρ_b 1800-1475 kg/m ³) y aumentó la porosidad total (TP:35-45%). Esto dio lugar a la mejora del coeficiente de eficiencia estructural
	Fibra de yute 2%	Natural	Con la adición de fibra de yute, (i) la resistencia a la compresión, la deflexión, el tiempo de secado, la contracción y las grietas se redujeron, (ii) el módulo de ruptura aumentó ligeramente, y (iii) la carga al fallo fue casi la misma. La adición de 0,5% de fibra de yute fue suficiente para minimizar las grietas de secado. Los CEBs reforzados con fibra de yute se secaron en aproximadamente la mitad del tiempo que tardaron los que no tenían fibra.

Cartón, vidrio, plástico y aserrín.	Artificial	La dosificación con mejores resultados fue aquella con 80% de suelo derivado de cenizas volcánicas, 15% de residuo de concreto y 5% de cemento, siendo esta combinación porcentual la que arrojó mejores resultados de investigaciones anteriores con adición de ladrillo en lugar de escombros de concreto y cal en lugar de cemento
Gel de Origen Vegetal (GOV)	Natural	Resultados satisfactorios con el uso del GOV, mejorando en una de las muestras un 134%
Fibras de coco y aloe vera	Natural	La adición de fibras de coco aumenta la resistencia a la compresión del material, mostrando una mejora del 34% en comparación de los tradicionales
Hueso de aceituna molido	Natural	La sustitución de hasta el 30% de GOS muestra una disminución de la resistencia a la compresión en aproximadamente un 38,38%
Fibras de pelo de cerdo (PHF) y conchas de mejillón verde (GMS)	Natural	Se obtuvo un aumento del 67% en la resistencia a la compresión.
Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín	Natural	Las propiedades mecánicas y de absorción capilar del BTC mejoraron significativamente al añadir cemento con un contenido inferior al 2%.
Fibras de Banana	Natural	las probetas reforzadas con fibras de 50 mm se comportaron mejor, tanto en resistencia a la flexión como a la compresión, en comparación con las probetas no reforzadas. En comparación con las probetas no reforzadas, las probetas reforzadas con fibras de 50 mm al 0,35% en peso, fueron 94% más altas, en términos de resistencia a la compresión
Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio	Artificial	Los BTC estabilizados con geopolímero (contenido 15%) exhiben valores de compresión en seco muy por encima de los 4 MPa recomendados por la norma XP P13-901
Fibras de polipropileno	Artificial	La resistencia a compresión en 3 puntos mejoró un 22,5% con un contenido de fibra del 0,4%
Cal 4,5% escombros de concreto 10%	Artificial	La resistencia de BTC con porcentajes de cal al 4.5%, arcilla al 20% y escombros de concreto al 10%, alcanzó los mínimos exigidos por la Norma NTC-5324
Cemento Portland y cascarilla de arroz	Artificial y Natural	La resistencia de los ladrillos BTC con adiciones de cemento Portland y cascarilla de arroz alcanzaron un valor mayor a 1,500 psi.
Poliestireno expandido (EPS)	Artificial	Las resistencias a la compresión variaron de 1,12 a 2,25 MPa para las muestras de EPS
Tereftalato de Polietileno (PETS)	Artificial	PET tuvieron un rango de 1,23 a 2,23 MPa

Elaboración Propia

De los casos de mejora de esta propiedad se encontró al aumento en diferentes porcentajes de acuerdo al tipo de aditivo utilizado, siendo las fibras de banana, las fibras de yute, el gel de origen vegetal, el EPS, PET y el de cemento y cascarillas de arroz, los que presentaron una incidencia más favorable y mostraron un porcentaje superior al 100% de resistencia a la compresión en BTC estabilizados con estos aditivos en comparación con los bloques tradicionales (López , 2018) (Ramos & Lopez, 2019) (Dick et al., 2019), y los aditivos de sulfonato de lignina y el de contenido de cal y escombros, mantuvieron los límites requeridos por las normativas aplicables, donde no se evidencia una mejora significativa en la resistencia a la compresión, esto se debe a que el objetivo principal de estos estudios era el de buscar alternativas sostenibles de agregados en reemplazo de los convencionales (Darwish et al., 2020) (Alzate & Molina, 2019). En la Figura 12 se evidencia el comportamiento de aumento en porcentaje de la resistencia a la compresión por tipo de aditivo.

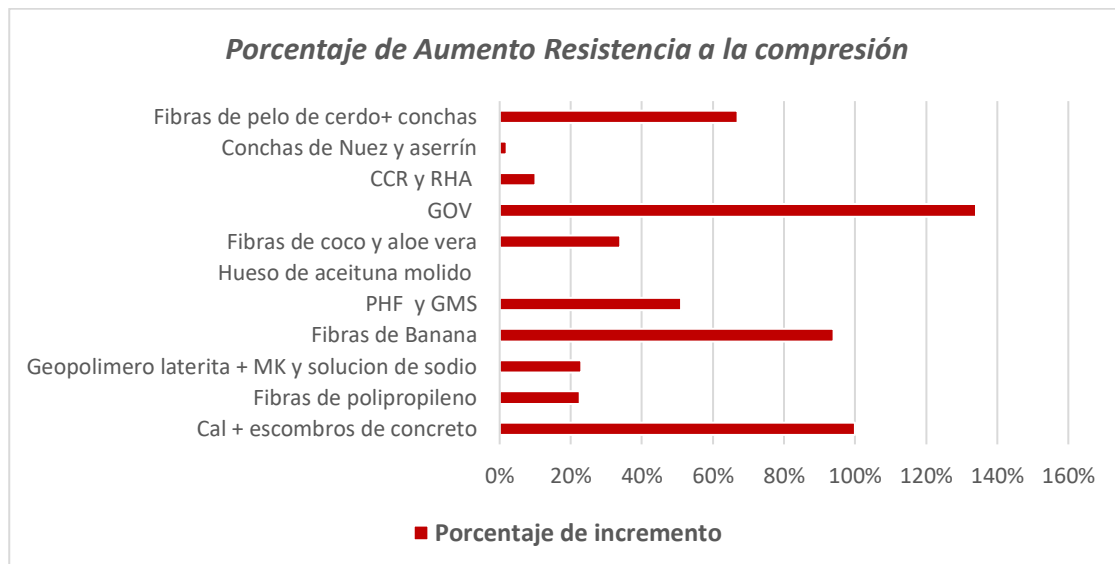


Figura 12. Porcentaje de Aumento de Resistencia a la Compresión por Tipo de Aditivo

8.2 Resistencia a la Flexión

En los resultados obtenidos en el análisis de los ensayos realizados en los estudios, en cuanto a la resistencia a la flexión de los diferentes BTC, En la tabla 5 donde se presenta el parámetro, el tipo de aditivo, el resumen de los resultados y el porcentaje de aumento logrado, se puede observar una resistencia mayor en porcentaje del 300% en la utilización como aditivo el gel de origen vegetal por encima de los demás (López , 2018). Por el contrario, el que presentó un menor desempeño fue la fibra de Yute, logrando solo un aumento del 7.2%. Se muestra entonces, una tendencia de incremento en cuanto a esta propiedad dentro de todos los estudios que realizaron ensayos para determinar las variaciones que la incorporación de aditivos genera en la propiedad analizada.

Tabla 5. Comparativo de la resistencia a la Flexión de los BTC

Parámetro	Aditivos	Tipo de Aditivo	Resultados	% Aumento
Resistencia a la Flexión	Fibra de yute 2%	Natural	La resistencia a la flexión con fibra de yute de 0,5 a 2% aumentó de 0,69 a 0,74 MPa, respectivamente.	7,20%
	Gel de Origen Vegetal (GOV)	Natural	Resultados favorables con el uso del GOV, optimizandouna de las muestras un 300% a flexión, superando en resistencia mecánica y entre otras características al BTC 5 citado en la norma UNE 41410: 2008.	300%
	Fibras de coco y aloe vera	Natural	Fibras de coco tiene una diferencia del 12% en la resistencia a la flexión en comparación de los tradicionales	12%
	Fibras de pelo de cerdo (PHF) y conchas de mejillón verde (GMS)	Natural	Se obtuvo un aumento del 62.6% en la resistencia a la flexión.	62,60%
	Fibras de Banana	Natural	Las probetas reforzadas con fibras de 50 mm se comportaron mejor, tanto en resistencia a la flexión como a la compresión, en comparación con las probetas no reforzadas. En comparación con las probetas no reforzadas, las probetas reforzadas con fibras de 50 mm al 0,35% en peso, fueron 94% más altas, en términos de resistencia a la flexión	94%

Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio	Artificial	Los BTCs estabilizados con geopolímero (contenido 10%) exhiben valores de compresión en seco muy por encima de los 4 MPa recomendados por la norma XP P13-901, en cuanto a la resistencia a la flexión los BTCs siguieron prácticamente la misma evolución que la resistencia a la compresión con, en particular, un aumento de estos parámetros mecánicos según la naturaleza y la tasa de estabilización	50%
Fibras de polipropileno	Artificial	En general, el rendimiento en flexión y la ductilidad mejoraron con la adición de fibras. La cantidad de fibras presentes influyó en la resistencia del bloque, la respuesta tras la fisuración y la deformabilidad.	22%

Elaboración Propia

Realizando la comparación de los mejores resultados obtenidos en las diferentes investigaciones analizadas en resistencia a la flexión compresión con respecto a todos los resultados, se logra observar que los resultados son inferiores en proporción, que, a pesar de brindar un aumento en esta propiedad, los resultados varían en gran cantidad porcentual uno del otro como se muestra en la Figura 13.

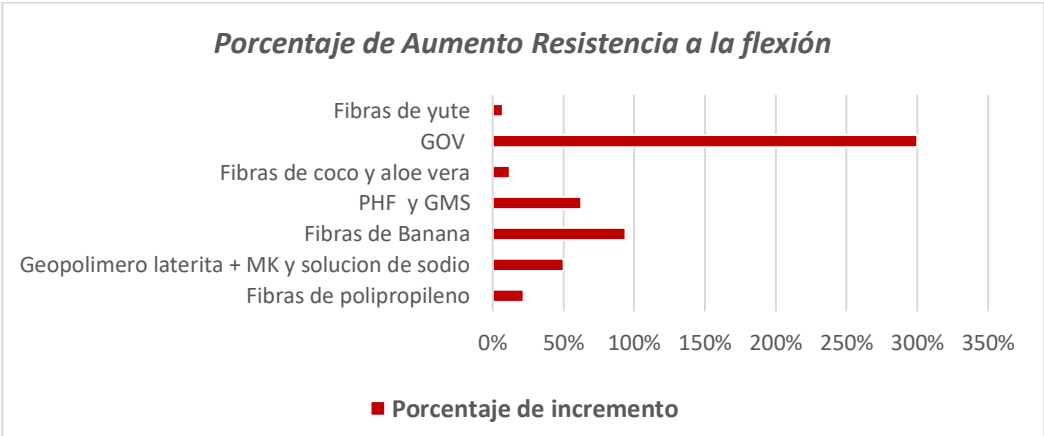


Figura 13. Porcentaje de Aumento de Resistencia a la Flexión por Tipo de Aditivo

8.3 Densidad

La densidad aparente con valores bajos dentro de los BTC implica la porosidad del bloque, buena distribución del aire y con buen drenaje. En este sentido se hallaron tres estudios que

realizaron pruebas a fin de determinar la porosidad aparente de estos bloques luego de haber realizado las diferentes incorporaciones de los aditivos (Tabla 6).

Tabla 6. *Comparativo Densidad Aparente de los BTC*

Parámetro	Aditivos	Tipo de Aditivo	Resultados
Densidad	Residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA)	Natural	Disminuyó la densidad aparente (ρ_b 1800-1475 kg/m ³), el estudio no refirió porcentaje exacto de variación de la densidad con respecto al BTC tradicional.
	Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Artificial	Dependiendo de la composición de la humedad, la densidad seca varió entre 1740 y 1810 kg/m ³
	Poliestireno expandido (EPS), tereftalato de polietileno (PET), papel y cartón	Artificial	Las densidades de los cilindros de EPS después del apisonado a los cilindros curados disminuyeron en un 11,3%

Elaboración Propia

Comparando los resultados de las variaciones de densidad dentro de los BTC se encontró que al incorporar el aditivo de tipo natural (residuo de carburo) esta propiedad disminuye en un 18% (Nshimiyimana et al., 2020), caso contrario con la investigaciones que incorporaron aditivos de tipo artificial que en un caso la disminución fue del 11.3% y en el otro no se obtuvo disminución sino al contrario esta propiedad paso de un 11% a un 14% esto atribuido a la distinta composición e hidráulica del ligante (Bogas et al., 2019) (Dick et al., 2019), se observa una diferencia, siendo los resultados de los aditivos naturales más positivos.

8.4 Conductividad Térmica

Cuanto mayor sea la conductividad térmica del BTC, mejor conducirá el calor, y cuanto menor sea la conductividad térmica, mayor será el aislamiento térmico del BTC. Teniendo en cuenta lo descrito en esta propiedad, se encuentra que, las muestras de BTC adicionadas con Hueso

de aceituna reduce la conductividad en más del 50% y el uso de fibras de coco y aloe presenta reducción de conductividad térmica en un 12%, mientras que el uso de Áridos finos reciclados de escombros de construcción, son los elementos que menos presentaron reducción, con tan solo un 10%. (Djadouf et al., 2020) (Velasco et al., 2020) (Bogas et al., 2019). En términos de tipo de aditivo, se puede decir que muestran un mejor rendimiento los BTC donde en las mezclas se han agregado aditivos de tipo natural. En la Tabla 7, se describen los resultados de cada tipo de aditivo utilizado.

Tabla 7. Comparativo Conductividad Térmica de los BTC

Parámetro	Aditivos	Tipo de Aditivo	Resultados
Conductividad Térmica	Fibras de coco y aloe vera	Natural	Reduce la conductividad térmica del material en un 12%,
	Hueso de aceituna molido	Natural	La sustitución de hasta el 30% de GOS muestra una disminución a la conductividad térmica en 50,64%,
	Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Artificial	La estabilización del cemento es esencial para producir BTC resistentes al agua. Los bloques no estabilizados mostraron el mejor rendimiento, independientemente del nivel de humedad del CEB, teniendo un 10% menos de conductividad térmica que las mezclas estabilizadas.

Elaboración Propia

8.5 Absorción de Agua o Coeficiente de absorción

El coeficiente de absorción de agua es el porcentaje que aumenta el peso de una probeta del material cuando se satura con agua. Con respecto a los resultados presentados en la Tabla 8, se puede decir que de 18 estudios que se analizaron, solo 4 de estos hacen referencia específica a esta propiedad, en el caso de uso de polvo de argán de conchas de nuez y aserrín los autores especifican que para garantizar la mejora del coeficiente de absorción es necesario agregar cemento a la mezcla (2%) (Mohamed et al., 2018), de igual manera para la incorporación de áridos finos reciclados (Bogas et al., 2019).

Tabla 8. Comparativo Coeficiente de Absorción de los BTC

Parámetro	Aditivos	Tipo de Estabilizante	Resultados
Absorción de Agua o Coeficiente de Absorción	Caliza, arenisca y pórfido	Natural	La adición de agregados a las muestras de suelo reduce la absorción de agua, la contracción por secado de los bloques disminuye con una mayor abundancia de agregados. Los resultados no presentan cifras ni porcentajes de variación específicos.
	Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Artificial	La estabilización del cemento es esencial para producir BTC resistentes al agua. Los bloques no adicionados mostraron el mejor rendimiento, independientemente del nivel de humedad del BTC, pero sin embargo la variación obtenida respecto al BTC tradicional no fue significativa según el autor.
	Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín	Natural	Las propiedades mecánicas y de absorción capilar del BTC mejoraron significativamente al añadir cemento con un contenido inferior al 2%.
	Emulsión asfáltica en frío	Artificial	Los BTC adicionados con un 50 % de emulsión asfáltica presentan una disminución en absorción del 43%

Elaboración Propia

8.6 Erosión y Resistencia a la Penetración

El análisis realizado respecto a estas propiedades no es muy diciente, esto debido a que los documentos estudiados no brindan cifras específicas respecto a los valores de variación en cuanto a esta propiedad dentro de sus estudios. En los 4 documentos hacen mención de que al incorporar estos aditivos a las mezclas para la fabricación de BTC este presenta mejoras en estas dos propiedades (Tabla 9).

Tabla 9. Comparativo Erosión y Resistencia de penetración de los BTC

Parámetro	Aditivos	Tipo de Estabilizante	Resultados
Erosión y Resistencia a la Penetración	Fibras de coco y aloe vera	Natural	La adición del 0,5% de fibras de coco disminuye el hinchamiento en un 2% con el agua. Según el documento, la erosión y resistencia a la penetración fue del mismo nivel que la del BTC tradicional.
	Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Artificial	La incidencia del aditivo en esta propiedad no fue relevante, por lo que no reportaron cifras específicas de variación
	Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín	Natural	Las propiedades mecánicas y de absorción capilar del BTC mejoraron significativamente al añadir cemento con un contenido inferior al 2%.
	Emulsión asfáltica en frío	Artificial	. No reportaron porcentajes de variación respecto a la muestra de BTC.

Elaboración Propia

9 Clasificación de aditivos naturales y artificiales para la fabricación de BTC con base en las propiedades físico - mecánicas

Para evaluar la calidad de los resultados obtenidos en cuanto a mejoras o reemplazo se deben considerar varios aspectos, y es que dada la gran diversidad de aditivos utilizados existen algunos que no son de fácil adquisición, se podrían incrementar costos de transporte y/o dependen de la región de donde se realizó el estudio y que pueden estar enfocados en solucionar problemáticas específicas.

Una vez establecidas las diferentes propiedades en las cuales tiene incidencia la incorporación de aditivos en la fabricación de BTC, se presentan una serie de parámetros con los cuales se busca brindar una guía para la elección de materiales y/o aditivos en la fabricación de BTC, y con ello incentivar la utilización de este material como método constructivo actual. Para lo cual a continuación se presentarán los criterios identificados en el capítulo anterior, clasificados por la naturaleza del aditivo, tanto natural como artificial, buscando que sirvan como una guía orientativa para su aplicación en Colombia, con base en los resultados que reportaron los diferentes autores en cada una de las investigaciones consultadas.

9.1 Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Natural

En la Tabla 10 se presentan los parámetros aplicables para cada propiedad, de una manera específica para la elección de aditivos de tipo natural utilizables en la fabricación de BTC. De la misma forma se especifica la manera adecuada de la incorporación de estos o su dosificación dentro de los BTC, según los resultados que se obtuvieron de cada investigación y la dosificación con la cual los autores lograron dichos resultados.

Tabla 10. Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Natural

Aditivos	Parámetro	Resultado Obtenido	Dosificación Empleada y/o Forma de utilización
Residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA)	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 74% respecto a los BTC convencionales	Cantidad de 16:4% de CCR: RHA, Los BTCs no deben ser expuestos a un ambiente húmedo, deben cubrirse utilizando sistemas de revestimiento superficial o de protección arquitectónica. El material tierra utilizado fue de tipo arcilloso, utilizado en proporción de 25% en peso del CCR
	Disminución de la densidad	Disminuye la densidad aparente en un 18%	
Gel de Origen Vegetal (GOV)	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 134% respecto a los BTC convencionales	Contenido optimo: Tierra +GOV AL 22% de humedad. El gel se obtiene mezclando almidón de arroz (1 parte) y agua (5 partes) dejando hervir la mezcla hasta obtener un líquido viscoso.
	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 300% respecto a los BTC convencionales	
Fibras de Banana	Proporcionan mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 77% respecto a los BTC convencionales	Los BTC se forman utilizando una mezcla (en peso) de arena (35%), agregado de 5 mm (30%), arcilla (35%), cemento (7%) y agua (10%). Las fibras de banana deben ser tratadas previamente con NaOH.
	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 94% respecto a los BTC convencionales	
Cemento Portland y cascarilla de arroz	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 150% respecto a los BTC convencionales	BTC ideal debe poseer un aditivo estructurante (elemento que desempeñe una función cementante o de unión intra- partículas) como ser el cemento Portland o cascarilla de arroz. No presentan la dosificación usada para esta mejoría.
Fibras de pelo de cerdo (PHF) y conchas de mejillón verde (GMS)	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 62,6% respecto a los BTC convencionales	Proporción de mezcla que idóneas es 10%GMS-0,75%PHF
	Disponibilidad	Teniendo en cuenta el tipo de material debe ser evaluada la disponibilidad y proximidad para la adquisición de los mismos	
Fibras de coco	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 12% respecto a los BTC convencionales	Adición de 0.5% de fibras de coco.

	Menor Conductividad Térmica	Disminuye la conductividad térmica en un 12%, respecto a los BTC convencionales	La fibra de coco debe ser cortada en longitud de 0,1 cm y se añade en forma de cuerda de 2 cm con un peso óptimo de 0,5%. El suelo utilizado en esta mezcla es suelo limoso y arcilloso.
	Hinchamiento	Disminuye el hinchamiento en un 2% con el agua	
	Disponibilidad	Teniendo en cuenta el tipo de material debe ser evaluada la disponibilidad y proximidad de zonas costeras para la adquisición de los mismos	
Hueso de aceituna molido	Menor Conductividad Térmica	Disminuye la conductividad térmica en un 50,64%, respecto a los BTC convencionales	Se agrega como un reemplazo parcial de la arcilla en una proporción óptima del 30%
Caliza, arenisca y pórfido	Menor Absorción de Agua	Reduce la absorción de agua	El porcentaje en volumen de agregado óptimo es de 20%, la cantidad de agua agregada es el 12% de la masa total de suelo en la mezcla.
	Disminuye la Erosión y Resistencia a la Penetración	Reduce la Erosión y Resistencia a la Penetración	
	Disponibilidad y Transporte	Teniendo en cuenta el tipo de material de tipo mineral debe ser evaluada la disponibilidad, los costos asociados y proximidad para la adquisición de los mismos	
Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín	Menor Absorción de Agua	Absorción del BTC mejora significativamente	Contenidos de carga óptimo inferior al 2%, con una estabilización agregando 5% de cemento
	Disminuye la Erosión y Resistencia a la Penetración	Reduce la Erosión y Resistencia a la Penetración	
	Disponibilidad y Transporte	Teniendo en cuenta el tipo de material de tipo mineral debe ser evaluada la disponibilidad, los costos asociados y proximidad para la adquisición de los mismos	

Elaboración Propia

En los parámetros de selección de aditivos de tipo natural presentados en la Tabla 10, se destacan los materiales que presentan aumentos de más del 70% en resistencia a la compresión y a la flexión, como son los residuos de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA), el Gel de Origen Vegetal (GOV), las fibras de banana y el cemento Portland y cascarilla de arroz, de estos

aditivos, para ser aplicados en el país, se debe tener en cuenta disponibilidad, costos y facilidad de adquisición.

9.2 Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Artificial

En la Tabla 11 se presentan los parámetros aplicables para cada propiedad de una manera específica para la elección de aditivos de tipo artificial en la fabricación de BTC. De igual manera se especifica la forma adecuada de la incorporación de estos o su dosificación dentro de los BTC, según los resultados de cada autor y los resultados que se pueden obtener.

Tabla 11. *Parámetros de Selección de Aditivos de Tipo Artificial*

Aditivos	Parámetro	Resultado Obtenido	Dosificación Empleada y/o Forma de utilización
Poliestireno expandido (EPS)	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 101% respecto a los BTC convencionales	Los encofrados se retiran 9 días después de la preparación y se almacenan en estanterías que proporcionen movimiento de aire hasta el día 20
	Disminución de la densidad	Disminuye la densidad aparente en un 11,3%	
Tereftalato de Polietileno (PETS)	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 100% respecto a los BTC convencionales	
	Disminución de la densidad	Disminuye la densidad aparente en un 11,3%	
Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 50% respecto a los BTC convencionales	Homogenizar la mezcla seca (laterita + metacaolín) durante 10 minutos, se añade el agua y la solución alcalina en una proporción de masa (solución alcalina/metacaolín) de 0,8.
	Disponibilidad y Transporte	Teniendo en cuenta el tipo de material de tipo mineral debe ser evaluada la disponibilidad, los costos asociados y proximidad para la adquisición de los mismos	
Fibras de polipropileno	Mayor resistencia a la Flexión	Aumenta en un 22% respecto a los BTC convencionales	No superar el 0,6% de contenido en peso de fibra de polipropileno para la producción de BTC. Un rango ideal de fibras de polipropileno para añadir a

	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 22,5% respecto a los BTC convencionales	las matrices de BTC está entre el 0,4% y el 0,6%.
Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.	Mayor resistencia a la compresión	Aumenta en un 67 % respecto a los BTC convencionales	Un tamaño máximo de partícula de 2 mm está compuesto principalmente por hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento. 4–8% cemento como estabilizante
	Aumento de la densidad	Varía entre 1740 y 1810 kg/m ³	
	Menor Conductividad Térmica	Disminuye la conductividad térmica en un 10%, respecto a los BTC convencionales	
	Menor Absorción de Agua	La estabilización con cemento es esencial para producir BTC resistentes al agua	
Emulsión asfáltica en frío	Menor Penetración de Agua	Disminuye en un 43% respecto a los BTC convencionales	Proporción de 76 % del peso total de tierra, 8 % de cemento y 16 % de agua, se adiciona la emulsión asfáltica a la mezcla en proporción de 50 % respecto al peso del agua

Elaboración Propia

Claramente, al revisar los aditivos artificiales, se denota que los elementos con mejores resultados de variaciones positivas en las propiedades de compresión y flexión, son el poliestireno expandido (EPS) y Tereftalato de Polietileno (PETS), dos residuos que en Colombia son altamente aprovechables, pues en el país se están generando 1 millón de toneladas, de las cuales solo se recicla el 7% y el 93% va a los rellenos sanitarios (Cámara de Comercio de Bogotá, 2019), por tanto, su utilización sería un buen método de contribución al mejoramiento de esta problemática.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los documentos bibliográficos revisados, se concluye que es una temática que está en auge y actualmente se están presentando variadas investigaciones que proporcionan prácticas de incorporación de nuevos materiales para la fabricación de BTC, aunque en algunos casos estas no pueden ser adoptadas, debido a la dificultad de adquisición o disponibilidad del material usado.

En la realización de la revisión documental, se lograron obtener de las bases de datos 72 artículos y documentos, a los cuales les fueron aplicados los criterios de selección, obteniendo un total de 18 documentos para efectuar el análisis y el desarrollo de los objetivos propuestos.

Al realizar la identificación de los componentes y/o aditivos utilizados para la fabricación de BTC a nivel mundial, se halló, que un 56% de los documentos utilizó aditivos de tipo natural, con elementos como huesos de aceituna, conchas de nuez, fibras de banana, fibras de coco y aloe vera entre otros, el 39% usó aditivos de tipo artificial, entre los cuales se destacaron por sus resultados, el Poliestireno expandido (EPS) y el Tereftalato de Polietileno (PETS), y el 6% restante combinó tanto aditivos naturales como artificiales.

En cuanto a los aditivos identificados para su uso en el BTC, se puede decir que, algunos fueron seleccionados por los autores en pro de generar iniciativas de disminución de los impactos ambientales generados por el sector de la construcción, sobre todo los estudios que en sus mezclas incluyeron fibras o algún residuo artificial, como los RDC, PET Y EPS reciclado; estos últimos destacan porque en términos de mejora en la propiedad de resistencia a la compresión de los BTC presentaron resultados superiores al 100%.

El análisis comparativo que se observa en el capítulo 8, se desarrolló con base en siete propiedades, las cuales fueron la Resistencia a la Compresión, Resistencia a la Flexión,

Densidad, Conductividad Térmica, Absorción de Agua o Coeficiente de absorción, Erosión y Resistencia a la penetración, que eran las propiedades comúnmente evaluadas en las diferentes investigaciones, donde predominaron los análisis de resistencia a compresión y a la flexión, pudiéndose determinar en 16 y 7 estudios respectivamente.

Dentro los resultados más significativos en el comparativo, se destacan las variaciones obtenidas de la resistencia a la compresión de aditivos elaborados a partir de cemento y cascarillas de arroz, las fibras de banana, fibras de yute y fibras de polipropileno que reportaron porcentajes de aumento del más del 100% de resistencia con respecto al BTC tradicional.

Se observa que la resistencia a la compresión dentro de los aditivos naturales, los que presentaron una mejor incidencia fueron el gel de origen vegetal y las fibras de banana, en los cuales, en los resultados presentados por los autores, la resistencia pudo alcanzar un aumento del 134% y 94% respectivamente, comparados con el BTC tradicional.

En el grupo de los aditivos artificiales, los materiales que presentaron mejores resultados fueron los residuos PETS y EPS, alcanzando cerca del 100% de aumento con relación al BTC tradicional.

Con respecto a la propiedad de resistencia a la flexión, se resaltan los resultados positivos obtenidos con el aditivo de gel de origen vegetal, que presentó un 300% de aumento, siendo el aditivo de menor logró en esta propiedad, la fibra de Yute, que logró solo un aumento del 7.2%. En contraste, la mayoría de los elementos identificados presentaron disminución en los valores de densidad.

En relación a las mejoras en la propiedad a la flexión del grupo de aditivos naturales, se halló que el de mejor respuesta fue el gel de origen vegetal obteniendo un aumento del

300%, y dentro del grupo de los aditivos artificiales, fue el Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio con un 50%.

El desarrollo del capítulo 9 sobre el marco metodológico para la selección de Aditivos en la fabricación de BTC, se estructuró con base en los parámetros analizados en el comparativo, especificando la manera adecuada de incorporar los aditivos y buscando resaltar la dosificación empleada dentro de los BTC, según los resultados que se obtuvieron de cada investigación y la dosificación con la cual los autores lograron dichos resultados. En la información presentada en las tablas, se incluyeron aquellos aditivos que presentaron resultados de mayor significancia.

Para el conjunto de aditivos naturales, se destacaron los materiales que presentaron aumentos superiores al 70% en las propiedades de resistencia a la compresión y a la flexión, como fueron los residuos de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA), el Gel de Origen Vegetal (GOV), las fibras de banana y el cemento Portland y cascarilla de arroz, señalando que para ser usados en el territorio colombiano, se deben analizar previamente factores como la disponibilidad y costos de adquisición.

En tanto que, en la reseña de los aditivos artificiales, se destacaron los resultados obtenidos por los autores en la utilización de residuos de plástico y como esta opción sería de gran validez para Colombia, pues actualmente la problemática relacionada con este tipo de desechos va en aumento cada año.

Se pudo evidenciar, que en la actualidad no se encuentra disponible para el mercado latinoamericano un marco metodológico que brinde un incentivo y apoyo para fabricar BTC a través de innovaciones que apunten a la adición de materiales que presenten mejoras en las

propiedades físico – mecánicas, y a su vez reemplacen agregados convencionales que generan impactos negativos al ambiente; luego de haber realizado la exploración de la literatura existente, no se hallaron documentos que puedan ser proporcionados para las nuevas construcciones con BTC. Este proyecto buscó dar una solución práctica y sencilla a esta problemática, que pudiera ser útil por toda la comunidad tanto educativa como profesional en el ámbito de las construcciones sostenibles.

Finalmente, se resalta la importancia del uso del BTC como una alternativa viable para que la industria constructiva realice aportes positivos a la economía sostenible de Colombia y se transforme en una industria amigable y favorecedora del medio ambiente, señalando que aún se requieren en el país mayores estudios y apoyos tanto académicos, como gubernamentales y privados que incentiven el uso de este material constructivo.

Bibliografía

- Aburto, J., & Bravo, E. (2018). *EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN TÉCNICA DE LAS PROPIEDADES DEL ADOBE, TÍPICO CONVENCIONAL Y EL REFORZADO CON CENIZAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN EL CC. PP DE TAMBAR - MORO*. Universidad Nacional Del Santa.
- Alvarado, M. (2015). *BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA ESTABILIZADOS CON AGLOMERANTE NATURAL CP*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD.
- Alvarez Ordoñez, S. Y. (2018). *COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNIDADES Y PRISMAS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ESTABILIZADA CON CEMENTO Y GEOPOLÍMERO DE PUZOLANA*. Peru. Retrieved from <https://search.proquest.com/openview/525189216ec07138fdc50e6626f7a2cc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- Alzate, A., & Molina, G. (2019). Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles, (April).
- Arteaga, K., Medina, Ó., & Gutierrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo, *20*(31), 55–68.
- Aureka. (2020). Prensa Auram 3000. Retrieved October 15, 2020, from <https://aureka.com/auram-press-3000/>
- Barrera, L., & Buitrago, F. (2014). *FABRICACIÓN Y REFORZAMIENTO DE BLOQUES DE TIERRA COMPACTADA (BTC) EN BOGOTA BAJO LA REUTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE LA POLI SOMBRA*.
- Bogas, J. A., Silva, M., & Glória Gomes, M. (2019). Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates. *International Journal of*

- Architectural Heritage*, 13(4), 569–584. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442891>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2019). *Colombia entierra anualmente 2 billones de pesos en plásticos que se pueden reciclar*. Obtenido de Cluster Bogotá: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Comunicacion-Grafica/Noticias/2019/Julio-2019/Colombia-entierra-anualmente-2-billones-de-pesos-en-plasticos-que-se-pueden-reciclar#:~:text=En%20Colombia%2C%20el%20sector%20pl%C3%A1stico,%20son%20cerca%20del%20>
- CEMAT. (1987). MÁQUINA PARA HACER BLOQUES HUECOS, 0–1.
- Darío Cañola, H., 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>
- Darwish, M., Khedr, S., Halim, F., & Khalil, R. (2020). Novel Simplified Construction of Walls and Prisms Made of CEBs and Earth-Based Mortar. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(4), 04020041. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000525](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000525)
- Dick, K. J., Pieniuta, J., Arnold, K., Logan, P., & Krahn, T. J. (2019). *The Effect of Incorporating Recycled Materials on the Load–Deformation Behaviour of Earth for Buildings*. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5883-8_25
- Djadouf, S., Chelouah, N., & Tahakourt, A. (2020). The influence of the addition of ground olive stone on the thermo-mechanical behavior of compressed earth blocks. *Matériaux & Techniques*, 108(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/mattech/2020023>
- Donkor, P., & Obonyo, E. (2015). Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers. *Materials and Design*, 83, 813–819. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.017>

- eba. (2017). Construir una casa con BTC. Retrieved from <https://ebasl.es/construir-una-casa-con-btc/>
- Echeverry, J., & Jaramillo, C. (2017). Elaboración De (Btc) Bloques De Tierra Comprimida Con Suelos Derivados De Cenizas Volcánicas Y Materiales Alternativos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- GALÍNDEZ, F. (2009). Aportación al ahorro energético : bloques de tierra comprimida sin adición de cemento (BTC).
- Gómez, E., Navas, D. F., Aponte, G., & Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA (Colombia)*, 81(184), 158–163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Guzmán, Samantha. (2018). Lo que debes saber de la Gran Muralla. *El Universal*. Retrieved from <https://www.eluniversal.com.mx/destinos/gran-muralla-china-lo-que-debes-saber-sobre-actividades-rarezas-y-tragedias>
- Guzmán, Sebastián, & Iñiguez, M. (2016). Election methodology of chemical stabilizers for earth blocks. *Estoa*, 5(9), 151–159. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.12>
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodologia de la Investigación*. (MacGraw Hill Education, Ed.) (6th ed., Vol. 4).
- Lavie Arsène, M. I., Frédéric, C., & Nathalie, F. (2020). Improvement of lifetime of compressed earth blocks by adding limestone, sandstone and porphyry aggregates. *Journal of Building Engineering*, 29(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101155>
- Lejano, B. A., Gabaldon, R. J., Go, P. J., Juan, C. G., & Wong, M. (2019). Compressed earth

- blocks with powdered green mussel shell as partial binder and pig hair as fiber reinforcement. *International Journal of GEOMATE*, 16(57), 137–143. <https://doi.org/10.21660/2019.57.8138>
- López Dávalos, A. (2018). *Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorada con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUYA.
- Medina, K. T., Medina, O. H., & Gutierrez, O. J. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, 20(31), 55–68.
- Medineckiene, M., Turskis, Z., & Zavadskas, E. (2010). Sustainable Construction Taking into Account the Building Impact on the Environment. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND LANDSCAPE MANAGEMENT.*, 18, 118–127. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2010.14>
- Mohamed, T., Hajar, A., Hassan, E., & M'bark, F. (2018). Thermal, mechanical and physical behavior of compressed earth blocks loads by natural wastes. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(6), 1353–1368.
- Molina, G. (2016). *BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CONCRETO Y CEMENTO COMO SOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS NO ESTRUCTURALES*. Universidad Libre de Pereira.
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2015). Effect of banana fibers on the compressive and flexural strength of compressed earth blocks. *Buildings*, 5(1), 282–296. <https://doi.org/10.3390/buildings5010282>
- Nshimiyimana, P., Messan, A., & Courard, L. (2020). Physico-mechanical and hygro-thermal properties of compressed earth blocks stabilized with industrial and agro by-product binders. *Materials*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/ma13173769>

- Omar Sore, S., Messan, A., Prud'homme, E., Escadeillas, G., & Tsobnang, F. (2018). Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. *Construction and Building Materials*, 165, 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio.
- Puerta Montiel, I. (2017). BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO, BTC: El ladrillo ecológico. Retrieved from <http://construyediferente.com/bloque-tierra-comprimido/>
- Ramos, B. M., & Lopez, J. C. (2019). El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental. *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 8(2), 88–93. <https://doi.org/10.5377/innovare.v8i2.9061>
- Vargas Rubiano, H., & Vargas Caicedo, H. (2007). El Terraconcreto en Colombia: Apuntes para su historia. *Dearq*, (1), 120–145. <https://doi.org/10.18389/dearq1.2007.14>
- Vazquez, M., Guzman, D., & Iñiguez, J. (2015). *COMPARACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOBES TRADICIONALES Y BTC ESTABILIZADOS QUÍMICAMENTE*. Universidad de Cuenca.
- Velasco-Aquino, A. A., Espuna-Mujica, J. A., Perez-Sanchez, J. F., Zuñiga-Leal, C., Palacio-Perez, A., & Suarez-Dominguez, E. J. (2020). Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime. *Journal of Engineering, Design and Technology*. <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2020-0055>
- Vilcas, C. (2019). *Comparación de los resultados de ensayos físic-mecánicos realizados a bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición en Sudamerica*. Universidad Continental.
- Zardari, M. A., Lakho, N. A., & Amur, M. A. (2020). Structural behaviour of large size compressed

earth blocks stabilized with jute fiber. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 8(2), 60–72.