

Análisis de costos del sistema constructivo con bloques de tierra comprimida.

Camilo Andrés Arguello Gómez
ID: 000307723

Edwin Fernando Ruiz Gómez
ID: 000307460

Proyecto de grado presentado para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

Director:
Carlos Fernando Rivera Peña



137194718199

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

Análisis de costos del sistema constructivo con bloques de tierra comprimida.

Camilo Andrés Arguello Gómez
ID: 000307723

Edwin Fernando Ruiz Gómez
ID: 000307460

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2021

Tabla de contenido

1	Planteamiento y Delimitación del Problema	10
2	Antecedentes	11
3	Justificación	13
4	Objetivos.....	15
4.1	<i>Objetivo General</i>	15
4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	15
5	Marco Teórico.....	15
5.1	<i>Construcción Con tierra: Su Historia</i>	15
5.1.1	Mejoras en el Material Tierra	16
5.2	<i>Bloques de Tierra Comprimida</i>	17
5.2.1	Formas y Dimensiones de los BTC.....	17
5.2.2	Materiales para la Fabricación de BTC	17
5.2.3	Proceso de Fabricación del BTC.....	18
5.2.4	Tipos de BTC.....	19
6	Metodología de la Investigación	22
6.1	<i>Tipo de Investigación</i>	22
6.2	<i>Población</i>	22
6.2.1	Tamaño de la Población	22
6.2.2	Muestra	22

6.3	<i>Revisión de literatura</i>	22
6.4	<i>Fases Metodologicas</i>	23
7	Revisión Bibliográfica.....	25
7.1	<i>Título de la Revisión Bibliográfica</i>	25
7.2	<i>Objetivo de la Revisión Bibliográfica</i>	25
7.3	<i>Diseño y Estrategia de Búsqueda</i>	25
7.3.1	Terminología Clave.....	25
7.3.2	Criterios de Inclusión de Exclusión	25
7.4	<i>Puesta en Marcha de la Revisión</i>	26
7.5	<i>Resultados de la Búsqueda y Revisión</i>	26
7.5.1	Ecuación De Búsqueda.....	26
7.5.2	Aplicación de Criterios.....	27
8	Análisis e interpretación de Resultados: Técnicas o Alternativas para la Fabricación de BTC	27
8.1	<i>Tendencias de las Publicaciones por Año</i>	27
8.2	<i>Distribución Geográfica</i>	28
8.3	<i>Diferentes Técnicas Identificadas</i>	29
8.3.1	Alternativas de Fabricación	37
8.4	<i>Analisis Comparativo de los costos de las diferentes técnicas de fabricación de BTC</i> 42	
9	Conclusiones	50
10	Bibliografía.....	52
11	Anexos	57
12	Apéndices	58

Lista de Graficas

Grafica 1. Metodología de La investigación.....	24
Grafica 2. Proceso de Revisión Bibliográfica,.....	27
Grafica 3. Tendencia de Publicación Por Años	28
<i>Grafica 4.</i> Publicación Por País	29
Grafica 5. BTC Vs Costo Unitario	47

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Características de los Estudios Incluidos</i>	29
Tabla 2. <i>Productividad de la prensa según su tipo.</i>	37
Tabla 3. <i>Rubros de Mano de Obra</i>	38
Tabla 4 <i>Costos extracción de material</i>	38
Tabla 5. <i>Costos por Unidad Materiales</i>	39
Tabla 6. <i>Costo de Estabilizantes más Usados</i>	40
Tabla 7. <i>Estabilizantes Físicos Y sus Costos por Unidad</i>	40
Tabla 8. <i>Estabilizantes Físicos-Químicos Y sus Costos por Unidad</i>	41
Tabla 9. <i>Análisis de Comparativo de Costos</i>	43

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Análisis de costos del sistema constructivo con bloques de tierra comprimida.

AUTOR(ES): Camilo Andrés Arguello Gómez
Edwin Fernando Ruiz Gómez

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Carlos Fernando Rivera Peña

RESUMEN

La presente investigación busca contribuir en el desarrollo de proyectos que incorporen en sus procesos constructivos el BTC, se inicia con la observación de alternativas para la construcción de estos bloques de tierra desarrolladas por diferentes instituciones e investigadores a nivel mundial, y finaliza con determinación de una alternativa económicamente sostenible que provee a las diferentes partes interesadas una guía de para la incorporación de este material en sus proyectos constructivos futuros. Se concluye que las construcciones con BTC presentan un ahorro significativo en los costos directos de la construcción además de las diferentes ventajas que aporta el material como la regulación de la humedad del ambiente, almacenamiento de calor, absorbe agentes contaminantes del aire y es un material natural, reutilizable y con menos costos de producción.

PALABRAS

CLAVE: Bloque de Tierra Comprimido, BTC, Costos, Alternativas, Técnicas, Fabricación.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Cost analysis of the construction system with compressed earth blocks

AUTHOR(S): Camilo Andrés Arguello Gómez
Edwin Fernando Ruiz Gómez

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Carlos Fernando Rivera Peña

ABSTRACT

This research seeks to contribute to the development of projects that incorporate BTC in their construction processes. It begins with the observation of alternatives for the construction of these earth blocks developed by different institutions and researchers worldwide, and ends with the determination of an economically sustainable alternative that provides the different interested parties with a guide for the incorporation of this material in their future construction projects. It is concluded that BTC constructions present significant savings in direct construction costs in addition to the different advantages provided by the material, such as humidity regulation, heat storage, absorption of air pollutants, and it is a natural, reusable material with lower production costs.

KEYWORD:

Compressed Ground Block, BTC, Costs, Alternatives, Techniques, Manufacturing

Introducción

Según Amorós García, 2011 fuente citada en (Ramos & Lopez, 2019) Una alta emisión del gas invernadero dióxido de carbono (CO₂) surge del proceso de fabricación del ladrillo (cocción a altas temperaturas en hornos) elaborados en forma artesanal (p.88). Hoy día la rama constructiva está más enfocada en poder reducir el impacto ambiental que su actividad económica produce, las altas emisiones de CO₂ no solo deben ser medidas durante el proceso inicial de construcción, sino también se deben tener en cuenta los diversos factores que esto engloba como el consumo de energía en todos los procesos conferidos a la duración de su propósito y el proceso de descomposición final de estos materiales (Ramos & Lopez, 2019).

Partiendo de lo anterior se desarrolla una investigación donde el objetivo es identificar diferentes alternativas de fabricación de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) desarrolladas para los procesos o sistemas constructivos a nivel mundial, para los cual se hizo una revisión exhaustiva en la cual se buscaba identificar estas técnicas, con el objetivo analizar los costos asociados a este sistema constructivo y así poder determinar una alternativa económica y sostenible medioambientalmente para la producción de estos. Este proyecto de investigación inició con la revisión bibliográfica de documentos que aporten información relevante sobre alternativas o técnicas de fabricación de BTCs, seguida de la organización y el análisis de las mismas. Posteriormente se realizó un comparativo de estas prácticas y los costos que estas acarreaban. Finalmente, se brinda una alternativa de fabricación de BTCs que conlleva costos bajos y que aporta beneficios al medioambiente con la reutilización de materiales constructivos de desecho

1 Planteamiento y Delimitación del Problema

En el Caribe y Latinoamérica en los últimos años se ha venido incrementado la población en las ciudades, creando una concentración cercana al 81% de la población total registrada, en 2018 de 641.375.515 habitantes. En Colombia, en el Censo del 2018 realizado por el DANE de 48.258.494 habitantes, el 84.2% vive en cabeceras municipales y centros poblados, fenómeno debido al desplazamiento de la vida rural al contexto urbano (Banco Interamericano de desarrollo, 2018), esto ha generado que la demanda de vivienda y de servicios aumente, poniendo en riesgo la obtención de recursos para el desarrollo integral de la población. En el año 2019, la industria de la construcción colombiana represento 2.8% del Producto Interno Bruto (PIB) (DANE, 2020), pero se estima que en Colombia se deben construir 3.2 millones de viviendas en la siguiente década, para poder cubrir el déficit habitacional urbano que existe de 586 mil hogares lo que es equivalente al 5.2% de la población y el crecimiento poblacional (Minvivienda, 2018).

Ante este crecimiento, el sector de la construcción ha venido desarrollándose bajo modelos poco sustentables y de alto impacto ambiental. La industria de la construcción es uno de los sectores que más gases de efecto invernadero genera. En el año 2010 el Inventario nacional de gases de efecto invernadero en Colombia, reportaba 5.7 Mton CO₂eq y para el 2012 se dio un incremento que llego hasta el 6.2 Mton CO₂eq (IDEAM et al, 2016), se estima que la emisión de gases efecto invernadero para el año 2030 alcance los 65 Gt CO₂eq (United Nations Environment Programme, 2018) a nivel mundial y, en Colombia pueden llegar a ser de 335 Mton de CO₂eq (iNDC, 2018), por lo que, en miras

de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, ODS, de las Naciones Unidas deben establecerse nuevos modelos que permitan el desarrollo sostenible en las comunidades.

Teniendo en cuenta el impacto medioambiental producido por el sector de la construcción surgen los bloques de tierra comprimida como una opción potencial en reemplazo de materiales como el cemento y otros generadores de estos impactos ambientales irreversibles, ya que se trata de una técnica constructiva de bajo costo, un componente de fácil localización y obtención en comparación de las convencionales; sin embargo se hace necesario analizar y conocer los costos que este tipo de material trae consigo para la fabricación de viviendas y poder establecer a partir de un comparativo con las técnicas existentes de construcción con BTC la viabilidad de su uso. Por consiguiente, la investigación nos lleva a plantearnos la siguiente pregunta:

¿Se puede obtener una reducción de los costos asociados a la construcción mediante la adopción de técnicas constructivas con BTC?

2 Antecedentes

Desde los 5800 años a. de C. hasta la actualidad en numerosos núcleos de población de los países en vías de desarrollo se utiliza la arquitectura de la tierra, la cual ha sido un material habitual de construcción. Sin embargo la idea de comprimir los bloques de tierra es relativamente reciente, se cree que se hizo con la intención de mejorar la cantidad y desempeño de los adodes. Según Guillaud las primeras máquinas para compactar tierra fueron desenvueltas en Francia en el siglo XVIII (Houben et al., 1991). Al inicio del siglo 20, fueron diseñadas las primeras prensas mecánicas, utilizando pesadas tapas que eran forzadas para abajo en moldes, y hasta la industria de ladrillos quemados paso a utilizar prensas en donde la tierra era comprimida por dos placas convergentes (Maia, 2016).

En el trabajo realizado por Garcés Vernaza y el profesor de materiales ingeniero Raúl Ramírez Ramírez en Sogamoso y Paz de Río, reportó que, para el año de 1956, según el censo de 1951 en Colombia existía un dominio aún de técnicas como el adobe en muros en coexistencia con la paja y la teja de barro. Se empleaba para esos tiempos una máquina Ellson con la cual se conseguían 55 bloques/hora, para lo cual se necesitaban 3 hombres y se podían obtener 42kg. /cm² de fatiga a la compresión. Luego de varios ensayos con diferentes relaciones de mezcla entre tierra-cemento y tierra-cal el ingeniero chileno Raúl Ramirez, desarrolla la virtuosa CINVA RAM, que se publicó en 1957 y se patentó en 1958 (Rubiano, 2007).

Con el diseño de la famosa presan CINVA-RAM, máquina que se popularizo y se difundió por todo el mundo, nacen los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), esa máquina se creó con el propósito de mejorar las condiciones habitacionales en el campo Colombiano para el cual se dificultaba el transporte de materiales de construcción “modernos” tales como el ladrillo y el cemento. En la década de los 80 apareció una generación nueva de prensas manuales, mecánicas y motorizadas, donde hoy se encuentran una gran variedad de máquinas para la fabricación de BTCs (UNDP).

La tierra comprimida es cada día más usada y aprovechada como material de construcción, notando el reciente interés por este material y ante la falta de un marco legal muchos de los países en los que se usa este sistema intentan reglamentar su práctica, para en consecuencia remediar la reciente problemática que nace de la carencia de una norma que permita el uso de las alternativas de construcción con suelo (tierra cruda). Para Colombia se emite en 2005 la norma NTC 5324 editada por ICONTEC, estrechamente asociada a la norma francesa XP P 13-901 sobre BTC, siendo más bien una traducción de esta, donde se encuentran temas como propiedades de los suelos, indicadores como

contenidos de materia orgánica y sobre todo referencias a las dimensiones geométricas o propiedades mecánicas de los bloques (Cid et al, 2011).

En la actualidad se puede hablar de moldes intercambiables para producir bloque estructural, así como también curvos en las esquina, lo que ha potenciado su uso, tal como se evidencia en los proyectos Bosques de la cañada o Tejar del río en Bogotá, donde se hace uso del BTC en edificaciones con alturas considerables, presentando para las condiciones del país otro período en la aplicación y desarrollo de esta técnica (Gama, 2007).

La importancia que se está dando en el país, específicamente en el municipio de Barichara es clara, en gran parte, porque la arquitectura en tierra allí desarrollada recientemente es evidencia de la importancia de generar en el lugar una arquitectura con sentido, lo que deja visto que es una realidad que las respuestas de espacio y modernidad se pueden dar rescatando estas técnicas de arquitectura tradicionales que están a la altura de la importancia o la potencialidad de la región y el territorio nacional (Gama, 2007).

3 Justificación

Uno de los materiales de construcción más antiguos del planeta es la tierra. Los bloques de adobe comenzaron a ser usados entre 10.000 a.C y 8000 a.C (Houben et al., 1994). Siendo la tierra uno de los materiales más abundantes en muchas regiones del mundo, usarlos para la construcción se hace bastante económico y por eso ha sido utilizado durante siglos, aproximadamente un 30% de la población vive aun en casas construidas con tierra (Minke et al., 2009).

Como resultado del uso masivo de este material, actualmente existen al menos 18 técnicas diferentes para construir con tierra. Los bloques de tierra comprimida (BTC) es

una técnica contemporánea que ha tenido una mayor acogida en los últimos años debido a la facilidad de la fabricación, rápido secado y resistencia. Esta consiste en comprimir o prensar tierra casi seca, con o sin aglutinante, en un molde a presión (manual o mecánico), seguido de un desmoldamiento inmediato. Estos bloques pueden ser usados en cualquier tipo de construcción sean simplemente sellados o como mampostería estructural y pueden quedar expuestos o recubiertos (Fernández, 2006). El hecho de que estos bloques no se quemem y su transporte pueda llegar a ser innecesario lo convierte en un sistema económico y sostenible.

La bioconstrucción y las construcciones naturales son un punto de partida para la integración de antiguos modelos de construcción con el fin de mitigar la contaminación generada a partir de la construcción tradicional para así empezar a implementar una cultura de construcción amigable con el medio ambiente a través del uso de materiales naturales de bajo impacto, junto con técnicas de eficiencia energética, manejo eficiente del agua y recolección de aguas lluvias, techados y muros verdes. La construcción con BTCs no solamente puede llegar a ser más económica sino que presentan una serie de ventajas bioclimáticas como la regulación de la humedad del ambiente, almacenamiento de calor, absorbe agentes contaminantes del aire y es un material natural, reutilizable y con menos costos de producción.

Basándose en la necesidad de empezar a cambiar los modelos actuales de construcción y las ventajas que tiene este sistema constructivo en comparación con el tradicional se pretende mediante el desarrollo de esta investigación hacer un análisis de las diferentes técnicas o sistemas constructivos con BTC y así poder determinar cuál es la más factible para implementar a partir de los costos asociados a estas. Los resultados de este

trabajo de grado serían de utilidad para posteriores estudios en donde se quiera ahondar en los beneficios de la construcción con tierra.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar los costos asociados al sistema constructivo con Bloques de Tierra Comprimida (BTC), a través de una búsqueda sistematizada de literatura científica como una alternativa económica, social y ambiental para la construcción.

4.2 Objetivos Específicos

- Revisar sistemáticamente la literatura relacionada con el sistema constructivo con Bloques de Tierra Comprimida (BTC) y sus costos de construcción.
- Identificar las diferentes técnicas o alternativas de fabricación de BTC y los costos asociadas a estas.
- Realizar un análisis comparativo de los costos de las diferentes técnicas de fabricación de BTC con el fin de establecer la alternativa más económica y sostenible.

5 Marco Teórico

5.1 Construcción Con tierra: Su Historia

La construcción con materiales de la naturaleza como la tierra, las fibras y la madera ha sido algo que se ha visto durante todos los siglos y en diferentes civilizaciones, han sido recursos para la construcción, tanto así que actualmente dos tercios de la humanidad habita hoy en día en casas construidas en tierra. Dando un vistazo a la

cronología y general a las primeras ciudades del mundo, la historia describe que las grandes civilizaciones de Mesopotamia y Egipto usaban la tierra como principal material de construcción (Garzón, 2017).

La llegada a Colombia de la técnica suelo – cemento se da en Bogotá alrededor del año 1942 luego de que en el primer congreso Nacional de arquitectos mencionara que a raíz de la crisis provocada por el estallido de la segunda guerra mundial se limita de manera radical la importación de materiales, lo que los hizo pensar sobre el valor de usar elementos locales dentro de las cuales se incluía el terraconcreto como una técnica importante. Para ese entonces se hizo indispensable la creación de una identidad que “trabajara y mantuviera un vínculo con los demás países en todas las américas para que se diera reciprocidad en materia de experiencia e investigación que ayudara al provecho de las clases pobres”, así como un aprovechamiento ideal de los materiales locales y aún también de la arquitectura regional, cuyos sistemas constructivos en ocasiones merecían estudio para su perfeccionamiento (Rubiano, 2007).

5.1.1 Mejoras en el Material Tierra

Para mejorar este material el cual es el principal, se realizan estabilizaciones con diferentes agregados, y estos se pueden clasificar en:

- **Procesos homogéneos:** Estos procesos consisten en incorporar los materiales faltantes, los cuales dependen de las propiedades de la tierra, si esta es poco cohesiva, se le agrega arcilla, y si es muy cohesiva, se le debe agregar arena. Estos los materiales se adicionan en seco y deben ser similar al material para estabilizar.
- **Procesos heterogéneos:** Los procesos heterogéneos se dividen en tres tipos, i) **Consolidantes:** estos estabilizantes se ligan con los limos y las arenas para conservarlos unidos; ii) **Fibras:** Con la adición de fibras se controla el

comportamiento de dilatación y retracción o contracción durante el fraguado; y iii) Impermeabilizantes: estos tienen la función de obturar el exceso de agua por capilaridad y/o por lluvia (Arteaga, Medina, & Gutierrez, 2011).

5.2 Bloques de Tierra Comprimida

Es un cubo de tierra prensado mecánicamente, el cual que generalmente lleva una pequeña adición de cal o cemento. Con el paso del tiempo la construcción con tierra comprimida ha dado un paso gigante en los procesos usados para su elaboración, con el desarrollo de los componentes de tierra se han perfeccionado algunas propiedades del material y con el cuál se ha llegado a excelentes calidades para su puesta en operación, así como minimizando el tiempo empleado en construcción (Baestraten, 2011).

5.2.1 Formas y Dimensiones de los BTC

Estos bloques son unidades de mampostería que se usan para la construcción de muros, dinteles, arcos, etc. Por ende, se puede presentar macizo, semihueco o con agujeros completos y de intertraba con lo que se busca que se traben mecánicamente y adaptándose a cada uso. Las dimensiones de estos bloques varían entre 12 y 8 cm de espesor, 14 a 15 cm de ancho y de 29 a 34cm de largo generalmente, esto dependiendo de la máquina en la que sean elaborados (Rotondaro, 2018).

5.2.2 Materiales para la Fabricación de BTC

El material usado es un suelo arenoso-arcilloso tamizado en malla 3 a 4 mm, con un aglomerante que suele ser cemento con variaciones de dosificaciones entre 5 a 12% o cal porcentaje en volumen un poco mayor, entre 8% y 15% y un 10% de agua habitualmente (Rotondaro & Mandrini, 2018).

5.2.2.1 Estabilizantes Utilizados para la Fabricación de BTC

Un estabilizante es un material el cual permite o ayuda a optimizar las características físicas de la tierra, de manera que aumente la resistencia a la compresión, a la tracción, o en ciertos caso reduciendo las fisuras causadas por la retracción de la arcilla, estos estabilizantes pueden ser de tipo sintético o artificial y de tipo natural o mineral.

- Estabilizantes de tipo sintético o artificial: Dentro de estos se encuentran materiales tales como los polímeros, el cemento, el látex, escorias de fundición, resinas acrílicas y epódica, hules de neumáticos y plásticos entre otros. Estos materiales son de este tipo debido a que son obtenidos mediante el empleo de productos de síntesis no presentes en la naturaleza (Vazquez, Guzman, & Iñiguez, 2015)
- Estabilizantes de tipo natural o mineral: dentro de estos se encuentran la cal, cloruro de sodio, cloruro de calcio, aceites naturales, savias naturales, silicatos, yema de huevo, productos puzolánicos ,yesos, y las fibras vegetales entre otras. Son obtenidos de productos presentes en la naturaleza (Vazquez et al., 2015)

5.2.3 *Proceso de Fabricación del BTC*

Para la producción de los BTC inicialmente es necesario cernir el material para luego ser mezclado y estabilizado. Para el siguiente proceso que es el de compactación se utiliza la máquina conocida como prensa o bloquera; la más común es la CINVA-RAM. Los pasos para realizar un bloque son (Arteaga et al., 2011):

1. Inicialmente se prepara el material,
2. Abrir la caja e introducir la tierra estabilizada
3. La caja es cerrada para poner la barra metálica la cual es accionada manualmente
4. Se aplica la presión necesaria hasta que la barra baje

5. Luego el bloque es sacado del molde y trasladado para el secado, el tiempo de secado oscila entre los 20 y 30 días con lo cual se obtiene un BTC listo para ser utilizado en obra

5.2.3.1 Maquinas Utilizadas para la Fabricación

Las maquinas más utilizadas para la fabricación de los BTC son:

- Máquina de Tipo CINVA – RAM (Colombia)
- Máquina de Tipo CETA – RAM (Guatemala)
- Máquina AURAM PRESS 3000 (India)
- Maquina QMR (China)

5.2.4 Tipos de BTC

Existen diversos modelos de Bloques de Tierra, estos cambian de acuerdo a su forma, medidas, composición y sistema de fabricación. Los bloques de tierra que no utilizan maquinaria y son elaborados a mano llenando moldes con barro y puestos a secar al aire libre, se llaman *adobes*. Por el contrario cuando la tierra húmeda es compactada a través de una prensa manual o mecánica, son llamados *bloques de suelo*. Los ladrillos que son fabricados mediante un extrusor en una ladrillera, sin cocer se denominan ladrillos crudos y finalmente los bloques más grandes compactados ya sea de manera manual o mecánica en un molde, se le llaman *bloques de tierra compactados* (Minke, 2005). Los BTC se caracterizan según su forma en: bloques macizos, tipo canaleta, tipo alveolar o modular y articulados.

Bloques de tierra articulados. en un sistema constructivo de encajes son los elementos básicos que permiten obtener fijación estructural sin mortero. Esta estabilización es gracias a las ensambladuras horizontales y verticales que se fusionan unos a otros en una

misma hilera y entre hileras sucesivas, dando estabilidad y homogeneidad al mampuesto. Esto permite modular esquinas, encuentros, cruces de muros eviando la elaboración de cortes en las piezas. Asimismo permite la inserción de contrafuertes como soporte estructural permitiendo prescindir de la estructura sismo resistente (Calderón, 2013). En los últimos años se desarrollado el sistema LAMARS, que a partir de los BaSC, bloques articulados de suelo-cemento se ha desarrollado un modelo que permite la realización de muros prescindiendo del tradicional mortero entre mampuestos, esto debido a su forma de aparejo que enriquece relevantemente su comportamiento estructural y sismo resistente, además de que reduce el número de mampuestos, materia prima, empleados requeridos y por consiguiente los costos de producción.

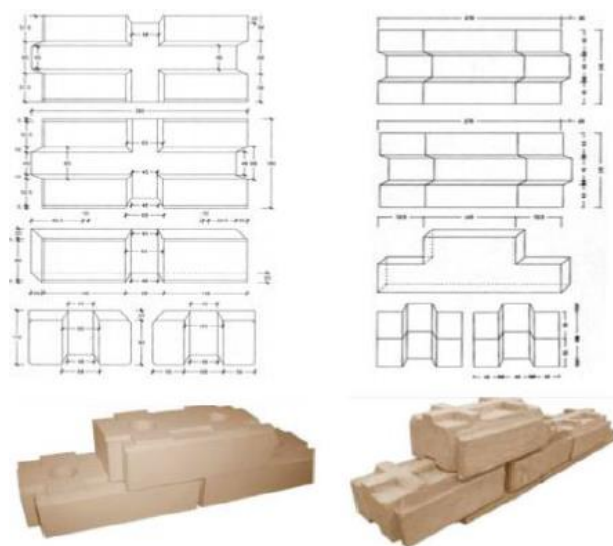


Ilustración 1. Bloques articulados BaSC, Tomado Montes, 2018

Bloques de tierra con adición de fibras y conglomerantes vegetales. el cannabric es un ejemplo, es un bloque macizo de apariencia rugosa a base de cañamón, material

vegetal, conglomerantes naturales y aglomerantes minerales y de reciclaje (Cannabrie, 2020).

Bloques de tierra de alta resistencia. son fabricados a base de barro y tienen características resistentes sobresalientes. De acuerdo a la normativa española la resistencia a la compresión de los BTC los clasifica en 3 tipos; BTC 1 = 1.3 N/mm², BTC 2 = 3 N/mm² y BTC 3 = 5 N/mm², estos últimos representan los bloques más resistentes sin embargo su oferta en el mercado es casi nula debido a que su composición y fabricación es demasiado meticulosa (Calderón, 2013).

Además cumple con la resistencia al fuego con un puntaje de EF-240 lo que clasifica al BTC como M1. (Gatti, 2012)

Los requerimientos de comportamiento frente al fuego de los materiales se determinan precisando la clase que deben lograr acorde a la norma UNE 23 727. Estas clases son denominadas: MO, M₁, M₂, M₃ y M₄. El dígito de la designación de cada clase indica la dimensión relativa con la que los materiales correspondientes pueden beneficiar el progreso de un incendio. La clase MO indica que un material es no inflamable frente a la acción térmica normalizada de la prueba respectiva.

Un material de clase M1 es combustible pero no inflamable, lo que implica que su combustión no se mantiene cuando cesa la contribución de excitación a partir un foco externo. Los materiales de clase M2, M3 y M4 pueden considerarse, de un grado de inflamabilidad moderada, media o alta, respectivamente. (Norma Básica de la Edificación. NBE, 1996). Esto posiciona el BTC como un material con alta Resistencia al fuego.

6 Metodología de la Investigación

6.1 Tipo de Investigación

La investigación estuvo enmarcada en un enfoque de tipo cualitativo ya que el objeto principal objetivo fue el de obtener la información mediante la observación, y esta metodología se centra en describir los aspectos, cada detalle para ser analizado a fondo y conformar con ellos algún tipo de aporte o solución. El diseño de esta investigación es de tipo Exploratoria Descriptiva basada en el enfoque de la metodología cualitativa.

6.2 Población

6.2.1 Tamaño de la Población

Teniendo en cuenta el tipo de estudio y el objetivo de revisión bibliográfica la población de estudio determinada fue de los artículos y documentos que presentaron mayor relevancia para la investigación y los que fueron sido publicados en los últimos años (2010-2020) y que contenían información relacionada con el tema de investigación. Se ha incidido principalmente en aquellos artículos que hablen de las diferentes prácticas o técnicas de fabricación con BTC

6.2.2 Muestra

La muestra es de tipo no probabilístico por conveniencia, ya que este tipo de muestreo se basa en la conveniencia, accesibilidad y proximidad de los datos para los investigadores (Otzen & Manterola, 2017). En este estudio se escogieron los documentos literarios que resultaron posteriores a la búsqueda y el análisis según los criterios establecidos.

6.3 Revisión de literatura

Se realizó una revisión literaria, siguiendo el protocolo de búsqueda (Reyes, et al., 2018), empleando las palabras claves “earth” and “architecture” and “environmental

comfort”, “earth buildings”. Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales y bases de datos como Google Scholar®, Scopus®, Springer® y otras fuentes adicionales como trabajos de grado realizados por diferentes universidades.

Con el fin de identificar la documentación más relevante para la investigación, se realizó un proceso de filtrado de los artículos obtenidos, donde se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de selección:

Título: Descarte de artículos cuyo título no tiene relación con el tema de investigación.

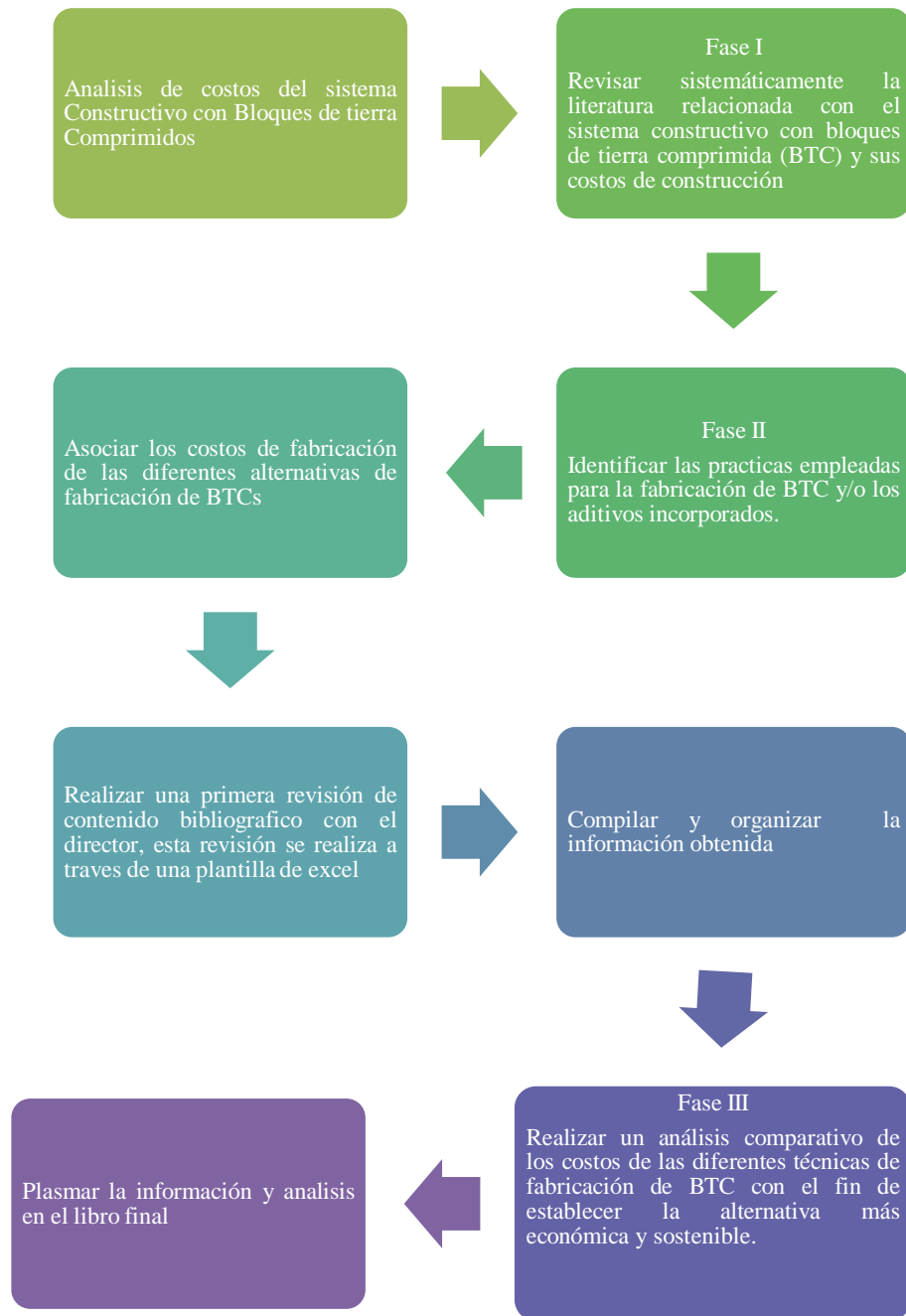
Resumen: Lectura del resumen de cada artículo con el fin de seleccionar estudios que se enfocaran en sistemas constructivos con bloques de tierra comprimida.

Contenido: Lectura del contenido total del artículo. Adicionalmente, los artículos que contienen información serán seleccionados desde el año 2010.

Para la organización de la información se seleccionaron los artículos más relevantes. Se hizo uso de la herramienta de Excel y se extrajo información para su identificación como: año de publicación, autor, nombre, revista, país, objetivo, y las características principales a evaluar dentro de la investigación de los BTC

6.4 Fases Metodológicas

El proceso de investigación de la revisión Bibliográfica se llevó a cabo en III Fases de implementación, en la Gráfica 1 se detallan las actividades desarrolladas durante el proceso.



Grafica 1. Metodología de La investigación
Fuente: Elaboración Propia

7 Revisión Bibliográfica

7.1 Título de la Revisión Bibliográfica

Análisis de costos del sistema constructivo con Bloques de Tierra Comprimida

7.2 Objetivo de la Revisión Bibliográfica

Analizar los costos asociados al sistema constructivo con bloques de tierra comprimida (BTC), a través de una búsqueda sistematizada de literatura científica como una alternativa económica, social y ambiental para la construcción.

7.3 Diseño y Estrategia de Búsqueda

Teniendo en cuenta el objetivo de la investigación, se realiza la matriz de artículos de investigación, y se toma como fuentes principales la base de datos SCOPUS, Google Scholar, y Springer y otras fuentes adicionales como trabajos de grado realizados por diferentes universidades, durante los últimos 10 años (2010 – 2020).

7.3.1 Terminología Clave

La terminología clave utilizada en la ecuación de búsqueda para las bases de datos son las relacionadas con:

- Compressed earth block, CEB
- Alternatives, techniques, methods, process
- Manufacturing, fabrication, making, elaboration
- Costs, cost, price, rate, amount

7.3.2 Criterios de Inclusión de Exclusión

1. Los criterios de inclusión de la revisión Bibliográfica son:

- **Campos de búsqueda:** Título, resumen y palabras claves, hablen de técnicas o alternativas de fabricación o estabilización de BTC.
 - **Periodo de la revisión sistemática:** Todos los artículos entre el año 2010 hasta el año 2020.
 - **Idiomas:** Inglés y español.
 - **Tipos de documentos:** Artículos Científicos y Tesis de grado, ya sea de Pregrado y/o de Posgrado.
2. Los criterios de exclusión de la revisión sistemática son:
- Aquellos documentos que no hagan referencia o demuestren información del tema de investigación.
 - Se excluyen estudios teóricos y/o revisiones sistemáticas o de literatura.

7.4 Puesta en Marcha de la Revisión

Definidos los criterios de inclusión y exclusión se procede a crear la ecuación de búsqueda, la cual a través de conectores AND y OR y la terminología clave se inserta en los buscadores de las bases de datos en una fecha específica. Realizado lo anterior y con los resultados obtenidos se procede a la organización de la información para su posterior análisis.

7.5 Resultados de la Búsqueda y Revisión

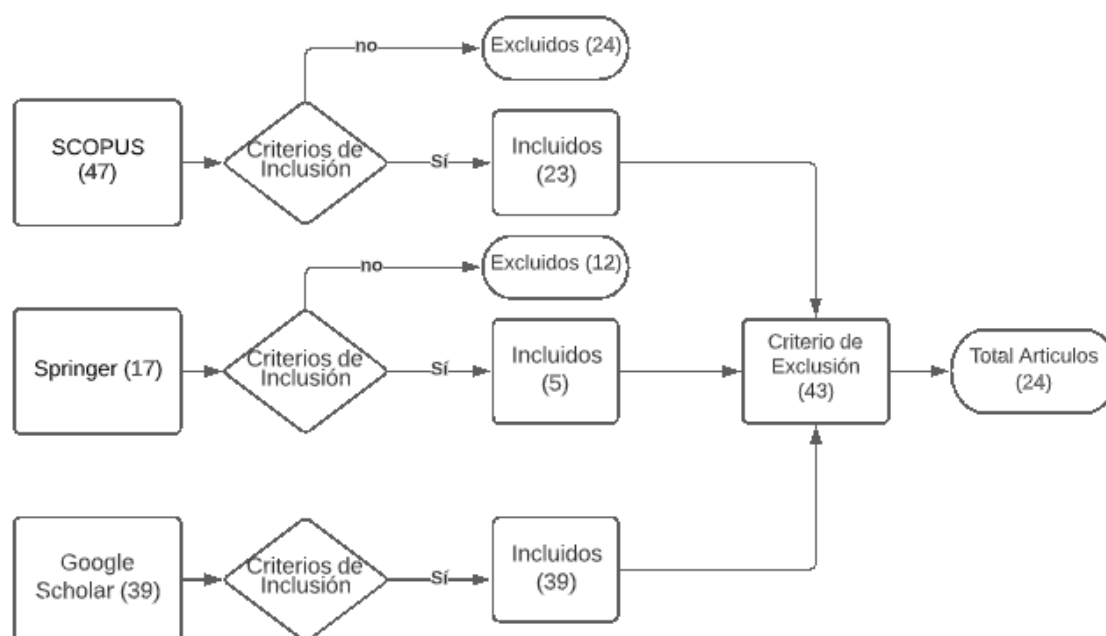
7.5.1 Ecuación De Búsqueda

Para la base de datos SCOPUS se realizaron 2 búsquedas con la ecuación de búsqueda establecida (Ver Anexo 1), las cuales en la primera consulta arrojó 47 documentos y para la segunda 4 documentos. Para la base de datos Springer se utilizaron los terminos antes propuestos (Ver Anexo 2), los cuales dieron como resultado 17 documentos y finalmente

en la base de Datos de Google Scholar se realiza búsqueda alternativa de artículos encontrando 39 documentos de referencia.

7.5.2 Aplicación de Criterios

Tras realizar la búsqueda se procede a aplicar en primera instancia los criterios de inclusiones y posteriormente los criterios de exclusión a los artículos hallados, luego de excluir los documentos que no cumplían los criterios quedaron 24 artículos. En la *Grafica 2* se especifica el proceso



Grafica 2. Proceso de Revisión Bibliográfica,
Fuente: Elaboración Propia

8 Análisis e interpretación de Resultados: Técnicas o Alternativas para la Fabricación de BTC

8.1 Tendencias de las Publicaciones por Año

En la *Grafica 3* se evidencia la tendencia en años respecto al número de publicaciones, como se muestra existe un mayor interés en la adopción de alternativas para la fabricación

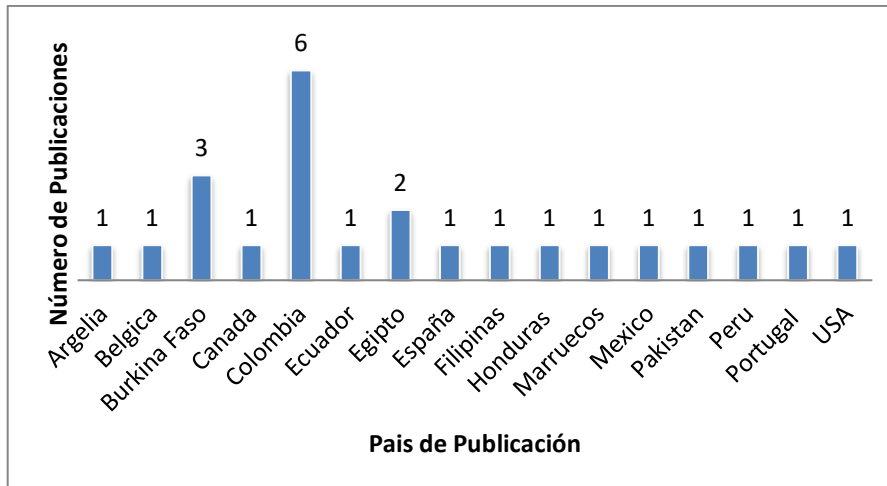
y entre estas se destaca el BTC y la búsqueda de opciones que brinden mayor durabilidad de los materiales y que responda de una manera óptima a las nuevas necesidades constructivas. De la última década se encuentran investigaciones a partir del año 2014 y para los años 2018, 2019 y 2020 se concentran el 67% de los artículos del total de la muestra analizada. Esta tendencia indica que la búsqueda de soluciones constructivas sostenibles es una nueva alternativa para suplir las exigencias del sector.



Grafica 3. Tendencia de Publicación Por Años
Fuente: Elaboración Propia

8.2 Distribución Geográfica

En la *Grafica 4* se muestra la distribución de los países que reportan estudios realizados en relación al tema de investigación dentro de la muestra, también se evidencia que esta es una nueva alternativa a nivel mundial y que han existido diferentes ensayos para analizar y buscar nuevas formas para fabricar y estabilizar los BTC. Resaltando Colombia como el país donde más investigación se han realizado, con un total de seis artículos (25%).



Grafica 4. Publicación Por País
Fuente: Elaboración Propia

8.3 Diferentes Técnicas Identificadas

Para el análisis e interpretación de los datos hallados se identificaron las diferentes técnicas y estabilizantes utilizadas en el mundo para mejorar el rendimiento y procurar una mayor durabilidad y resistencia de los BTCs. En la Tabla 1 se describe el autor del documento analizado, la técnica o alternativa de fabricación usada por los investigadores y por último, el estabilizante incorporados en el proceso de fabricación de los BTC.

Tabla 1. Características de los Estudios Incluidos

Autor	Técnica y/o Alternativa BTC	Estabilizantes
(Montes, 2018)	Técnica tradicional de fabricación. Después de seis 6 horas de moldeo y durante los 7 primeros días, los bloques deben permanecer húmedos a través de riegos sucesivos, con el fin de seguir manteniendo la hidratación del cemento, lo que conlleva a una mayor resistencia en el material. Una vez terminado el proceso, los bloques son almacenados en pilas de hasta 1,5 metro de altura y protegidos con una lona de plástico que mantiene la humedad.	Cemento e impermeabilizante

(Ortiz, 2016)	Su dosificación se compone de 3 partes de tierra y 1 de cemento, obteniendo por cada saco de cemento de 42.5 kg, una producción de 142 unidades de BTC. Debe tener una consistencia manejable para ser introducida en la máquina CINVA -RAM para la producción de BTC. De esta manera, se procederá a conformar los bloques, los que se dejarán a temperatura ambiente por 22 días	Cemento
(Vásquez Hernández, Botero Botero, & Carvajal Arango, 2015)	Los BTC se fabricaron con una mezcla de 25% de tierra, 5% de cemento y 70% de RCD, se compactaron en la máquina de tracción manual	Residuos de construcción y demolición
(Darío Cañola, Builes-Jaramillo, Medina, & González-Castañeda, 2018)	Se asignan proporciones de 76 % de Limo de alta plasticidad del peso total de tierra, 8 % de cemento y 16 % de agua, posteriormente se agrega la emulsión asfáltica a la mezcla en proporciones del 50 %, a razón del peso del agua. Se comprime en una CINVA-RAM hidráulica durante 1 min y luego los bloques se dejan a una temperatura ambiente durante 14 días para su proceso de secado	Emulsión asfáltica en frío
(Arenas Castaño, Londoño, Parra, Vallejo Grisales, & Milena Molina Vinasco, 2015)	El BTC tiene dimensiones de 30 cm x 15 cm x 5 cm, volumen de 2250 cm ³ ; el peso de cada bloque es de 3,6 kg. Se fabricaron con una prensa manual modelo CINVA-RAM. 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.
(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 x 15 cm x 10 cm de. Los BTC se sometieron a un periodo de curado de 30 días calendario, a temperatura ambiente	suelo-cal-arcilla-escombros de concreto

(Bustamante & Mendoza, 2017)	De cada tonelada de bagazo de caña quemado se obtiene 25 kg de ceniza (CBC), Las porciones a utilizar para la fabricación es de 40% de arcilla, 50% arena, 7,5% CBC y 2,5% cemento. La compactación se hace con la CINVA RAM	Ceniza Bagazo de Caña(CBC)
(Molina, 2016)	Preparación de la muestra de suelo, este proceso consistió en la eliminación de los grumos del material dejándolo lo más uniforme posible en cuanto a sus partículas, también realizando retiro de la materia orgánica presente en este. Preparación de los escombros. Estos fueron seleccionados por proporciones adecuadas a su tamaño divididas por el tamiz nro.4. El proceso de compactación en la es posterior a la mezcla del suelo, con el porcentaje ideal de cemento, los diferentes porcentajes de escombros y la cantidad ideal de agua para la compactación y se dejan 28 días para el curado	Suelo derivado de cenizas volcánicas, de residuo de concreto y de cemento
(López Dávalos, 2018)	El Proceso de fabricación del BTC es el tradicional y se modifica el contenido de agua por el GOV. Combinación del almidón de arroz (1 Porción) y el agua (5 porciones), hervir una porción de arroz en cinco de agua a fuego bajo. Cuando el arroz esté algo pastoso, liberará todo el almidón, que al integrarse con el agua, resulta en un líquido viscoso (gel de origen vegetal). Para finalizar se retira el arroz con un colador y conserva sólo el líquido y se deja reposar de 15 a 28 días	Gel de Origen Vegetal (GOV)
(Ramos & Lopez, 2019)	Se mezcla la tierra con agua y las adiciones (cemento y cascarilla de arroz). Se realizó la compactación en un molde metal en forma artesanal con placas de acero de ½, este fue engrasado y rellenado en tres capas, compactada cada una con 25 golpes. Este molde fue puesto en la máquina de compresión para cilindros de concreto marca HUMBOLDT modelo CM- 2500-DIR.	Cemento Portland y cascarilla de arroz

<p>(Darwish, Khedr, Halim, & Khalil, 2020)</p>	<p>Un equipo manual diseñado y fabricado por los autores en casa fue utilizado para fabricar los BTCs probados en este estudio. Todos los componentes del sistema fueron diseñados para aplicar la fuerza concentrada de 320 kN requerida ejercida por el pistón hidráulico. El equipo manual que se muestra en dos moldes se utilizó con unas dimensiones internas de 300 × 140 × 130 mm para producir bloques de 300 × 140 mm con espesores que puede llegar hasta 130 mm. Mientras tanto, y para lograr la mayor resistencia a la compresión del bloque, todos los bloques fabricados dentro del estudio tenía un grosor de 90 mm. Todos los bloques se curaron durante siete días envueltos en láminas de plástico, luego se secan al aire en su octavo día de vida que es el procedimiento seguido. La unión entre los BTC fue probada usando la prueba de división para diferentes contenidos de agua dentro de la mortaja terrestre</p>	<p>6% de sulfonato de lignina adquirido como subproducto de la industria del cuero en Egipto</p>
<p>(Nshimiyimana, Messan, & Courard, 2020)</p>	<p>Algo de mixtura preparado utilizando el material de barro y 0-25% en peso CCR solo. Otro las mezclas fueron preparado usando el material de barro y 20% en peso CCR parcialmente sustituido con el RHA (es decir, CCR: RHA en 20: 0–12: 8 proporciones). Además, el control las mezclas fueron producido utilizando el material de barro y 8% cemento (8CEM). Las mezclas fueron a fondo mezclado en seco hasta aparente homogeneidad. La apropiada humedad contenida fue agregada a las secas mezclas y mezclada hasta distribución homogénea de la humedad. Un apropiado cantidad de mezclas humedecidas fue comprimido manualmente en un molde prismático (295 mm × 140 mm × 95 mm según lo recomendado por Estándar XP P13-901) de una maquina terstaram (Appro-Techno sprl, Couvin, Bélgica) a Produce BTC, los CEB estabilizados se envolvieron en bolsas de plástico y curado a humedad constante de producción durante 45 días a temperatura ambiente en un laboratorio (30 ± 5 ° C)</p>	<p>residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA)</p>

<p>(Zardari, Lakho, & Amur, 2020)</p>	<p>La arcilla y la fosa arena se mezclaron en unas proporciones de 7:3 por peso, respectivamente. La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del El suelo mezclado era de 21 kN/m³ y el 12,5%, respectivamente. Se utilizaron sacos de armas de fuego y se cortaron para obtener madera de yute. El contenido de fibra de yute se varió de 0,5 a 2 % en peso de la mezcla de arena de la arcilla incrementando de 0,5 %. La arcilla húmeda y arena de la fosa se prepararon añadiendo un 22% de agua. La mezcla húmeda del suelo se mezcló en una batidora durante 20 minutos. Los BT fueron moldeados y comprimidos en un molde de acero de Sistema Mecanizado .Cada capa fue apisonada con una almohadilla de madera antes de colocar la siguiente. Luego que el molde se rellenó con tierra húmeda, se colocó una barandilla en la cámara de compactación del Sistema Mecanizado y la tierra húmeda fue compactada usando un émbolo de madera. Luego el molde fue sacado de la cámara de compactación y el bloque de arcilla húmedo fue desmoldado. En esta etapa, una lámina de tela de propileno fue envuelta alrededor de este bloque de tierra comprimida desmoldado. Después de eso, el molde fue llevado de nuevo a la cámara de compactación para nuevamente compactar. Se incrementó a 6 MPa la carga de compactación. La nueva carga se mantuvo durante 24 horas. La profundidad de los CEBs se comprimió en promedio unos 310 mm debido a esta carga.</p>	<p>Arcilla, arena y fibra de yute</p>
<p>(Lavie Arsène, Frédéric, & Nathalie, 2020)</p>	<p>Los bloques de tierra comprimidos se produjeron usando una prensa manual Terstaram. Una vez que la preparación de la muestra se ha completado, un volumen de La muestra se mezcla con estabilizador (agregados) y agua. Para cada la cantidad de agua añadida es el 12% de la masa total del suelo en la mezcla. La fabricación del CEB se hizo de acuerdo con 5 formulaciones: sin agregados, y con 20%, 33%, 43% y 50% agregados por volumen. Después de la mezcla, el CEB se hizo por una prensa manual para obtener un formato regular de 29,5 x 14 x 9,5 cm (largo x ancho x alto). Después de desmoldando, pesando y midiendo, los bloques se secaron al aire libre durante 72 h, y luego se secó a 40 C en un secador hasta completar secando.</p>	<p>roca sedimentaria carbonosa cálcica (granulado de piedra caliza); roca magmática (agregado de pórfido) y roca sedimentaria silícea (granulado de arenisca).</p>

<p>(Velasco-Aquino et al., 2020)</p>	<p>Los BTC se fabricaron a partir de suelo limoso y arcilloso (Altamira, Tamaulipas, México) con estabilizadores biodegradables de aloe vera y fibras cortas de mesocarpio de coco, que se compararon con la mezcla convencional con cal como estabilizador. El mucílago de aloe vera se obtuvo mediante extracción manual de una plantación en instalaciones universitarias y se preparó una solución acuosa al 7% p/p. Las fibras de coco se obtuvieron manualmente de plantas locales, ya que el Cocos nucifera L es un árbol frutal común en la zona costera. Las fibras fueron cortadas hasta una longitud de 260,1 cm. Los BTC se hicieron bajo una presión de compactación promedio de 1.091 6 135,5 psi con una prensa manual Cinva Ram. Se añadieron fibras de coco en forma de cuerdas de 2 cm para un peso de 0,25 y 0,5%.</p>	<p>Fibras de coco y aloe vera</p>
<p>(Nshimiyimana, Moussa, Messan, & Courard, 2020)</p>	<p>Las mezclas se prepararon utilizando los materiales secos de tierra y el CCR de 0, 10 y 20 % de peso. Las soluciones de mezcla se prepararon añadiendo 100 mL de agua desionizada a las mezclas de materiales de tierra y CCR para evaluar su reactividad mediante la medición de la conductividad eléctrica durante el tiempo de curado. Los Btc (295x140x95 mm 3) se moldearon por compresión manual de mezclas humedecidas, hecha por mezcla manual de la adición del contenido óptimo de humedad (OMC) y OMC+2 a las mezclas de los materiales de tierra y CCR, usando una máquina de prensa de terstaram (35 barras)</p>	<p>Materiales de tierra ricos en caolinita (K) y cuarzo (Q) con CCR (residuo de carburo de calcio)</p>
<p>(Bogas, Silva, & Glória Gomes, 2019)</p>	<p>Se adoptó un agregado reciclado derivado de los escombros de la construcción. El agregado reciclado (RA), con un tamaño máximo de partículas de 2 mm, consistía esencialmente en hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento. El BTC fue producido manualmente con un Terstaram presionó y midió 295x140x90 mm, para una presión de compresión máxima de unos 3,6 MPa. Las mezclas se produjeron en una mezcladora de concreto. El suelo fue pulverizado por primera vez con un molino eléctrico antes de mezclarse en seco con los otros componentes. Luego se añadió lentamente el agua a la mezcla y todos los componentes se mezclaron para 3-4 min. Después de la mezcla, en el molde de la prensa manual se llenó y el diseño fuerza de compresión aplicada. Una vez prensados, los CEB frescos se pesaron y luego se cubrieron con una película plástica durante 7 días. Durante este período, el CEB estabilizado fue rociado con agua todos los días.</p>	<p>Áridos finos reciclados de escombros de construcción, hormigón, ladrillos de arcilla cocida y mortero de cemento.</p>

<p>(Lejano, Gabaldon, Go, Juan, & Wong, 2019)</p>	<p>Fibras de pelo de cerdo (PHF), que es material de desecho, se pueden utilizar como refuerzo de fibra para mejorar el rendimiento del CEB contra el agrietamiento. Debido al alto costo del cemento, las conchas de mejillón verde (GMS), que es otro material de desecho, se pueden utilizar como sustituto parcial del cemento en bloques de tierra comprimida.</p>	<p>Fibras de pelo de cerdo (PHF) y conchas de mejillón verde (GMS)</p>
<p>(Mohamed, Hajar, Hassan, & M'bark, 2018)</p>	<p>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 100 tipo. Se obtiene el aserrín utilizado de la pérdida de una unidad de madera industrial. Los máquina usado para haciendo bloques (Figura 8) es un manual prensa ese genera una estática fuerza de compactación de Orden 2MPA [19], [20]. Las dimensiones del molde de la prensa son: l x L xe = 14 mm x 29,5 mm x e mm (= variable).</p>	<p>Polvo de argán de Conchas de Nuez y Aserrín</p>
<p>(Omar Sore, Messan, Prud'homme, Escadeillas, & Tsobnang, 2018)</p>	<p>El geopolímero se sintetizó a partir de una mezcla de metacaolín y solución de hidróxido de sodio. La laterita formó la matriz principal de los ladrillos. Se produjeron ladrillos de tierra comprimida (CEB) estabilizados con 5, 10, 15 y 20% de geopolímero y se compararon tanto con CEB que contenían un 8% de cemento Portland como con CEB sin estabilizador. Luego de un curado de 14 días para las probetas sin estabilizador y CEB geopolimerizados y 21 días para los CEB estabilizados con cemento Portland. Tras la homogeneización de la mezcla seca (laterita + metacaolín) durante 10 min, se añadió agua y la solución alcalina en una proporción de masa (solución alcalina/metacaolín) de 0,8. El material húmedo correspondiente a cada tipo de estabilización se introdujo luego en el prismático moldes (14 14 9,5 cm³ o 29,5 14 9,5 cm³) y compactado con una prensa manual TERSTARAM usando compactación estática bajo una presión de 35 bares.</p>	<p>Geopolimero laterita + metacaolín y solución de hidróxido de sodio</p>
<p>(Mostafa & Uddin, 2016)</p>	<p>La fibra de banana usada en este caso de estudio fue del tipo Poovan. Las fibras fueron extraídas del tronco del banano (Pseudo-tronco). Las fibras se recibieron en paquetes de aproximadamente 1,5 metros de largo; luego se separaron y se cortaron en trozos de longitudes entre 50 mm y 100 mm.</p>	<p>Ingredientes comunes de CEB más fibras de plátano</p>

<p>(Taallah & Guettala, 2016)</p>	<p>Los materiales utilizados en este estudio para el bloque de tierra comprimida reforzada con fibras fueron tierra y arena triturada como matriz principal; cal como estabilizador; fibras de palmera datilera como materiales fibrosos y agua como lubricante. Las fibras han sido tratadas químicamente usando una solución alcalina para mejorar la unión fibra / matriz y consecuentemente aumenta la resistencia mecánica. Para hacer bloques, se aplicó la compactación estática sobre las mezclas, a una presión de compactación de 10 MPa. Cada bloque está cubierto con una película plástica para asegurar su sellado, lo que permite que el proceso de hidratación tenga lugar en condiciones estándar.</p>	<p>Cal viva y relleno con fibras de palmera datilera.</p>
<p>(Donkor & Obonyo, 2015)</p>	<p>Los materiales utilizados incluían suelo local (de Gainesville/ Newberry, Florida), cemento Portland ordinario (OPC), y; fibras macrosintéticas de polipropileno comercialmente disponibles. Las matrices reforzadas con fibras se produjeron con fibras de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 y 1,0 fracciones de peso. Cuando el contenido de fibra superó el 0,6% (en peso), se tardó más tiempo para lograr una buena dispersión y homogeneidad de las fibras. Para producir los bloques se utilizó una prensa de fabricación de bloques operada hidráulicamente. La prensa ejercía una fuerza de 1,6 MPa sobre las mezclas de tierra-cemento-fibra durante unos 30 s. Después de la compresión, los bloques eran expulsados del molde, movidos y colocados en paletas al aire libre</p>	<p>Fibras de polipropileno</p>
<p>(Dick, Pieniuta, Arnold, Logan, & Krahn, 2019)</p>	<p>Para preparar el agregado de papel y cartón, Se utilizó una trituradora de corte transversal H-8Cd (Fellowes, EE.UU.). Esta trituradora mecánica corta cada trozo de papel o cartón en partículas cortadas transversalmente de 4 × 35 mm. Dado que se observaron variaciones con respecto al tamaño especificado, un promedio recogido al azar seleccionando diez piezas de material triturado fue grabado. El tamaño medio del papel y el agregado de cartón era de 4 × 31 y 4 × 27 mm, respectivamente. Las densidades para el material suelto fueron de 0,045 y 0,087 g/cm³ para el papel y el cartón, respectivamente. El material EPS de desecho se rompió en forma de cuentas a mano para esta investigación tamaño final de agregado adecuado para mezclarse con una densidad aparente de 0,011 g/cm³ con un tamaño nominal de 5 mm. Usando plástico PET como la variante en el diseño de la mezcla, las</p>	<p>poli estireno expandido (EPS), tereftalato de polietileno (PET), papel y cartón</p>

	partes de papel, cartón y la tierra se mantuvieron consistentemente en una proporción de 1, 1 y 3, respectivamente. El PET de las botellas de agua y refrescos recicladas se rompió con una trituradora de papel. Tres se hicieron diseños de mezclas separadas con 1, 1.5 y 2 partes de plástico cada una. Cada mezcla El diseño utilizó un aglutinante de cemento al 10% del peso de la muestra.	
--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

8.3.1 Alternativas de Fabricación

8.3.1.1 Costos Fijos

Desde este punto de vista en la fabricación intervienen los siguientes elementos tales como las herramientas, mano de obra y materiales principales: arena, suelo y agua.

Herramientas:

Los BTC generalmente se moldean mediante máquinas de prensado con moldes cuyas características pueden variar en formas y dimensiones. La maquinaria disponible para la fabricación es diversa, que van desde simples equipos de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial. El dimensionamiento de la maquinaria está relacionado con la dimensión, la productividad y el costo de la empresa.

Las prensas pueden ser operadas manualmente o con ayuda de un motor o algún mecanismo mecánico o hidráulico para presionar. La Tabla 2 se muestra la productividad y energía de compactación de algunas prensas.

Tabla 2. Productividad de la prensa según su tipo.

Tipo de prensa		Energía de compactación (MPa)	Tasa de compactación del suelo ¹	Producción (BTC/día)
Manual	Mecánica	1.5-2.0	1.38	300 a 1.200
	Hidráulica	2.0-10.0	1.65	2.000 a 2.800
Con motor	Mecánica	4.0-24.0	>1.65	1.600 a 12.000
	HidráulicaL	>20.0	>2.00	2.000 a 4.000

Fuente: Adaptado de Ferraza, J. (1995)

¹ Corresponde a la relación entre los volúmenes de la mezcla en estado suelto y en estado compactado, siendo proporcional a la energía de compactación.

Mano de Obra:

El proceso de elaboración y construcción no requiere de habilidades específicas y puede ser realizada por cualquier persona, sin embargo la mano de obra debe ser calificada y poseer algún conocimiento en sistemas constructivos. En la Tabla 3 se especifican los rubros de los costos asociados a la mano de obra y el valor unitario de la fabricación por BTC, los valores establecidos se toman de acuerdo al salario mínimo legal vigente al año 2021.

Tabla 3. *Rubros de Mano de Obra*

	Valor	Unidades
Jornada Laboral	\$ 40.000	8 Horas
Maquina Manual Mecánica	\$ 133	600 Un
Maquina Con Motor	\$ 25	1600 Un

Fuente:Elaboración Propia

Materiales principales

Para la fabricación del bloque de tierra comprimida, es necesario tener en cuenta los recursos y/o materiales que componen el BTC, cabe resaltar que la tierra a utilizar para la fabricación de estos bloques y según la mayoría de autores es extraída In situ, lo que no genera costo de material, pero sin embargo hay que tener en cuenta el costo de la extracción de esta por esto que Echeverry, J. et al (2017), asume que la extracción del material se realiza en lugares cercanos a la construcción que rodea los 3 y 5 km recorridos medidos en auto. Se toman en cuenta los costos teniendo en cuenta los valores aproximados para el año en curso en la Tabla 4:

Tabla 4 *Costos extracción de material*

Actividad	Unidad	Costo x m³
ITE059 cargue mecánico del material	m3	\$3.393
ITE061 transporte de material < 40 km	m3/km	\$1.000
Excavación en material seco mayor a 4 m de profundidad	m3	\$62.124
Valor del cargue mecánico	pesos	\$9.924

Fuente: Echeverry (2017)

Tabla 5. *Costos por Unidad Materiales*

Material	Unidad	Costo Por Unidad
Arena	M ³	\$60.000
Tierra	M ³	\$76.441
Agua	M ³	\$13.500

Fuente: Elaboración Propia

Estabilizantes Dentro de las Alternativas Identificadas

Los estabilizantes se emplean para mejorar las características resistentes de los bloques. Existen tres modos de estabilización que implican métodos físicos, químicos y mecánicos. La estabilización física consiste en la introducción o eliminación de materiales que cambien la constitución del suelo, generalmente se agregan fibras para proporcionar un aumento de la cohesión entre las partículas del suelo y mayor resistencia, como; paja seca, pelo de animales, bambú, fibras de palmas, entre otras, también se puede realizar una estabilización granulométrica mediante la combinación de distintos suelos. La estabilización química es la introducción de sustancias químicas que alteren las propiedades fisicoquímicas dando como resultado la creación de un nuevo compuesto. Es el método más utilizado porque es el que más contribuye a la ganancia de resistencia y no cambia en presencia del agua. Los estabilizantes más comunes hallados dentro de la investigación se especifican en la Tabla 6 con sus costos, cabe resaltar que estos costos no se hallaron descritos directamente, sin embargo de acuerdo a las especificaciones y proporciones usadas en las diferentes investigaciones se pudo determinar el valor de estos. En las Tablas 6 y 7 se encuentran especificados los costos unitarios por estabilizantes utilizados dentro de los diferentes ensayos desarrollados en las distintas investigaciones de acuerdo al tipo de estabilizante.

Tabla 6. Costo de Estabilizantes más Usados

Material	Unidad	Costo	Costo Por Gramo/2020	Fuente
Cemento	50 Kg	\$ 30.000	\$ 0,60	https://www.homecenter.com.co
Residuos de Construcción	M3	\$26.888	\$0,03	http://www.colombia.generadordeprecios.info
Cal	10Kg	\$ 8.400	\$ 8	https://www.homecenter.com.co
Cartón	1Kg	\$ 350	\$ 0,35	https://www.puntosderreciclaje.com
Emulsión Asfáltica	18Kg	\$75.000	\$41,66	https://www.homecenter.com.co
Cascarilla de Arroz	1kg	\$5.000	\$ 50	https://sembramos.com.co
Fibras de Propileno	1Kg	\$32.130	\$ 32,13	https://col.sika.com
Poliestireno Expandido	1Kg	\$26.500	\$26,5	https://www.homecenter.com.co
Tereftalato de Polietileno	1Kg	\$3.500	\$3,49	https://www.puntosderreciclaje.com
Papel	1Kg	\$600	\$0,60	https://www.puntosderreciclaje.com

Fuente: Elaboración Propia

Para el calculo de los costos por unidad de los estabilizantes, se tuvo en cuenta como se describio anteriormente las especificaciones de las dimensiones y el pesos descritas en cada documento y el valor comercial al 2020 por peso o metraje de cada uno de los diferentes materiales incorporados a las distintas mezclas ensayadas (Ver Apendice A).

Tabla 7. Estabilizantes Físicos Y sus Costos por Unidad

	Estabilizantes	Cantidad Utilizada por BTC	Costo x Unidad de Estabilizante
Físicos	Ceniza Bagazo de Caña(CBC)	25 gr	-
	Gel de Origen Vegetal	27,5 Ml	\$ 158
	Cemento Portland y	100gr +100gr	\$ 120

	cascarilla de arroz		
	Sulfonato de lignina	60 gr	\$ 105
	Residuo de carburo de calcio (CCR) y ceniza de cáscara de arroz (RHA) y Cemento	200gr+120gr+80gr	\$ 573
	Fibra de yute	20gr	\$ 10
	Fibras de coco y aloe vera	100gr+1,4Kg	\$ 1.304
	Fibras de polipropileno	4,4gr	\$ 141
	Poliestireno expandido (EPS), tereftalato de polietileno (PET), papel, cartón y cemento	220gr+260gr+100gr+200gr+ 439gr	\$ 7.130
	Fibras de plátano y cemento	100gr+40gr	\$ 3.524

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. *Estabilizantes Físicos-Químicos Y sus Costos por Unidad*

	Estabilizantes	Cantidad Utilizada por BTC	Costo x Unidad de Estabilizante
Fisico-Quimico	Cemento Portland	480gr	\$288
	Cartón y cal	55gr+33gr	\$296,5
	Cal y residuos de Construcción	4,95gr+110gr	\$42,5
	Cemento y Residuos de Construcción	55gr + 770gr	\$53
	Emulsión asfáltica en frío	88gr	\$ 3.666

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar las diferentes investigaciones desarrolladas no tienen en cuenta los costos que los diferentes materiales adicionados traen consigo, sino que se basan en la búsqueda de materiales que puedan brindar mejores resultados en cuanto a compresión flexibilidad y durabilidad de los BTCs y de igual manera varios estudios resaltan la importancia de reutilizar materiales provenientes de residuos con el fin de disminuir la carga ambiental que el sector de la construcción genera en el entorno.

8.4 Análisis Comparativo de los costos de las diferentes técnicas de fabricación de BTC

Para el desarrollo del análisis comparativo de las diferentes alternativas de fabricación de BTCs, inicialmente se identificaron los recursos necesarios para llevar a cabo el proceso, seguidamente se determinó la cantidad de recursos necesarios por unidad por cada una de las técnicas identificadas. Se analizó el costo del proceso en términos de dinero.

Dentro de los documentos analizados se encontró que en algunos casos los materiales usados eran propios de cada región, así como también que la incorporación de estabilizantes se debía a la facilidad o al alcance inmediato de estos materiales por tal motivo no fue posible realizar la determinación del precio. Frecuentemente, los investigadores creen que poseen los recursos necesarios y que el costo es tan bajo que no es necesario estimar o tener en cuenta estos costos.

La determinación de los costos asociados se realizó a moneda local (Pesos Colombianos) y teniendo en cuenta la tasa cambio a la fecha del dólar de \$3.414,55. Para la calcular el valor unitario de los BTC estabilizados se tuvieron en cuenta los valores antes establecidos de mano de obra, maquinaria y los costos por unidad de los estabilizantes, así como también el valor por M³ de los materiales principales tales como

tierra, arena y agua, todo esto de acuerdo a las dimensiones de fabricación y las proporciones de cada uno de los agregados

Para el análisis comparativo (Ver Tabla 9) se dividió en las categorías que conlleva el proceso de fabricación de los BTCs tales como las dimensiones de estos, los equipos y herramientas utilizados para su fabricación, los estabilizantes incorporados (Físico-Químicos), el curado y almacenado y finalmente los costos asociados a este proceso.

Tabla 9. *Análisis de Comparativo de Costos*

Título del Documento	Características	Especificaciones	Valor Unitario
Los bloques de tierra comprimida (BTC) y su influencia en el costo de construcción de viviendas sociales en zonas de habilitación en laderas de la ciudad de Huancayo - 2018	Dimensiones	30 cm x 14,5 cm x 10,5 cm	\$414,5
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Durante 7 días se deben humedecer por medio de regados sucesivos. Los BTC pueden ser acomodados en pilas de hasta 1,5 metro de altura y cubiertos con lona Plástica para mantener la humedad	
	Estabilizante y %	Cemento 12%	
	Proporciones Materiales	Arena 8% Tierra 80%	
Diseño arquitectónico de una vivienda económicamente accesible aplicando el sistema constructivo de bloque de tierra comprimida, caso de estudio en la cabecera cantonal de Gonzanamá, provincia de Loja	Dimensiones	25 cm x 12,4 cm x 8 cm	\$592,5
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Temperatura ambiente 22 Días	
	Estabilizante y %	Cemento 14%	
	Proporciones Materiales	Agua 43% Tierra 86%	
Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como	Dimensiones	29 x 17 x 9 cm	\$414,4
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	

reemplazo del agregado pétreo convencional	Curado y Almacenado	28 días de curado rociado con agua todas sus caras	
	Estabilizante y %	Residuos de construcción y demolición 70% Cemento 5%	
	Proporciones Materiales	Tierra 25%	
Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos	Dimensiones	29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm	\$4.269,3
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Temperatura ambiente 14 Días	
	Estabilizante y %	Emulsión asfáltica en frío 8%	
	Proporciones Materiales	Agua 8% Tierra 76% Cemento 8%	
Bloques de tierra comprimidos con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales reciclables: Una alternativa ecológica	Dimensiones	30 cm x 15 cm x 5 cm	\$ 724,5
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Temperatura ambiente 7 Días	
	Estabilizante y %	cartón 5%, y cal 3%	
	Proporciones Materiales	Tierra 82% Arena 10%	
Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles	Dimensiones	30 cm x 15 cm x 10 cm	\$ 457,6
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Curado de 30 días calendario	
	Estabilizante y %	cal 4,5% escombros de concreto 10%	
	Proporciones Materiales	Tierra 65% Arena 20% Agua 52%	
BTC con adición de ceniza de bagazo de caña como solución de la autoconstrucción de vivienda en zona rural del municipio de Nimaima	Dimensiones	29 cm X 14 cm X 7cm	\$ 476,0
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Secado de 24 horas a una temperatura de 50 °C	

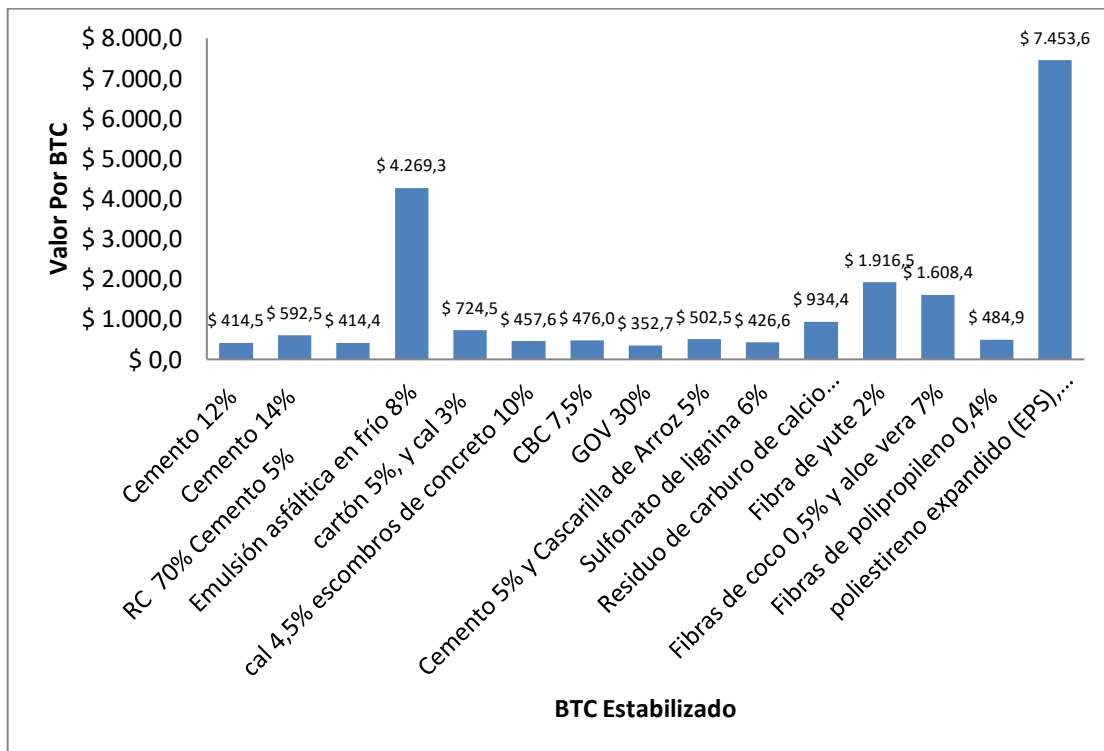
	Estabilizante y %	CBC 7,5%	
	Proporciones Materiales	Tierra40% Arena50% Cemento 2,5%	
Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorado, con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos.	Dimensiones	24 cm X 16 cm X 8cm	\$ 352,7
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Ambiente de 30 grados centígrados y 38% de humedad relativa por un periodo de 30 y 31 días.	
	Estabilizante y %	GOV 30%	
	Proporciones Materiales	Tierra 70%	
El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental	Dimensiones	29 cm X 14 cm X 7cm	\$ 502,5
	Equipos y Herramientas	Máquina de compresión	
	Curado y Almacenado	Curado al aire libre durante 7 días	
	Estabilizante y %	Cemento 5% y Cascarilla de Arroz 5%	
	Proporciones Materiales	Tierra 90%	
Novel Simplified Construction of Walls and Prisms Made of CEBs and Earth-Based Mortar	Dimensiones	30 cm x 14 cm x 9 cm	\$ 426,6
	Equipos y Herramientas	Prensa Hidráulica Manual	
	Curado y Almacenado	Curado durante siete días envueltos en láminas de plástico, luego se secan al aire en su octavo día	
	Estabilizante y %	Sulfonato de lignina 6%	
	Proporciones Materiales	Tierra 51% Arena 43% Agua 30%	
Physico-mechanical and hygro-thermal properties of compressed earth blocks stabilized with industrial and agro by-product binders	Dimensiones	29,5 cm x 14 cm x 9,5 cm	\$ 934,4
	Equipos y Herramientas	Terstaram	
	Curado y Almacenado	Se envolvieron en bolsas de plástico y curado a humedad constante de producción durante 45 días a temperatura ambiente en un	

		laboratorio (30 ± 5 ° C)	
	Estabilizante y %	Residuo de carburo de calcio (CCR)12% y ceniza de cáscara de arroz (RHA) 8% Cemento 8%	
	Proporciones Materiales	Tierra 72%	
Structural behaviour of large size compressed earth blocks stabilized with jute fiber	Dimensiones	198 cm x 40 cm x 16,5 cm	\$ 1.916,5
	Equipos y Herramientas	Sistema Mecanizado	
	Curado y Almacenado	Temperatura ambiente en un laboratorio con ventilación	
	Estabilizante y %	Fibra de yute 2%	
	Proporciones Materiales	Agua 22% Tierra 70 % Arena 30 %	
Compressed earth block reinforced with coconut fibers and stabilized with aloe vera and lime	Dimensiones	14 cm x 8 cm x 10.5 cm	\$ 1.608,4
	Equipos y Herramientas	CINVA RAM	
	Curado y Almacenado	Se curaron en un lugar seco y manteniéndolos cubiertos con láminas de plástico para que el agua en el CEB no se evapore.	
	Estabilizante y %	Fibras de coco 0,5% y aloe vera 7%	
	Proporciones Materiales	Tierra 79,5 % Arena 20%	
Earthen construction materials: Assessing the feasibility of improving strength and deformability of compressed earth blocks using polypropylene fibers	Dimensiones	22,9 cm x 20,3 cm x 12,1	\$ 484,9
	Equipos y Herramientas	Prensa Hidráulica	
	Curado y Almacenado	colocados en paletas al aire libre por 7 días	
	Estabilizante y %	Fibras de polipropileno 0,4%	
	Proporciones Materiales	Tierra 87,3 % Arena 13,7% Agua 33%	

The Effect of Incorporating Recycled Materials on the LoadâDeformation Behaviour of Earth for Buildings	Dimensiones	20 cmx 10cm x 10 cm	\$ 7.453,6
	Equipos y Herramientas	Prensa Mecánica	
	Curado y Almacenado	Se dejaron secar 9 días en los moldes luego de retirarlos, se almacenaron en estantes que proporcionaban movimiento de aire hasta el día 20.	
	Estabilizante y %	poliestireno expandido (EPS), tereftalato de polietileno (PET), papel , cartón y cemento	
	Proporciones Materiales	Tierra 55 % Arena 45%	

Fuente: Elaboración Propia

En la Grafica 5 se evidencia un comparativo entre el costo por unidad de fabricación de BTC y el tipo de estabilizante utilizado.



Grafica 5. BTC Vs Costo Unitario
Fuente: Elaboración Propia

Dentro de las diferentes alternativas encontradas en cuanto a fabricación de BTCs en el mundo el 67% del total muestra un precio por unidad de BTC inferior a \$1000, la alternativa más económica es aquella que dentro de sus componentes contiene aditivos de compuestos orgánicos al 30% y 70% de tierra con un costo por unidad de \$352,7. Otro par de alternativas que destacaron por sus costos es aquella que contiene el 12% de cemento y otra que su contenido de tierra es de solo el 25% y el de residuos de construcción constituye el 70% con una adición de cemento del 5%; este par de alternativas sugieren un costo por unidad de \$414.4 pesos.

Estos costos son los más económicos en comparación con las demás técnicas, las cuales algunas utilizan la compresión de una manera hidráulica o motorizada y sin embargo el costo de acuerdo a sus agregados es superior. También se encontró que algunos bloques a pesar de tener dimensiones más bajas tienen un precio por unidad más alto. En el análisis se pudo establecer que los bloques de tierra comprimida no tienen unas dimensiones específicas, sin embargo las más usadas son de 29 cm X 14 cm X 7cm.

Entre la maquinaria destaca que a nivel Sur América la herramienta usada para la compactación es la Cinva Ram, caso contrario a nivel Europa, Asia y África donde predomina el uso de la Terstaram y algunas máquinas elaboradas por los mismos investigadores.

En cuanto al curado y almacenado de los BTCs elaborados no existe un consenso entre el tiempo y el correcto almacenaje, se encontró una variación desde 24 horas de secado hasta de 31 días lo que no brinda un dato concurrente esto debido a los diferentes cambios en cuanto a temperatura ya sea en los laboratorios donde fueron desarrollados o la temperatura ambiente de las diferentes ubicaciones donde se hizo el estudio, y esto en

términos económicos también puede traer costos ya sean menores o mayores que deben ser tenidos en cuenta a la hora de llevar a cabo una construcción con este material constructivo.

Una técnica para el curado que se encontró repetitivamente es la de mantenerlos cubiertos con láminas de plástico para que el agua en el BTC no se evapore.

9 Conclusiones

- El sistema constructivo con BTC es utilizado en diferentes lugares del mundo, y este material constructivo está resurgiendo ya no solo como un sistema constructivo de bajo costo, sino como una alternativa sostenible para los problemas medioambientales que presenta el planeta y que son causados en gran medida por el sector de la construcción, por sus ventajas tales como el reciclaje de materiales y disminución de consumo de recursos naturales y el bajo costo de su fabricación.
- Dentro de la investigación en cuenta a herramientas y equipos no se encontró gran innovación, ya que estas siguen siendo las mismas que se han implementado siempre desde que este sistema dio inicio, sin embargo en cuanto a materiales y específicamente en estabilizantes se ha procurado la búsqueda de nuevas mezclas, lo cual ha logrado grandes resultados con el uso de materias primas de tipos naturales o sintéticas, las cuales han brindado una mejora sustancial en cuanto a resistencia y durabilidad, así como la disminución en cuanto a la absorción. Esto en gran medida también infiere en una amplia disminución en cuanto a costos de este material y su producción.
- En cuanto a las alternativas o técnicas para la fabricación de BTC se encontraron alrededor de 24 diferentes métodos de elaboración e incorporación de distintos materiales para la estabilización de los bloques de tierra, en algunos casos se incorporaron materiales propios de cada de región debido su disponibilidad o facilidad de adquisición pero los cuales no hacen posible la incorporación de los mismos a nivel Colombia.

- Una de las alternativas más representativas en cuanto al uso de estabilizantes es la de la incorporación de materiales reciclados, ya sea aquellos provenientes de “escombros” que son los materiales que más contaminación producen y pueden ser reutilizados o aquellos desechos de tipo orgánico que pueden ser aprovechados, esto debe ser tenido en cuenta porque representa un ahorro sustancial en cuanto al valor de materias primas, lo que proporciona una derivación de costos menores en la fabricación de los BTC.
- Al realizar el análisis comparativo de las diferentes alternativas, se pudo determinar los costos unitarios de 15 de ellas, de las cuales la que proporciona un valor menor en cuanto a costos unitarios es la de la incorporación a la mezcla de aditivos de compuestos orgánicos denominado GOV que básicamente es una mezcla elaborada del almidón de arroz (1 parte) y el agua (5partes), extraído por ebullición, que forman una sustancia viscosa, este contenido es agregado al 30% y 70% de tierra con un costo por unidad de \$352,7.
- Finalmente, a partir de los resultados de esta investigación y teniendo en cuenta las variaciones que pueden existir en cuanto a los costos de materias primas de acuerdo a la ubicación geográfica del desarrollo de este sistema constructivo, se sugiere que es necesaria una profundización en cuanto las diferentes materias primas que pueden ser aprovechadas a costos bajos para la fabricación de BTCs las cuales brinden ventajas y características superiores a este sistema constructivo.

10 Bibliografía

- Alzate, A., & Molina, G. (2019). Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles, (April).
- Arenas Castaño, M. A., Londoño, A., Parra, O. A., Vallejo Grisales, L. M., & Milena Molina Vinasco, G. (2015). Bloques de tierra comprimidos con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales reciclables: Una alternativa ecológica. *Tierra, Sociedad, Comunidad*, 2015-01-01, ISBN 978-9978-14-313-1, Pags. 112-121, 112–121.
- Arteaga, K., Medina, Ó., & Gutierrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo, *20*(31), 55–68.
- 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>
- Bustamante, K., & Mendoza, D. (2017). *BTC CON ADICIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA COMO SOLUCIÓN A LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE NIMAIMA*. Universidad La Gran Colombia.
- 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

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>

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>

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.jobe.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.

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.

Montes, J. (2018). *Los bloques de tierra comprimida (BTC) y su influencia en el costo de construcción de viviendas sociales en zonas de habilitación en laderas de la ciudad de Huancayo - 2018*. Universidad Continental.

Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>

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>

Nshimiyimana, P., Moussa, H. S., Messan, A., & Courard, L. (2020). Effect of production and curing conditions on the performance of stabilized compressed earth blocks: Kaolinite vs quartz-rich earthen material. *MRS Advances*, 5(25), 1277–1283. <https://doi.org/10.1557/adv.2020.155>

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>

Ortiz, D. (2016). *DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE UNA VIVIENDA*

ECONÓMICAMENTE ACCESIBLE APLICANDO EL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA, CASO DE ESTUDIO EN LA CABECERA CANTONAL DE GONZANAMÁ, PROVINCIA DE LOJA. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR – LOJA. Retrieved from <https://docplayer.es/74679234-Universidad-internacional-del-ecuador-loja-escuela-para-la-ciudad-el-paisaje-y-la-arquitectura.html>

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio, *35*(1), 227–232.

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>

Rotondaro, R., & Mandrini, M. R. (2018). Bloques de tierra comprimida y tapia: dos técnicas con capacidad portante. *Estructuras*, *1*(2), 8–17. Retrieved from <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/estructuras/article/view/24739>

Taallah, B., & Guettala, A. (2016). The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers. *Construction and Building Materials*, *104*, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.007>

Vásquez Hernandez, A., Botero Botero, L. F., & Carvajal Arango, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, *11*(21), 197–220. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.11.21.10>

Vazquez, M., Guzman, D., & Iñiguez, J. (2015). *COMPARACIÓN ENTRE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOBES TRADICIONALES Y BTC*

ESTABILIZADOS QUIMICAMENTE. 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>
- 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.

11 Anexos

Anexo 1. Ecuación de Búsqueda Scopus

(47) (TITLE-ABS-KEY (compressed AND earth AND block) AND TITLE-ABS-KEY (ceb)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

(4) (TITLE-ABS-KEY (compressed AND earth AND block) AND TITLE-ABS-KEY (ceb) OR TITLE-ABS-KEY (alternatives) OR TITLE-ABS-KEY ("techniques") AND TITLE-ABS-KEY (fabrication) OR TITLE-ABS-KEY (elaboration))

Anexo 2. Ecuación de Búsqueda Springer

"Compressed earth block" AND (Alternatives OR fabrication) AND (cost)

12 Apéndices

Apéndice A. Revisión Bibliográfica, Análisis de Costos y Estadísticos (Documento de Excel)