	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(90)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	LAURA INÉS SANCHEZ LUIS ÁNGEL VALERO GUERRA		
FACULTAD	DE INGENIERAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA CIVIL		
DIRECTOR	LEANDRO OVALLOS MANOSALVA		
TÍTULO DE LA TESIS	LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) MODIFICADOS COMO UN MODELO ÓPTIMO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN REEMPLAZO DE LOS BLOQUES DE ARCILLA COCIDA TRADICIONAL		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>ESTA MONOGRAFIA TIENE COMO OBJETIVO COMPARAR A TRAVES DE LA BIBLIOGRAFIA DISPONIBLE LAS CUALIDADES QUE POSEE EL BTC FRENTE A LOS BLOQUES DE ARCILLA COCIDA TRADICIONAL PARA DEMOSTRAR QUE PUEDE SER UN MATERIAL CONSTRUCTIVO EFICIENTE, ECONOMICO Y ECOLOGICO APLICADO A VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS, DE IGUAL FORMAR ESTUDIAR LOS METODOS Y MATERIALES QUE PUEDEN MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL BLOQUE COMO RESISTENCIA A LA COMPRESION, ABRASION Y ABSORCION DE AGUA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 90	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 39	CD-ROM: 1



LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) MODIFICADOS COMO UN MODELO
ÓPTIMO DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN REEMPLAZO DE LOS BLOQUES DE
ARCILLA COCIDA TRADICIONAL

AUTORES

LAURA INÉS SANCHEZ NORIEGA CÓD. 171771

LUIS ANGEL VALERO GUERRA CÓD. 172256

Monografía presentada como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Director

Ing. Esp. LEANDRO OVALLOS MANOSALVA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERAS

INGENIERA CIVIL

Índice

	Pág.
Capítulo 1. Inmersión de la construcción sostenible en Colombia	1
1.1. Definición de construcción sostenible.....	1
1.2. Inicios de la construcción sostenible.....	1
1.2.1. En el mundo.	1
1.2.2. Construcción sostenible en Colombia.....	3
1.3. Normas y certificaciones sobre construcción sostenible.....	4
1.3.1. Normativa.	4
1.3.2. Certificaciones.	6
1.4. Estructuras sostenibles desarrolladas a nivel internacional y nacional	7
1.4.1. A nivel internacional.....	7
1.4.2. A nivel nacional.	9
1.4.3. Construcciones con BTC en Colombia.....	12
Capítulo 2. Generalidades del BTC, técnica de fabricación y métodos para la modificación de sus propiedades físicas y mecánicas	18
2.1. Generalidades del BTC	18
2.2. Normas aplicadas al BTC para control de calidad	21
2.3. Técnica de fabricación	24
2.3.1. Identificación de la materia prima.	24
2.3.2. Homogeneidad de las partículas del terreno.	26
2.3.3. Determinación de la humedad ideal y secado del suelo.	26
2.3.4. Preparación del material.	27
2.3.5. Compactación, desmonte y secado.	27
2.4. Métodos para la modificación de las propiedades físicas y mecánicas de los BTC	28
2.4.1. Adición de fibras de coco al BTC.....	28
2.4.2. BTC con adición de Ceniza de Bagazo de Caña (CBC).....	31
2.4.3. BTC con adición de materiales bituminosos.	33
2.4.4. BTC con adición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	36
2.4.5. BTC con adición de fibras de plátano.....	40
2.4.6. BTC con la adición de cementantes hidráulicos.	42
2.4.7. BTC con adición de almidón de arroz.	47

2.4.8. BTC con adición de cal y cartón.....	51
Capítulo 3. Ventajas, desventajas y costos de los BTC en la construcción.....	55
3.1. Proyectos Casa Viva construido en BTC.....	55
3.2. Ventajas de construir con BTC.....	57
3.2.1. Regulador térmico.....	58
3.2.2. Eficiencia energética.....	59
3.2.3. Resistencia a la compresión.....	59
3.2.4. Durabilidad.....	60
3.2.5. Otras ventajas.....	61
3.3. Desventajas de construir con BTC.....	63
3.4. Costo de producción de los BTC.....	64
Capítulo 4. Cuadro comparativo entre los BTC y los bloques de arcilla cocida tradicionales	67
Capítulo 5. Conclusiones	72
Futuras investigaciones	73
Referencias	75

Lista De Tablas

Tabla 1. Países que cuentan con normas para la modificación y/o fabricación de BTC	20
Tabla 2. Resistencia mínima a la compresión de acuerdo a la UNE 41410	21
Tabla 3. Resistencia mínima a la compresión seca	21
Tabla 4. Resistencia mínima a la compresión húmeda	22
Tabla 5. Valores de profundidad (D)	23
Tabla 6. Principales propiedades de la tierra	25
Tabla 7. Normas y parámetros que cumplió el BTC con adición de fibras de coco	30
Tabla 8. Diseño proporción cemento CBC	32
Tabla 9. Resultados de los ensayos de laboratorio hechos a los BTC con adición de CBC.....	32
Tabla 10. Dosificaciones con adición de RCD	37
Tabla 11. Dosificación con RCD	38
Tabla 12. Dosificaciones con RCD en kg.....	39
Tabla 13. Proporciones de materiales usados para fabricar un B-CEB	41
Tabla 14. Caracterización de los suelos ensayados por la UAM-Xochimilco.....	46
Tabla 15. Registro de la resistencia a la compresión del suelo T1	47
Tabla 16. Registro de la resistencia a la compresión del suelo T2	47
Tabla 17. Tipología de GOV según su composición y la antigüedad de preparación	48
Tabla 18. Tipo de mezclas usadas para el proyecto.....	49
Tabla 19. Resumen de los datos obtenidos	51
Tabla 20. Resultados de ensayos individuales a compresión	52
Tabla 21. Resumen Normas nacionales e internacionales aplicadas a los BTC	54
Tabla 22. Comparativo entre los bloques de tierra comprimida y los ladrillos convencionales .	67.

Lista De Figuras

Figura 1. Hitos de la construcción sostenible.	3
Figura 2. Fachada occidental en madera, fachada norte con turbinas eólicas, fachada sur con conductos verticales	7
Figura 3. Vista aérea del One Angel Square.....	8
Figura 4. Inicativo Un Techo, Una Habilidad, Un Mercado.	8
Figura 5. Modelo de casa PATH.....	9
Figura 6. Edificio Bancolombia.....	10
Figura 7. Edificio BC empresarial en Barranquilla.	10
Figura 8. Vivienda Terracota en Boyacá.	11
Figura 9. Casa ecológica Guarné, Antioquia.	11
Figura 10. Conjunto residencial Arborada de Cota.	12
Figura 11. Aula ambiental Juan Rey en Usme – Bogotá.	12
Figura 12. Casas en BTC.	13
Figura 13. Condóminos en BTC.	14
Figura 14. Edificios en BTC.	15
Figura 15. Restaurantes en BTC.	16
Figura 16. Otras edificaciones con BTC.....	17
Figura 17. BTC de suelo-cemento macizo de 10x14x29 cm.....	18
Figura 18. Prensa manual CINVA-RAM con medidas de 29x10x14 cm.....	19
Figura 19. Esquema del ensayo (informativo).....	23
Figura 20. BTC fabricado en la investigación de Roux & Espuna.....	29
Figura 21. Octágono con muros de BTC con fibra de coco, con junta de mortero de lodo, la mitad con zócalo y la mitad recubiertos con estuco..	29
Figura 22. (Izq.) Ceniza I. - (Der.) Ceniza II..	31
Figura 23. Ensayo de absorción.....	33
Figura 24. Probetas cilíndricas de tierra comprimida usadas para realizar ensayos al material... 34	34
Figura 25. Bloque de tierra comprimida de 9.5x14x29.5cm con adición de emulsión asfáltica.. 35	35
Figura 26. Ensayo de capilaridad y abrasión realizado a las muestras fabricadas.....	38
Figura 27. Probetas elaboradas para ensayos.....	40
Figura 28. Fibras de plátano que unen las grietas en el BTC durante la falla.	42

Figura 29. Estado de la muestra con 5% de cemento al final del ensayo..	43
Figura 30. Detalle de la prueba de absorción.....	44
Figura 31. Bandejas de ensayo de las probetas a inmersión	44
Figura 32. Preparación del Gel de Origen Natural..	48
Figura 33. Probetas usadas para ensayos. Nota: de la probeta No.6 no se encontró fotografía....	50
Figura 34. Ensayo a compresión a bloques individuales.	53
Figura 35. VIS construida con BTC.	55
Figura 36. Proceso de fabricación del Bloque de Tierra Comprimido..	57
Figura 37. Casa Gómez Mejía.	61
Figura 38. Baño hecho con bloques de cemento en vivienda fabricada con BTC para evitar daños por humedad.....	63
Figura 39. Casa construida en BTC sin estructuras de hormigón.....	66

Introducción

El sector de la construcción durante la ejecución y demolición de una obra, así como en la elaboración de materiales constructivos, es uno de los responsables del deterioro de los recursos naturales, ya que en todos esos procesos se emiten diversos gases contaminantes, se deterioran fuentes de agua subterránea y superficial, se consume energía, gran parte de la materia prima y materiales pétreos no renovables.

La fabricación de bloques y ladrillos de manera tradicional es un emisor directo de gases contaminantes como: óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, gas carbónico y material particulado. En Colombia hay alrededor de 1500 a 2000 hornos que producen un estimado de 350.000 toneladas de ladrillos al mes con un consumo promedio de 0.07 toneladas de carbón por tonelada de ladrillos producidos, los cuales son vinculados con problemas climáticos en ciudades como Medellín y Bogotá, aumentando la contaminación atmosférica.

La finalidad de esta compilación es determinar a través de la información recolectada en publicaciones de universidades de Colombia, México y España y en normas diseñadas para fabricar BTC, si estos bloques con modificaciones físico-mecánicas pueden ser usados en reemplazo de los bloques de arcilla cocida tradicional, haciendo un comparativo de las ventajas y desventajas que poseen cada uno de ellos, para ser usados en la construcción. En el mismo sentido, investigar cuales pueden ser los materiales ecológicos que mejoran las propiedades físicas y mecánicas del bloque como resistencia a la compresión, abrasión y absorción de agua, sin afectar el hecho de ser un material ecológico desde su proceso de fabricación hasta sus componentes.

Resumen

Desde los años ochenta entes internacionales han establecido una serie de normas para proteger y conservar los recursos naturales en los diferentes sectores de crecimiento económico, desarrollando métodos constructivos sostenibles, ecológicos, y amigables con el medio ambiente.

Los bloques de tierra comprimida son un método de construcción sostenible, que puede ser usado para viviendas de uno y dos pisos en sectores vulnerables.

En este documento se exponen las diferentes normas para fabricar BTC, los ensayos y técnicas para hacer un control de calidad completo, además de ocho métodos para modificar físicamente las características del bloque, de los cuales se resaltan elementos como los RCD, la cal, el cemento, las fibras de banano para el mejoramiento de la resistencia a compresión, y los materiales bituminosos para reducir la absorción de agua en el bloque.

Esta monografía busca comparar a través del análisis de información las cualidades que posee el BTC frente a los bloques de arcilla cocida tradicional y demostrar que puede ser un material constructivo eficiente y aplicable a viviendas de uno y dos pisos, así como también estudiar un método y/o material que pueda mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Capítulo 1. Inmersión de la construcción sostenible en Colombia.

1.1. Definición de construcción sostenible

Según el Ministerio de Vivienda de Colombia (2014) “una construcción sostenible es aquella que está en sincronía con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus usuarios”.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) define la construcción sustentable como, “una manera de la industria de la construcción de actuar hacia el logro del desarrollo sostenible, tomando en cuenta aspectos medio ambientales, socioeconómicos y culturales, tales como diseño de edificaciones, rendimiento de materiales y uso de recursos.

La construcción sostenible abarca todos los complementos necesarios para generar una edificación en armonía con su entorno, brindando confort y calidad, haciendo uso de los recursos naturales de la manera más eficiente, a través de nuevas técnicas de construcción para mitigar la contaminación que se genera con los métodos tradicionales.

1.2. Inicios de la construcción sostenible

1.2.1. En el mundo.

Debido a la preocupación por la conservación del medio ambiente se han creado nuevas estrategias para controlar la contaminación, es así como nace en los años ochenta el concepto de desarrollo sostenible, el cual pretende incluir en el crecimiento y progreso de los países la importancia de conservar y preservar los recursos naturales.

Preocupación que se ha manifestado a través de diferentes declaraciones, protocolos, discursos y estrategias, como por ejemplo el informe de Brundtland documento elaborado para la ONU donde se contraponen el punto de vista del desarrollo económico actual con el concepto de sostenibilidad ambiental donde se utilizó por primera vez el término “desarrollo sostenible” el cual plantea “satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” (Construible, 2008).

El evento Cumbre de la tierra en Rio de Janeiro, organizado por la ONU, donde se adoptó un programa de acción para el siglo XXI, llamado PROGRAMA 21 el cual tiene en cuenta temas como salud, vivienda, contaminación del aire, mares, bosques y montañas, la desertificación, el uso de recursos hídricos, la agricultura y residuos.

La Carta de Aalborg, donde 253 representantes de organizaciones internacionales, 80 autoridades locales europeas, gobiernos nacionales, centros científicos, asesores y particulares firmaron para comprometerse a participar en las iniciativas locales del PROGRAMA 21.

En el 2002 se lleva a cabo la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible organizada por la ONU en Johannesburgo, un discurso que pretendía crear consciencia y mostrar la importancia del desarrollo sostenible para que las personas puedan satisfacer sus necesidades sin agredir el medio ambiente, de igual modo hacer que la protección del ambiente sea compatible con el crecimiento económico.

La figura 1 muestra la línea temporal sobre la incursión de la construcción sostenible.



Figura 1. Hitos de la construcción sostenible. Elaboración propia.

1.2.2. Construcción sostenible en Colombia.

El propósito de conservar el medio ambiente inicia desde la Constitución Política de Colombia del 91, donde se encuentran consagrados cerca de 43 artículos, que le asignan al Estado la obligación, al igual que a todas las personas, de proteger las riquezas naturales de la Nación art. 8.º (Reseña Histórica, s.f.).

Colombia es un país donde la economía está basada principalmente en la explotación de sus recursos naturales, por tanto hay que reconocer que la economía y el medio ambiente son opuestos, como lo expresa Johan Holmberg “no existe ninguna evidencia de que las fuerzas de mercado por sí solas podrán proteger el medio ambiente...” (Alfonso, 2011). Sin embargo, hay que resaltar que los niveles de daños ambientales en Colombia disminuyeron después de 1990. Como en el Chocó, donde se redujo la deforestación después de la Ley 99 de 1993.

El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible CCCS es una organización privada sin ánimo de lucro fundada en 2008 en Bogotá comprometida con aumentar el nivel de sostenibilidad de todas las nuevas edificaciones con diversas alianzas estrategias para ampliar el alcance de las iniciativas y la formación de políticas de producción y consumo responsable en entidades públicas y privadas para la industria de la construcción. (CCCS, 2020).

Los logros más destacados del 2018 en temas de construcción sostenible en Colombia de acuerdo a lo señalado por Juan David Lizcano, ex Director ejecutivo del CCCS fueron: el aporte de más edificaciones a mitigar el cambio climático, haciendo uso racional de sus recursos naturales, la presencia de 7 certificaciones de construcción sostenible que han enmarcado proyectos inmobiliarios y la importancia de la construcción sostenible en el país (Argos, 2018).

1.3. Normas y certificaciones sobre construcción sostenible

1.3.1. Normativa.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desarrolló el documento “Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana” que presenta tres objetivos principales relacionados con: racionalizar el uso de los recursos naturales renovables, incluir sistemas o recursos alternativos y minimizar el impacto ambiental, los cuales se centran en cuatro ejes temáticos (agua, suelo, materiales, energía).

Colombia actualmente se encuentran en proceso de normalización por parte del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) de las siguientes normas técnicas:

- Edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda. (MinAmbiente, 2012).
- Productos de guadua. (MinAmbiente, 2012).

→ Prefabricados en concreto. (MinAmbiente, 2012).

Así mismo, se relacionan algunas normas vigentes que apuntan a la conservación del medio ambiente a través de edificaciones sostenibles:

- Decreto 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta el uso de agua y residuos líquidos (MinAmbiente, 2012).
- Ley 373 de 1997 junio 6. Por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro de agua (MinAmbiente, 2012).
- Decreto – Ley 2811 de 1974. Código de recursos naturales no renovables (MinAmbiente, 2012).
- Ley 99 de 1993 Ley Ambiental (MinAmbiente, 2012).
- Decreto 1504 de 1998 Por el cual se reglamenta el manejo del espacio público en los planes de ordenamiento territorial (MinAmbiente, 2012).
- Resolución 0549 de 2015 “Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones” (MinAmbiente, 2012).
- Decreto 1285 de 2015 “Por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones” (MinAmbiente, 2012).

1.3.2. Certificaciones.

Certificación LEED, requisitos que evalúan criterios de sostenibilidad, eficiencia y aprovechamiento del agua, energía, materiales y recursos, calidad del ambiente interior, innovación en el proceso de diseño.

Certificación HQE, es realizado por una empresa internacional que analiza todas las etapas que presentan la edificación (construcción, renovación y operación). La alta calidad ambiental es medida por cuatro objetivos generales, Eco-construcción, Ecogestión, Confort y Salud, para medir el grado de condiciones ambientales con las que el usuario convivirá en la edificación.

Certificado BREEAM, cuyo objetivo es determinar el grado de sostenibilidad ambiental que presenta la edificación, la cual se realiza en cuatro tipos de recinto ya sea una nueva construcción, en uso, reconstrucción o comunidades.

Certificado EDGE, se obtiene mediante la reducción mínimo de un 20% en el uso de cada uno de los siguientes ítems, energía, agua y la energía incorporada en los materiales en el edificio. Estos valores permiten clasificar la construcción con un certificado EDGE Certified, Certificado Advanced y Certificado Zero Carbón.

Certificado REFERENCIAL CASA COLOMBIA, creado en 2013 por el CCCS con el fin de generar un certificado nacional y medir el grado de sostenibilidad que poseen las viviendas en el país. Busca impulsar un cambio en la construcción, ejemplo de ellos es la alianza con el grupo Bancolombia y la creación de línea de crédito verde, que permite obtener un crédito con el fin de construir una vivienda sostenible al cual se le otorgan beneficios especiales como reducción de tasa de interés.

1.4. Estructuras sostenibles desarrolladas a nivel internacional y nacional

1.4.1. A nivel internacional.

Council house 2 (CH2).

En Melbourne, Australia, cuenta con diversos sistemas para el uso eficiente del agua y la energía.



Figura 2. Fachada occidental en madera, fachada norte con turbinas eólicas, fachada sur con conductos verticales. Obtenido: <https://www.melbourne.vic.gov.au>

One Angel Square en Manchester, Inglaterra.

Este edificio de 72.5 metros de alto es considerado el más sustentable de Europa, ya que fue construido con el método BREEAM (Hildebrandt, 2015). Posee el puntaje más alto de acuerdo a dicha clasificación 95.16%, creado y diseñando por la empresa Co-Operative Group.



Figura 3. Vista aérea del One Angel Square. Obtenido:
<http://www.arquitecturaenacero.org>

Existen muchos edificios ecológicos y sostenibles alrededor del mundo, usando nuevas tecnologías. Otros ejemplares: Bullitt Center en Seattle, EE. UU; el Commerzbank. Frankfurt, Alemania; los Jardines Botánicos de Phipps; el Museo del mañana, Río de Janeiro, Brasil; el Parkroyal on Pickering; Torres Al Bahar, Abu Dhabi, Emiratos Árabes; Pearl River En Guangzhou, China.

Proyecto Un Techo, una Habilidad, un Mercado.

Proyecto ganador de los premios Hábitat 2016 otorgados por Building and Social Housing Foundation. Desarrollado en Burkina Faso, Mali, Senegal, Benin y Ghana. Busca a través técnicas de construcción egipcias crear techos abovedados con ladrillos de barro secados al sol.



Figura 4. Iniciativo Un Techo, Una Habilidad, Un Mercado. Obtenido:
<https://www.world-habitat.org>

P. A. T. H.

Por sus siglas en ingles Casas Tecnológicas Accesibles Prefabricadas, diseñada por Philippe Starck y la firma eslovena de casas prefabricadas Riko, con la intención de crear una línea de hogares de alta gama y ecológicas implementando eco tecnologías.



Figura 5. Modelo de casa PATH. Obtenido de: <https://www.ecoticias.com>

1.4.2. A nivel nacional.

Once proyectos recibieron menciones especiales en Construverde Colombia 2016, algunos de ellos: Google Expansión Bogotá; Torre 75 Invernac; Nueva Planta de Hunter Douglas de Colombia, Paralelo 26; Centro Empresarial y Hotelero Oxo 69; ZF Towers; Centro Comercial Ecoplaza (Viviendo.co, 2017).

Edificio Bancolombia.

Cuenta con certificación LEED Gold. Posee una cubierta usada como recolector de aguas lluvias reduciendo en un 40% el agua consumida. La disposición del aire acondicionado en pisos y no en techos permite una reducción del consumo energético cercana al 30% (Argos, 2012).



Figura 6. Edificio Bancolombia. Obtenido de:
<https://www.360enconcreto.com>

BC empresarial.

Galardonado como el primer edificio con certificación LEED Gold en Barranquilla, debido al uso adecuado de materiales y sistemas instalados, con una disminución de 30% en emisiones CO₂, una planta de tratamiento de aguas grises y almacenamiento de aguas pluviales.



Figura 7. Edificio BC empresarial en Barranquilla. Obtenido de:
<https://bcempresarial.co/#>

Otros ejemplos: el edificio de la Embajada de Ecuador en Colombia; el edificio Terpel que cuenta con una certificación que indica que la madera de la fachada fue extraída de bosques cultivados; el Edificio Inteligente de las Empresas Públicas de Medellín; la edificación de Argos.

Casa ecológica hecha de tierra, vivienda Terracota.

Construida por el arquitecto colombiano Octavio Mendoza, con la intención de comprobar que la tierra puede emplearse para la arquitectura habitable. Ubicada en Boyacá, Colombia, construida a base de arcilla cocida al sol. Sin ningún material como refuerzo, hormigón o acero. Cuenta con paneles solares térmicos para el agua caliente en las duchas.



Figura 8. Vivienda Terracota en Boyacá. Obtenido de: <https://inarquia.es>

Proyecto Una Casa Reciclada.

Ubicada en el municipio de Guarne, Antioquia, hecha 100% de materiales reciclados que además de botellas y empaques de tetra pack, funcionará con energía solar (Avendaño, 2017). Considerada la casa más auto sostenible del país.



Figura 9. Casa ecológica Guarné, Antioquia. Obtenido de: <https://www.elespectador.com/>

1.4.3. Construcciones con BTC en Colombia.

La empresa TIERRATEC arquitectura de tierra, se dedica a la producción de BTC, aportando a la disminución de los niveles de emisión de gas carbónico; el proyecto más destacado es la construcción en BTC del conjunto residencial Arborada de Cota, en Cota, Cundinamarca y el proyecto institucional en Usme.



Figura 10. Conjunto residencial Arborada de Cota. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>



Figura 11. Aula ambiental Juan Rey en Usme – Bogotá. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>

Entre los diversos proyectos realizados por la empresa TIERRATEC, están 29 casas modernas levantadas con BTC (ver Figura 12), condominios (ver Figura 13), edificaciones de hasta siete pisos (ver Figura 14), restaurantes (ver Figura 15) y reconstrucciones a edificaciones antiguas con BTC (ver Figura 16).

	
<p>Casa Mauricio Luque en Sopo, Cundinamarca</p>	<p>Casa el Vilano, en el Rosal, Cundinamarca</p>
	
<p>Casa Víctor Ossa en Villavicencio, Meta</p>	<p>Casa Mercedes Borrero en Tabio, Cundinamarca</p>

Figura 12. Casas en BTC. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>

	
<p>Hatogrande reservado en Sopo, Cundinamarca</p>	<p>La pradera de potosí en la calera, Cundinamarca</p>
	
<p>Conjunto la toscana en Sopo, Cundinamarca</p>	<p>Pozo chico en Bogotá</p>

Figura 13. Condóminos en BTC. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>

	
<p>Bosques de Cañada en Bogotá</p>	<p>Edificio Botánica Roca</p>
	
<p>Edificio Bello Horizonte</p>	

Figura 14. Edificios en BTC. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>





	
<p>Restaurante El Techo en Bogotá</p>	<p>Restaurante Shamua en Bogotá</p>
	
<p>Restaurant Café – helados, Cajicá</p>	<p>Estime Sumerce en Ventaquemada, Boyacá</p>

Figura 15. Restaurantes en BTC. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>

	
<p>Casa de la cultura en Envigado</p>	<p>El milagro Subachoque</p>
	
<p>Aguapanelas, Bogotá</p>	<p>Vehimotors, Norte en Bogotá</p>
	
<p>Restauración casa la candelaria Bogotá</p>	

Figura 16. Otras edificaciones con BTC. Obtenido de: <http://TIERRATEC.com>

Capítulo 2. Generalidades del BTC, técnica de fabricación y métodos para la modificación de sus propiedades físicas y mecánicas

2.1. Generalidades del BTC

Fue desarrollado por el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) en la década de los 50, como un producto de investigación para producir materiales económicos y ecológicos.

Los bloques de tierra comprimida BTC (ver figura 17), son un suplente del Adode cocido tradicional que con su proceso de fabricación intenta disminuir la emisión de gases contaminantes, dado que no requiere ser cocido, por lo que se le considera un material sostenible.



Figura 17. BTC de suelo-cemento macizo de 10x14x29 cm. Obtenido de: Bloques de tierra comprimida y tapia: dos técnicas con capacidad portante.

Están compuesto por una masa de suelo, un estabilizante y agua, que deben ser compactados eficazmente para asegurar la calidad del producto e incluso trabajar con suelos que posean mayor plasticidad para generar una mejor adherencia entre las partículas. Dado que su proceso de fabricación no requiere de un sistema de producción sistematizado ni mano de obra calificada, es posible que su ejecución sea realizada en obra, reduciendo costos para su transporte. La materia prima puede ser obtenida en campo, producto de la excavación para la cimentación de la edificación.

En el proceso de fabricación es requerida la CINVA-RAM (ver figura 18), máquina que comprime la materia prima para obtener el BTC con medidas promedios de 30 x 10 x 15 cm, dicho artefacto puede ser mecánico o manual.



Figura 18. Prensa manual CINVA-RAM con medidas de 29x10x14 cm. Obtenido de: Bloques de tierra comprimida y tapia: dos técnicas con capacidad portante.

Los bloques de tierra comprimida no son muy aceptados por la comunidad, debido a la poca comercialización del producto y el desconocimiento de sus propiedades, sin embargo, el objetivo no es industrializar el material, sino mirarlo con un enfoque social para la población vulnerable que puede beneficiarse con la producción del bloque para construir viviendas de interés social a bajo costo y a su vez disminuir la generación de material contaminante.

No hay en Colombia una norma que regule o especifique el proceso de fabricación y/o producción de las unidades de BTC, por lo tanto, se adopta la norma NTC 5324 para bloques de suelo cemento para muros y divisiones como guía en dicho proceso. Además, se tiene en cuenta la norma desarrollada por España UNE 41410 (Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques). A continuación, se muestra las normas presentadas por algunos países:

Tabla 1

Países que cuentan con normas para la modificación y/o fabricación de BTC

Año	País	Norma
1979	Perú	NTP 331.201, NTP 331.202, NTP 331.203
1980	India	IS 2110
1982	India	IS 1725
1985	Turquía	TS 537, TS 2514, TS 2515
1986	Brasil	NBR 8941, NBR 8492
1989	Brasil	NBR 10832, NBR 10833
1990	Brasil	NBR 12025
1992	Brasil	NBR 12023, NBR 12024
1993	India	IS 13827
1994	Brasil	NBR 10834, NBR 10835, NBR 10836
1996	Brasil	NBR 13553, NBR 13554, NBR 13555
	Regional África	ARS 670 - ARS 683
	Túnez	NT 21.33, NT 21.35
1997	Nigeria	NIS 369
1998	Nueva Zelanda	NZS 4297, NZS 4298
1999	Nueva Zelanda	NZS 4299
	Kenia	KS 02-1070
2000	Perú	NTE E 0.80
2001	Francia	XP P13-901
	Zimbabue	SAZS 724
2002	Camerún	NC 102 - NC 114
2004	Italia	Ley n° 378, 2004
2006	Italia	L.R. 2/06
2008	España	UNE 41410
2009	EEUU	NMAC, 14.7.4, 2009
	Sri Lanka	SLS 1382-1, SLS 1382-2 SLS 1382-3
	Burkina Faso	NBF 0.2-001 - NBF 0.2-008
2010	EEUU	ASTM E2392 M-10

Nota: Adaptado de (J. Cid, 2010).

2.2. Normas aplicadas al BTC para control de calidad

Ensayo de resistencia a compresión de acuerdo a la norma UNE 41410.

El valor mínimo de resistencia a la compresión debe ser el indicado en la tabla 2.

Tabla 2

Resistencia mínima a la compresión de acuerdo a la UNE 41410

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, f_c (fractil 5%), en N/mm ²	1.3	3	5

Nota: BTC1: bloque de tierra comprimido clase 1; BTC3: bloque de tierra comprimido clase 3; BTC5: bloque de tierra comprimido clase 5. Fractil 5%: se permite que el 5% de los ensayos fallen. Obtenido de: (UNE41410, 2008).

Resistencia a la compresión seca de acuerdo a la NTC 5324.

Este ensayo consiste en secar la muestra en estufa hasta que su masa sea constante.

Recortar transversalmente cada bloque en dos partes iguales, sobreponer las dos mitades una encima de otra, humedecer sus caras y colocar una capa de mortero de cemento de 10mm de espesor. Después de endurecido el mortero, aplicar una carga continua con una prensa hidráulica a una velocidad constante de 0,02 mm/s aumentando la presión de 0,15 MPa/s a 0,25 MPa/s hasta la rotura de la probeta, (NTC5324, 2004). Debe cumplir con lo establecido en la tabla 3.

Tabla 3

Resistencia mínima a la compresión seca

Bloques llenos	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima (R) para la fracción de 0,05 – en MPa	2	4	6

Nota: BSC 20: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 2Mpa; BSC 40: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 4Mpa; BSC 60: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 6Mpa. Obtenido de: NTC 5324.

Resistencia a la compresión húmeda de acuerdo a la NTC 5324.

Se siguen los mismos lineamientos realizados en el ensayo de compresión seca. Difiere la preparación de la muestra pues esta se debe sumergir por completo en agua durante 2 horas, luego limpiarlo con un trapo húmedo (NTC5324, 2004). Deben cumplir con la resistencia mínima establecida en la tabla 4.

Tabla 4

Resistencia mínima a la compresión húmeda

Bloques llenos	BSC 20	BSC 40	BSC 60
Resistencia mínima (R) para la fracción de 0,05 – en MPa	1	2	3

Nota: BSC 20: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 1Mpa; BSC 40: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 2Mpa; BSC 60: bloque de suelo cemento con una resistencia mínima de 3Mpa. Obtenido de: NTC 5324.

Resistencia a ciclos de humectación/secado de acuerdo a la norma UNE 41410.

Consiste en realizar 6 veces la inmersión del bloque en un recipiente, sumergiéndolo 10 mm por un tiempo de 30seg, terminada cada inmersión se debe dejar secar el bloque al aire libre hasta que tenga el mismo color del bloque en condiciones seca. En la sexta inmersión se deja secar completamente y se observa que no presente ninguna de las siguientes condiciones: grietas aleatorias, grietas en estrella, hinchamiento local, picado local en al menos 5 zonas, pérdida general o local de capas de suelo, penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC, pérdida de fragmento mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro, eflorescencia en la superficie. Si la unidad de BTC presenta alguna de las condiciones descrita anteriormente se le considera no apto.

Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET) de acuerdo a la norma UNE 41410.

Consiste en dejar caer una gota de agua constante durante 10 minutos a una altura de 1 metro donde el bloque debe estar con una inclinación de 27° respecto a la horizontal, terminado el tiempo de ejecución del ensayo se procede a medir la profundidad (D) con una varilla de diámetro de 3 mm preferiblemente para establecer si el bloque es apto (véase figura 19). La tabla 5 muestra los valores de la profundidad para aceptar el BTC.

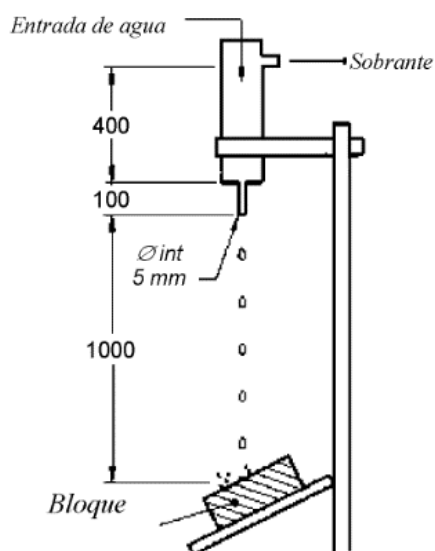


Figura 19. Esquema del ensayo (informativo). Obtenido de: (UNE41410, 2008).

Tabla 5

Valores de profundidad (D)

Propiedad	Criterio	Resultados
D, profundidad de la oquedad, en mm	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

Nota: obtenido de: (UNE41410, 2008).

Ensayo de absorción de agua por capilaridad de acuerdo a la norma UNE 41410.

En un recipiente verter agua hasta obtener una lámina de unos 3 mm de profundo. Luego ubicar en el interior del recipiente el bloque con la cara seleccionada hacia abajo. Pasado 1 minuto, sacar la probeta del agua, secarla ligeramente con un paño húmedo y pesarla en la balanza, devolver la probeta al recipiente lo más rápido posible. Así sucesivamente al menos 7 veces durante una hora. Las probetas no deben mojarse por otro lado que no sea la cara seleccionada para ser sumergida. (Ariza, s.f, p.5).

2.3. Técnica de fabricación

A continuación, se mencionan algunos pasos determinados fundamentales en la ejecución de los BTC sin presencia de estabilizantes y/o materiales para modificar sus propiedades:

2.3.1. Identificación de la materia prima.

El primer paso para la fabricación de un BTC es determinar las condiciones del terreno, que se hace a través de la estimación del porcentaje de arena, arcilla y limo presente en el suelo para así establecer qué material particular se le debe agregar para que el terreno cuente con las proporciones óptimas. De acuerdo al sitio web Open Source Ecology, (2016) la dosificación adecuada es 15-40% arcilla, un 25-40% limo y un 40-70% arena o grava, de igual manera en los estudios realizados para la revista UPTC de Tunja, Boyacá, (2011) los bloques de tierra comprimida con adición de cementantes se obtienen a partir de la mezcla de tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%), Rubén Roux, sugiere porciones de tierra en 82%, arena 6% y cemento de 5% - 10%.

Los BTC pueden ser fabricados con materiales procedentes de excavaciones de cualquier índole, sea de una cimentación superficial o profunda, es importante no mezclar estos materiales para evitar masas de suelos con propiedades físicas combinadas como textura, color, consistencia, porosidad y densidad que dificultan identificar la raíz de procedencia del terreno.

A continuación, en la tabla 6 se muestran las propiedades principales que se deben conocer del suelo para la producción del BTC, lo cual permite estimar la variabilidad de fabricación y determinar si se necesita de un estabilizante para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, con el fin de mejorar la calidad final.

Tabla 6

Principales propiedades de la tierra

PROPIEDAD	ANÁLISIS DE LABORATORIO	PRUEBA DE CAMPO
Propiedades químicas: Sales, óxidos, sulfatos, etc.	Ensayos químicos	Aspecto (color, olor, tacto)
Propiedades físicas: Granulometría	Ensayos granulométrico	Prueba del rollo o la cinta
	Ensayo sedimentométrico	Prueba de la botella
Plasticidad	Límites de Atterberg	Prueba de la pastilla
Compresibilidad	Ensayo Proctor	Prueba de la bola

Nota: La prioridad de los ensayos varía de acuerdo al autor. Obtenido de: La arquitectura construida en tierra, 2010.

Si de ser necesario las unidades de BTC requieren de algún estabilizador (cemento y/o cal) para mejorar sus propiedades, este deberá tener un porcentaje menor o igual al 15% de la masa seca del BTC de acuerdo a la norma UNE 41410.

2.3.2. Homogeneidad de las partículas del terreno.

Dado que la particularidad del cualquier suelo es poseer diversidad en el tamaño de sus partículas, es necesario emplear un tamiz que permita obtener la homogeneidad del material, con el fin de utilizar un material sin agregados grandes que pueda producir fallos en las unidades de BTC. Los autores Karen Bustamante y Danny Mendoza en su trabajo titulado *BTC con adición de ceniza de bagazo de caña como solución a la autoconstrucción de vivienda en zona rural del municipio de Nimaima* establecen que se debe desintegrar la tierra para que pueda pasar por un tamiz #4 (4,8 mm), no es aconsejable partículas superiores a 5mm.

2.3.3. Determinación de la humedad ideal y secado del suelo.

Para ello se recomienda realizar el ensayo de Proctor, dado que este permite establecer la cantidad de agua que debe poseer el suelo para ser compactado. Una vez determinada la cantidad de agua requerida, debe realizarse el secado del suelo y dejarlo disgregado entre sus partículas para ser amasado más adelante.

Para conocer la humedad adecuada se debe tomar un puñado de tierra y presionarla con la mano hasta formar una bola la cual se arroja al piso de una altura aprox. de 1 m, esta no debe desintegrarse en su totalidad. Si se consigue marcar los dedos en la mezcla quiere decir que su humedad no es la adecuada. Si por el contrario al arrojarla la bola se mantiene compacta sin sufrir desmoronamiento su humedad es excesiva. (Bustamante & Mendoza, 2017, p.22)

2.3.4. Preparación del material.

Este proceso consiste en la mezcla del material seco con el porcentaje de agua establecido para obtener las unidades de BTC, se debe hacer de forma constante y lenta para asegurar que todo el material quede con el contenido ideal de agua antes de ser compactado.

Es importante tener en cuenta el tiempo de preparación, puesto que la materia prima puede perder humedad por agentes externos como sol, aire, entre otros, lo que puede afectar la compactación. Es por ello que se recomienda que dicho proceso sea ejecutado en lugares con poca presencia de luz solar y aire.

2.3.5. Compactación, desmonte y secado.

La compactación puede describirse como el procedimiento más crítico en la fabricación del bloque, ya que si no se realiza de la forma correcta se puede producir agrietamiento por falta de compactación entre las partículas. Este proceso debe ser realizado de forma constante, sin interrupciones.

Después de preparada la mezcla, se limpia y lubrica el recipiente de la máquina, se vierte la mezcla en tres capas, entre las cuales se ejerce presión en las cuatro esquinas y en el centro para obtener un llenado uniforme y reducir espacios de aire, en la tercera capa se enrasa y se verifica que no queden vacíos en la superficie, se cierra el recipiente y se acciona el mecanismo bajando la palanca de la máquina. (Vásquez, Botero & Carvajal, 2015, p.211).

Luego se debe desmontar la unidad de BTC del encofrado de forma cautelosa para evitar deformaciones y daños en el bloque por manipulación. Por otra parte, se debe disponer de un

recinto el cual presente poca ventilación y luz solar para evitar fisuras en los BTC por secados rápido causados por los agentes externos.

Los bloques deben colocarse en filas, con una pequeña separación entre ellos para ventilación, apilándose hasta cinco veces su altura individual y cubriéndose con un plástico de color oscuro para mantener una temperatura y humedad más elevadas en caso de empleo de aglomerantes. (Seisdedos, 2010, p.293).

2.4. Métodos para la modificación de las propiedades físicas y mecánicas de los BTC

Dado que algunos suelos no presentan las propiedades físicas y mecánicas óptimas requeridas para obtener un BTC de calidad de acuerdo con la norma UNE 41410 y la NTC 5324, se presentan ocho materiales para modificar dichas propiedades.

2.4.1. Adición de fibras de coco al BTC.

Rubén Roux y José Espuna, realizaron una investigación en la parte sur del estado Tamaulipas, México la cual tenía como objetivo determinar la viabilidad que presenta el añadir fibra de coco a las unidades de BTC para mejorar la resistencia a compresión (ver figura 20). Se decide utilizar la fibra ya que esta presenta buenas condiciones físicas (resistencia a la tensión) y químicas (resistencia a sales, ácidos y álcalis).



Figura 20. BTC fabricado en la investigación de Roux & Espuna. Obtenido de: Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales, 2012.

La investigación se desarrolló en dos etapas; la primera en el laboratorio para determinar el porcentaje de fibra de coco adecuado; la segunda etapa fue la construcción de seis módulos experimentales que constan de 16 muros orientados a los ocho puntos cardinales (ver figura 21), con el fin de evaluar la durabilidad y resistencia a hongos y bacterias de los muros, en la zona (Roux & Espuna, 2012). Se determinaron valores de 0.5%, 1%, 1.5%, 2% de fibra de coco del peso total seco del material y un 6% de cemento portland tipo I. Las prensas usadas para la fabricación de los BTC fueron la CINVA-RAM (mecánica) y la ADOPRESS 2000 (hidráulica).

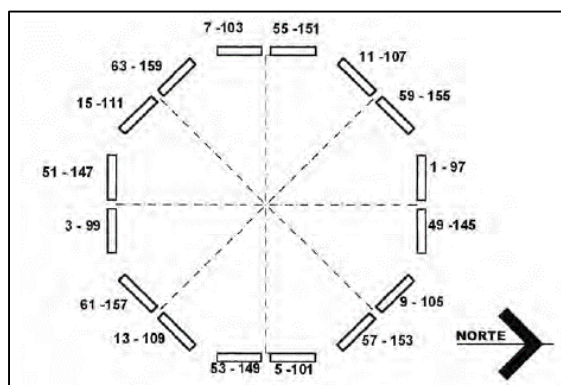


Figura 21. Octágono con muros de BTC con fibra de coco, con junta de mortero de lodo, la mitad con zócalo y la mitad recubiertos con estuco. Obtenido de: (Roux & Espuna, 2012).

En la siguiente tabla se presentan las normas que cumplió el BTC con fibras de coco:

Tabla 7

Normas y parámetros que cumplió el BTC con adición de fibras de coco

Características	Norma	Promedio	Valor individual
Tipo de bloque	ARS-674-1996	BTC tipo 1	BTC tipo 1
Resistencia a la compresión simple	NOM-C-36-1974 ARS-674-1996	> -2.0 MPa	> -4.0 MPa
Absorción	NOM-C-38-1974	20%	22%
Resistencia a la flexión	ARS-674-1996 ASTM-C-120-94		> -0.4 MPa > -0.3 MPa
Permeabilidad		0.08 Vf	0.08 Vf
Abrasión	ARS-674-1996	10%	10%

Nota: Vf: velocidad final de infiltración. Obtenido de: (Roux & Espuna, 2012).

En los ensayos de absorción y permeabilidad no se comprobó mejor comportamiento, pues la fibra dejó huecos en el bloque que permitió el ingreso de agua, pero en los BTC realizados con prensa hidráulica se obtuvo un mejor comportamiento, pues se logró una reducción de 23.12% en la absorción y de del 47.09% en la permeabilidad (Roux & Espuna, 2012).

En cuanto a la resistencia a la compresión seca se obtuvieron resistencias entre 1Mpa y 2,66Mpa, la compresión húmeda por su parte obtuvo valores entre 1Mpa y 5Mpa, siendo los valores mínimos de los BTC fabricados en prensa manual y los máximos en prensa hidráulica. Los mejores resultados se dieron en los bloques con el 2% de fibra de coco, 50% de arena, 50% de arcilla, 6% de cemento, 10,2% de agua, en prensa hidráulica, 6,33Mpa en promedio. En la prensa manual se logran buenos resultados con el 0,5% de fibra de coco, 50% de arena, 50% de arcilla, 6% de cemento, 10,5% de agua, 2,66Mpa en promedio. (Roux & Espuna, 2012).

Con respecto a las pruebas químicas, manifestaron que la fibra de coco no varía los valores de resistencia a los ácidos, ni a los álcalis, ni facilita la generación de bacterias.

2.4.2. BTC con adición de Ceniza de Bagazo de Caña (CBC).

De acuerdo a Karen Bustamante y Danny Mendoza (2017) la idea de agregar ceniza de bagazo de caña a los BTC surge para aprovechar los residuos de cenizas de bagazo de caña que se generan en los procesos de fabricación de panela, ya que dicho residuo tiene propiedades puzolanas ricas en sílice, lo que podrían disminuir el porcentaje de cemento usado o en su defecto lo reemplazaría por completo, para producir unidades de BTC más ecológicas y reducir costos de fabricación.

Un material es considerado puzolánico cuando en su composición hay un 70% de óxido de aluminio, óxido de hierro y óxido de calcio. En la ceniza de caña de azúcar (CBC) se ha encontrado hasta un 95% de estos elementos (OSSA, 2013). (Bustamante & Mendoza, 2017).

Dado que en el proceso de fabricación de la panela se usa guadua, entre otros más para generar la combustión en los hornos, se decide tomar dos tipos de muestras las cuales son (ver figura 22):

- CBC I, Ceniza de caña de azúcar
- CBC II, combinación de la ceniza de caña de azúcar con las demás cenizas de las maderas implementadas para la combustión del horno.



Figura 22. (Izq.) Ceniza I. - (Der.) Ceniza II. Obtenido de: (Bustamante & Mendoza, 2017).

En la tabla 8 se muestran las dosificaciones de cemento y ceniza con su nomenclatura, seleccionadas para diseñar las probetas de bloques de tierra comprimida:

Tabla 8

Diseño proporción cemento CBC

# Mezcla	CEMENTO	CBC – I	CBC – II
1-A	100%	*	*
2-A	75%	25%	*
3-A	50%	50%	*
4-A	25%	75%	*
5-A	75%	*	25%
6-A	25%	*	75%

Nota: Proporciones propuestas por el autor. Obtenido de: (Bustamante & Mendoza, 2017).

Las unidades de BTC fueron fabricadas de 30x15x9.5 cm y sometidas a ensayos de flexión, compresión, absorción e inmersión, se tomó como referente una unidad de adobe autóctono con medidas de 29x14x7 cm y más de 35 años de vida, fabricado para la construcción de vivienda en zona rural de Namaima, Cundinamarca.

A continuación, se muestran los valores obtenidos en los ensayos realizados en los BTC:

Tabla 9

Resultados de los ensayos de laboratorio hechos a los BTC con adición de CBC

MEZCLA	Ensayos de laboratorio			
	Absorción (%)	Resistencia flexión (Mpa)	Resistencia compresión (Mpa)	Inmersión (%)
Referente	6.7	1	2	0
1-A	12	1	1.7	0.34
2-A	7.8	0.4	1.4	0.48
3-A	11.6	0.2	1	0
4-A	10	0.1	0.72	0.07
5-A	8.4	0.6	1.6	0.02
6-A	0	0.05	0.97	0

Nota: ensayos realizados de acuerdo a la NTC 5324. Adaptado de (Bustamante & Mendoza, 2017).



Figura 23. Ensayo de absorción. Obtenido de: (Bustamante & Mendoza, 2017).

En los ensayos de absorción los resultados no fueron satisfactorios, dado que los BTC con adicción de CBC presentan un mayor porcentaje, que el obtenido con la unidad de referencia, lo que sugiere que la ceniza presenta un alto grado de hidratación.

Así mismo en el ensayo de inmersión se obtuvo que los BTC presentan también un alto grado de vulnerabilidad al ser sumergido puesto que empiezan a disgregarse sus partículas.

Los valores de resistencia a flexión están por debajo de lo mínimo que permite la norma de 1Mpa. La mejor mezcla para fabricar BTC en la vereda Cálamo del municipio de Nimaima es con 40% arcilla, 60% arena, 7.5% cemento y 2.5% de CBC II.

2.4.3. BTC con adición de materiales bituminosos.

Según (Beas Guerrero de Luna, 1993) la mezcla de aditivos acrílicos en materiales provenientes de la tierra mejorar la resistencia a la abrasión, pero reduce significativamente la transmisión de vapor y aumenta la capilaridad, además se establece que el uso de etil-silicato se comporta como acrílico, y ocasiona que los

elementos fabricados en tierra sean más resistentes al agua. (Cañola, Jaramillo, Medina & Castañeda, 2018, p. 137).

En los ensayos realizados por Cañola, Jaramillo, Medina y Castañeda, (2018) para determinar el comportamiento físico mecánico de los BTC con la adición de compuestos bituminosos se estudió la absorción capilar, resistencia a la compresión y a la penetración del agua, en probetas cilíndricas de tierra comprimida y en el bloque. En los BTC se evaluó: penetración de agua (método RILEM) módulo de elasticidad y resistencia a la compresión, en las probetas cilíndricas se estudió la porosidad efectiva, la resistencia a la penetración de agua, el coeficiente y la velocidad de absorción capilar.

Lo bloques fueron diseñados con dimensiones de 9.5x14x29.5cm (ver figura 25), siguiendo los parámetros de la NTC 5324; las probetas se fabricaron según lo establecido en la norma UNE PrUNE 83.982 y ASTM C1585-04 con dimensiones de 10cm de diámetro y 5cm de alto (ver figura 24). El material de estudio proviene del Municipio de El retino, Antioquia; a las probetas se le agregaron cemento Portland tipo 1, emulsión asfáltica en frio y agua.



Figura 24. Probetas cilíndricas de tierra comprimida usadas para realizar ensayos al material. Obtenido de: (Cañola, Jaramillo, Medina, & Castañeda, 2018).

Se usaron proporciones para limo de alta plasticidad de 76% del peso total de tierra, 8% de cemento y 16% de agua, luego se le agrega la emulsión en proporciones de 25%, 50%, 75% y 100%, respecto al peso del agua. Luego, se comprimió la mezcla en una CINVA – RAM hidráulica a una presión constante de 14 MPa durante 1 min, fueron secados durante 14 días al ambiente (Cañola, Jaramillo, Medina, & Castañeda, 2018).

A partir de los ensayos realizados a las muestras se llegó a la conclusión que las emulsiones asfálticas sí puede influir en la absorción de humedad de los BTC mejorando esta condición, aunque debe tenerse en cuenta la dosificación adecuada, puesto que este material puede afectar la resistencia del bloque. La proporción optima de material bituminoso es del 50%, ya que permite mantener una resistencia a la compresión aceptable (2,3Mpa) y valores de absorción capilar de (0,027 kg/ s^{1/2} m²) aunque no sean considerados hidrófugos. (Cañola, Jaramillo, Medina, & Castañeda, 2018).



Figura 25. Bloque de tierra comprimida de 9.5x14x29.5cm con adición de emulsión asfáltica. Obtenido de: (Cañola, Jaramillo, Medina, & Castañeda, 2018).

De acuerdo a los estudios hechos por Echavarría y Cañola, (2017) en bloques de concreto con emulsión de parafina concluyen que la adición del 20% de parafina presentar un coeficiente absorción capilar menor que 0,007 (kg / (s^{1/2} m²)) y se es posible clasificar la mezcla como un material hidrófugo, es decir, que evita la humedad y las filtraciones de agua.

2.4.4. BTC con adición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

Otro material que puede ser usado en la fabricación de los BTC es el RCD (residuos de construcción y demolición). La investigación realizada por Vásquez, Botero y Carvajal, (2015) hace hincapié en el ciclo Reciclaje-Fabricación-Uso-Reciclaje, por lo cual plantea una alternativa para fabricar BTC con RCD como reemplazo a la arena que debe añadirse a ciertos suelos que no cumplen con las dosificaciones adecuadas para trabajarlos.

De acuerdo con Gernot Minke, la tierra con una óptima distribución granulométrica para elaborar un BTC es aquella que contenga un 14% de arcilla, 22% de limo y 64% de arena, lo cual hace necesario agregar arena a la tierra extraída (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2015). Normalmente la adición de arena depende del tipo de suelo, por lo general varía en un rango de 40% y 60% del peso total de la mezcla. Debido a que la arena es un material fundamental en la fabricación de los BTC, pero a su vez es un agregado pétreo no renovable, se busca reciclar material de excavaciones y demoliciones de otros proyectos para mitigar el uso de este material. Teniendo en cuenta fabricar los bloques conforme a lo establecido en las normativas vigentes.

Se ha estimado una generación en promedio de 6700 ton/día de RCD desde 2000 a 2010 en el Valle de Aburrá y Oriente Cercano, sin contar los residuos generados por obras públicas, reformas y adecuaciones que representan al menos el 10% del total de residuos, convirtiéndose en un generador de contaminación, pues dicho material termina en su mayoría en los rellenos sanitarios.

Las dosificaciones usadas para el estudio se encuentran en la tabla 10.

Tabla 10

Dosificaciones con adición de RCD

Nombre de la muestra	Composición			
	Tierra	Cemento	Arena	RCD
BC1	45%	5%	50%	0%
BC2	35%	5%	60%	0%
BC2	25%	5%	70%	0%
BCRCD1	45%	5%	0%	50%
BCRCD2	35%	5%	0%	60%
BCRCD3	25%	5%	0%	70%

Nota: obtenido de: (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2015).

La tierra utilizada fue limo de alta plasticidad. Los BTC fabricados en la maquina CINVA – RAM. A los bloques se les hicieron ensayos de resistencia a la compresión, capilaridad y abrasión de acuerdo a la NTC 5324. Cabe mencionar que el fin de este procedimiento no fue alterar y/o modificar las propiedades físico-mecánicas de los BTC, sino más bien reducir el uso de los materiales no renovables utilizados en su fabricación.

Al analizar los resultados se encontró que los BTC fabricados con RCD poseen mayor resistencia a la compresión que los fabricados con arena convencional. Estos bloques cumplen con lo establecido en la NTC 5324 y pueden ser usados en la construcción para bloques de suelo-cemento correspondientes a los BSC 20 y BCS 40. Los bloques con adición del 40% de arena convencional son los que presentan las mejores resistencias a la compresión, abrasión y son poco capilares. Los BTC que presentar un mejor comportamiento son aquellos que poseen un 70% de RCD, pues soportan esfuerzos a compresión de hasta 5,74Mpa, poseen un coeficiente de capilaridad entre 30 y 35, la resistencia a la abrasión supera el límite superior establecido por la NTC 5324 (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2015). En la figura 26 se presenta el BTC fabricado en esta investigación.

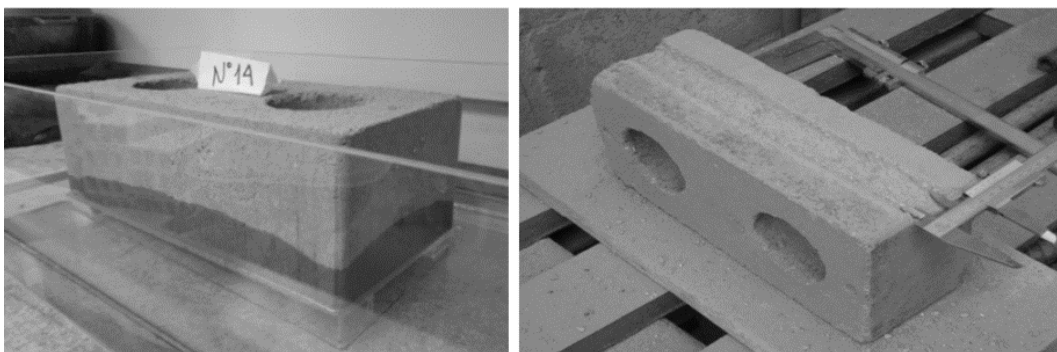


Figura 26. Ensayo de capilaridad y abrasión realizado a las muestras fabricadas. Obtenido de: (Vásquez, Botero, & Carvajal, 2015).

En otra investigación hecha por Mejía y Carvallo, (2018) donde se elaboraron BTC estabilizados con cemento y agregándoles RCD. Se usaron 300kg de suelo tamizado clasificado por el sistema AASHTO No plástico A-1-b, material granular compuesto por grava y arena, 100lt de agua potable, 300kg de arena gruesa de cantera y 400kg de RCD con $f'c=240 \text{ kg/cm}^3$ con un diámetro de 5mm después de triturado. Los porcentajes de dosificación se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 11

Dosificación con RCD

TIPO	PESO kg	Dosificación en porcentaje				AGUA ml
		% SUELO	% ARENA	% RCD	% CEMENTO	
BTC 1	40	50	45		5	
BTC 2	50	45	50		5	
BTC 3	50	35	60		5	
BTC 4	50	25	70		5	
BTC + RCD 1	40	50		45	5	1600
BTC + RCD 2	50	45		50	5	2180
BTC + RCD 3	50	35		60	5	3610
BTC + RCD 4	50	25		70	5	4100

Nota: Dosificaciones definidas por el autor. Fuente: (Mejía & Carvallo, 2018).

Para garantizar homogeneidad todos los agregados fueron pasados por un tamiz ECO PER 24-R de 5mm, evitando así medidas superiores que puedan generar puntos críticos. En la tabla 12 se muestran las cantidades agregadas a cada muestra en kg.

Tabla 12

Dosificaciones con RCD en kg

Componentes por cantidades kg						
TIPO	PESO kg	SUELO kg	ARENA kg	RCD kg	CEMENTO kg	AGUA ml
BTC 1	40	20	18		2	
BTC 2	50	22	25		2,5	
BTC 3	50	17,5	30		2,5	
BTC 4	50	12,5	35		2,5	
BTC + RCD 1	40	20		18	2,5	1600
BTC + RCD 2	50	22		25	2,5	2180
BTC + RCD 3	50	17,5		30	2,5	3610
BTC + RCD 4	50	12,5		35	2,5	4100

Nota: Dosificaciones definidas por el autor Fuente: (Mejía & Carvallo, 2018).

De acuerdo a los datos obtenidos de los ensayos, principalmente resistencia a compresión, absorción de agua y capilaridad, los demás ensayos fueron para determinar las propiedades de los BTC como contenido de material orgánico, humedad y consistencia. Se logró producir un bloque con un comportamiento acorde a lo establecido en NTC 5324, superando al BTC con arena tradicional, con una dosificación del 70% de RCD, un coeficiente de absorción entre 30 - 35, un coeficiente de abrasión de 42,49 y una resistencia a la compresión seca de 8,03Mpa en promedio, clasificándolo como mampuesto para muros y divisiones (BSC 60). A continuación, en la figura 27 se muestran las probetas diseñadas para realizar dicho estudio.



Figura 27. Probetas elaboradas para ensayos. Obtenido de: (Mejía & Carvalho, 2018).

2.4.5. BTC con adición de fibras de plátano.

Las fibras de plátano poseen ciertas cualidades que pueden ser útiles para los BTC, como su baja densidad, peso ligero, bajo costo, alta resistencia a la tracción, al fuego, repelen el agua, y son un material amigable con el medio ambiente, y se encuentra como desecho agrícola en los cultivos de banano. En la investigación realizada por Mostafa y Uddin, (2016) en la Universidad de Alabama, Birmingham, se estudió la adición de fibras de banano a los bloques de tierra comprimida.

Se ha demostrado que las fibras naturales en los BTC reducen el tamaño de las grietas por contracción y mejoran la durabilidad. Por lo general, los BTC se forman usando una mezcla (en peso) de agregado de arena angular (40–70%), suelo arcilloso (30–60%), cemento (4–10%) y agua (8–12%) (Mostafa & Uddin, 2016). La resistencia a compresión del bloque depende en gran medida de su densidad y del porcentaje de estabilizador usado, una resistencia 3-4 MPa es dada por un 7% de cemento en una composición arenosa de acuerdo a lo investigado por Mostafa y Uddin.

Usar fibras de plantas de crecimiento acelerado pueden verse con una alternativa sostenible, las plantas que producen alta biomasa suelen considerarse sustitutos adecuados en

industrias. Las fibras de banano son extraídas de los troncos, con cortes longitudinales, después son pasados por una máquina de extracción de fibra, conocida como decortificador mecánico.

Las fibras de banano poseen materiales de lignocelulosas que contienen celulosas, hemicelulosas, lignina y pectina, los cuales se asocian a la resistencia y determinan la calidad de la descomposición de las fibras. Los BTC o CEB por sus siglas en inglés, en este estudio B-CEB para aquellos con adición de fibras de plátano. En la siguiente tabla se muestran las proporciones usadas para la mezcla.

Tabla 13

Proporciones de materiales usados para fabricar un B-CEB

Mezcla	Proporción	Relación
Arcilla	35%	En relación a la mezcla seca (arena, arcilla, agregado)
Arena	35%	
Agregado	30%	
Cemento	7%	En relación al total de la mezcla seca
Fibra de banano	0% - 5%	En relación al cemento
Agua	10% - 12%	

Obtenido de: (Mostafa & Uddin, 2016).

La fibra de plátano utilizada fue del tipo Poovan con un diámetro de 0,142mm, una Resistencia a tracción de 115,5Mpa y 1,23% de deformación, extraídas en paquetes de 1,5 metros de largo aprox; luego se separaron y cortaron en trozos de longitudes entre 50 mm y 100 mm (Mostafa & Uddin, 2016). Los ensayos realizados fueron resistencia a la compresión y módulo de rotura (ensayo deflexión de tres puntos).

De acuerdo a los resultados, la resistencia a la compresión fue en promedio 7 veces más que a flexión. Los B-CEB con fibras de 60mm y 70 mm obtuvieron resistencia a la compresión con un aumento de 71% y 68% comparado con los bloques sin fibras. Estas fibras parecían distribuir la tensión en todo el material (ver figura 28), lo que mejoro la resistencia a la tracción y

compresión, este aumento en la tenacidad es posiblemente el resultado más importante, pues amplía la forma de utilizar dicho material para mejorar las propiedades de los BTC.



Figura 28. Fibras de plátano que unen las grietas en el BTC durante la falla. Obtenido de: (Mostafa & Uddin, 2016).

2.4.6. BTC con la adición de cementantes hidráulicos.

Cemento.

El cemento es el estabilizante más usado, pues por ser aglomerante, en presencia de agua puede unir de manera más eficiente las partículas de tierra. Es importante tener en cuenta la compactación, pues entre menos presión, mayor cantidad de cemento y viceversa, según la bibliografía el contenido de cementantes hidráulicos debe ser menor al 10% si se lo que se quiere es reducir costos.

Echeverry y Jaramillo, (2017) realizaron un estudio a BTC con estabilizantes, donde se usaron suelo (90%) y cemento (3% al 5%). En esta investigación se estudió las propiedades del bloque de forma individual y un murete con un bloque cortado en dos partes, con mortero de pega 1:3, espesor de 1cm y dosificaciones de arcilla (0%, 5%, 10%, 20%). La humedad determinada en el ensayo de Proctor fue de 29,4%.

Con dosificaciones de cemento entre el 3% y 5%, no se lograron resultados satisfactorios, pues la resistencia a la compresión obtenida en promedio fue de 1Mpa, y lo aceptado por la NTC

5324 es 2Mpa. Para el material utilizado el cual poseía un porcentaje de arcilla natural de 14,64%, no fue adecuado añadirle más, por tanto, este no es óptimo para fabricar BTC.



Figura 29. Estado de la muestra con 5% de cemento al final del ensayo. Obtenido de: (Echevery & Jaramillo, 2017).

En las investigaciones realizadas por Morales, Ortiz y Alavéz, (2007), que tiene como finalidad establecer los porcentajes de cementos necesarios para generar la resistencia a compresión mínima en las unidades de BTC exigidas por la norma mexicana de construcción “muestreo y prueba de materiales”, se trabajó con una arena arcillosa a la cual le fueron aplicados 2% de cemento aumentando de dos en dos hasta llegar al máximo del 16%, se fabricaron 5 BTC sin adicción de cemento para comparar.

Se concluyó que solo los bloques que cuentan con un 4% de cemento, presentan un aumento mínimo en su resistencia a la compresión a la primera grieta con un valor de 3,90Mpa en comparación con los BTC sin cemento. En el rango del 8% al 16% de cemento, las unidades muestran valores moderados de 6,86Mpa hasta 9,80Mpa. Por otra parte, en los ensayos de resistencia a flexión con un porcentaje mínimo del 12% de cemento estos alcanzan de 0,98Mpa.

En los ensayos de absorción de acuerdo con la Norma de Construcción, Muestreo y Pruebas de Materiales Parte Segunda, se comprobó la vulnerabilidad de los BTC frente a la

humedad puesto que las unidades con un porcentaje menor al 4% de cemento se disgregaron por el contacto con el agua (ver figura 30), además los que tenían un porcentaje mayor presentaron un aumento en su humedad inicial.



Figura 30. Detalle de la prueba de absorción. Obtenido de: (Morales, Ortiz, & Alavéz, 2007).

En los estudios realizados por María Laguna, concluyen que a mayor edad de curado mayor resistencia, los resultados más significativos se producen a partir de los 56 días de curado. Las pruebas fueron realizadas a probetas en lugar de BTC (ver figura 31). En las pruebas realizadas a las probetas con adición de cemento portland, ensayadas a los (1, 7, 14, 28, 56 y 90 días). Se concluyó que esta adición aumenta los requerimientos de agua, pues el cemento absorbe parte de esta, cuanto menor es la presión de compactación utilizada, mayor es el requerimiento de agua y menor la densidad seca máxima alcanzada (Laguna, 2011).



Figura 31. Bandejas de ensayo de las probetas a inmersión. Obtenido de: (Laguna, 2011).

Rubén Roux, investigó qué resistencia podría generar al agregar cemento a una arcilla con limos de baja plasticidad, con una dosificación de un 60% de arcilla, 39% de arena y 1% en ixtle (fibra vegetal). Fue tomado como referente la norma NMX-C-6-1976, la cual establece un valor mínimo de resistencia a la compresión simple para adobes de 3,92Mpa en unidades individuales y un 4,90Mpa para el promedio de 5 piezas ensayadas, con dimensiones de 9x14x28 cm.

Las proporciones de cemento fueron de 6%, 8% y 10% del peso total de la muestra, dando resultado de resistencia a la compresión un valor medio para rotura total de 4,06Mpa para el 6%, para un 8% de 7.62Mpa, y en un 10% un valor de 11.84Mpa, de los cuales se cumplen con la norma descrita anteriormente.

Por otra parte, se hizo la prueba de absorción de agua según la NOM-C-37-1986, la conclusión fue, en promedio para la mezcla de 6% de cemento, de 5.74% de absorción; para la mezcla de 8%, de 1.23%; y para la mezcla de 10%, de 4.49%, estos resultados muestran que todas las mezclas cumplen con la NOM-C-6-19 (Roux R. , 2010). Además, cumplen con la norma NTC 4205-2 donde se especifica una absorción no menor al 5% en promedio.

Cal.

En la investigación realizada por Guerrero, Roux, López, (2010) tiene como objetivo determinar los porcentajes mínimos de cal requeridos para estabilizar las unidades de BTC como reemplazo del cemento. Así mismo fueron seleccionados dos suelos de la región denominados como T1, T2 ambas muestras son extraídas de sectores productores de ladrillos cocidos las cuales presentan las siguientes propiedades:

Tabla 14

Caracterización de los suelos ensayados por la UAM-Xochimilco

Obra: Tepetate (T1). Lugar: UAM-Xochimilco										Sondeo: SE-1. N.A.F: No.1	
Mta.	Contracción lienal	W %	S _s	Granulometría			Límite líquido	Límite plástico	IP	SUCS	Descripción
				Grava	Arena	Finos					
1	6,0	17,0			29	71	42,1	23,4	18,7	CL	Arcilla arenolimoso café oscuro
Obra: Chalco (T2). Lugar: UAM-Xochimilco										Sondeo: SE-1. N.A.F: No.2	
Mta.	Contracción lienal	W %	S _s	Granulometría			Límite líquido	Límite plástico	IP	SUCS	Descripción
				Grava	Arena	Finos					
1	7,2	48,9		3	39	58	60,3	35,7	24,6	MH	Limo arenoarcilloso café claro amarrillento con gravas

Obtenido de: (Guerrero, Roux, & López, 2010).

Para dosificar de manera adecuada la cal, se optó por la prueba de Eades & Grim con base en la Norma ASTM C997-00, que consiste en determinar el porcentaje de cal necesario para la estabilización de suelo, tomando como variable el pH (Guerrero, Roux, & López, 2010). Lo que arrojó un 6% de cal para la muestra T1 y un 7% para la T2, también fueron ensayados BTC sin cal y otros con un 10% en ambas muestras. Las dimensiones del bloque fueron de 10x15x30 cm, con un tiempo de secado entre 7, 14, 28 y 60 días. A dichas unidades solo le fueron realizados los ensayos de absorción capilar, resistencia a compresión de acuerdo a las normas C10-1986, NMX-C-36-1983 y NMX-C-6-1976.

A continuación se presenta los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión con unidades en Kg/cm²:

Tabla 15

Registro de la resistencia a la compresión del suelo T1

Tiempo	Suelo T1 sin cal	Suelo T1 6% de cal	Suelo T1 10% de cal
7 días	8,17	15,59	33,9
14 días	8,64	18,56	34,72
28 días	12,83	20,56	48,78
60 días	12,11	16,49	45,55

Obtenido de: (Guerrero, Roux, & López, 2010).

Tabla 16

Registro de la resistencia a la compresión del suelo T2

Tiempo	Suelo T2 sin cal	Suelo T2 6% de cal	Suelo T2 10% de cal
7 días	11,61	10,13	16,65
14 días	11,65	11,43	18,44
28 días	31,43	18,51	31,69
60 días	41,83	36,46	50,04

Obtenido de: (Guerrero, Roux, & López, 2010).

De las tablas anteriores se puede observar que el porcentaje de cal y la resistencia son directamente proporcionales. Por otra parte, en el ensayo de absorción por capilaridad se determinó que los BTC con adición de cal absorben menos agua que en su estado natural y se concluyó que la cal, además de evitar la penetración de agua, en condiciones ambientales normales permite que esta se evapore más rápido.

2.4.7. BTC con adición de almidón de arroz.

Amiel López realizó un estudio con la finalidad de determinar la viabilidad de desarrollar bloques de tierra con la adicción de almidón de arroz, es importante mencionar que los bloques diseñados en esta investigación no son compactados, son vaciado en un molde y colocados a secar en un horno por 18 horas a una temperatura de 80°C, pero también se realizan unidades con

secado a temperatura ambiente de 30°C y 38% de humedad relativa con tiempo máximo de 31 días de secado, solo estos últimos serán tenidos en cuenta en este documento.

En la fabricación del GOV (Gel de origen vegetal) se debe realizar una secuencia de pasos (ver figura 32). Se elaboraron diferentes tipos de GOV con la finalidad de profundizar los estudios sobre el comportamiento de la sustancia en función del tiempo (Tabla 17) (López, 2018).



Figura 32. Preparación del Gel de Origen Natural. Obtenido de: (López, 2018).

Tabla 17

Tipología de GOV según su composición y la antigüedad de preparación

Identificación de la Muestra	Tiempo de antigüedad	Proporción de prelación	Cantidad de gel obtenido respecto al arroz utilizado
M1_GOV	15 a 28 días	1:5	145%
M2_GOV	10 días	1:5	145%
M3_GOV	1 día	1:5	145%

Nota: Tiempo de antigüedad: tiempo que pasa desde el día en que se elabora la sustancia hasta el día de su uso; prelación: cantidad de agua utilizada por cada porción de arroz. Obtenido de: (López, 2018).

Una vez que se tiene seleccionado y caracterizado el material se procede con la elaboración de las probetas, con siete dosificaciones diferentes (Tabla 18) de seis probetas cada muestra para un total de 42 probetas, los cuales varían en cuanto al porcentaje de humedad, tipo de secado y tipo de GOV utilizado (tabla 17). Dimensiones de las probetas 4cm x 4cm x 16cm (López, 2018).

Solo se utilizó un tipo de tierra previamente estudiada, no cuenta con ningún tipo de estabilizante. Se pretende comprobar el comportamiento de GOV (Gel de origen vegetal) al ser utilizada para elaborar bloques de tierra como remplazo del agua (López, 2018).

Tabla 18

Tipo de mezclas usadas para el proyecto

Muestras	Denominación	Contenido de las probetas	Cant. de probetas	Secado horno	Secado ambiente
1	A+T	Tierra + agua 27% de humedad	6	3	3
2	M1+22%	Tierra + M1_GOV 22% de humedad	6	3	3
3	M1+30%	Tierra + M1_GOV 30% de humedad	6	3	3
4	M2+26%	Tierra + M2_GOV 26% de humedad	6	3	3
5	M3+22%	Tierra + M3_GOV 22% de humedad	6	3	3
6	M3+36%	Tierra + M3_GOV 36% de humedad	6	3	3
7	M3+30%	Tierra + M3_GOV 30% de humedad	6	3	3

Nota: n.f: humedad. Obtenido de: (López, 2018).

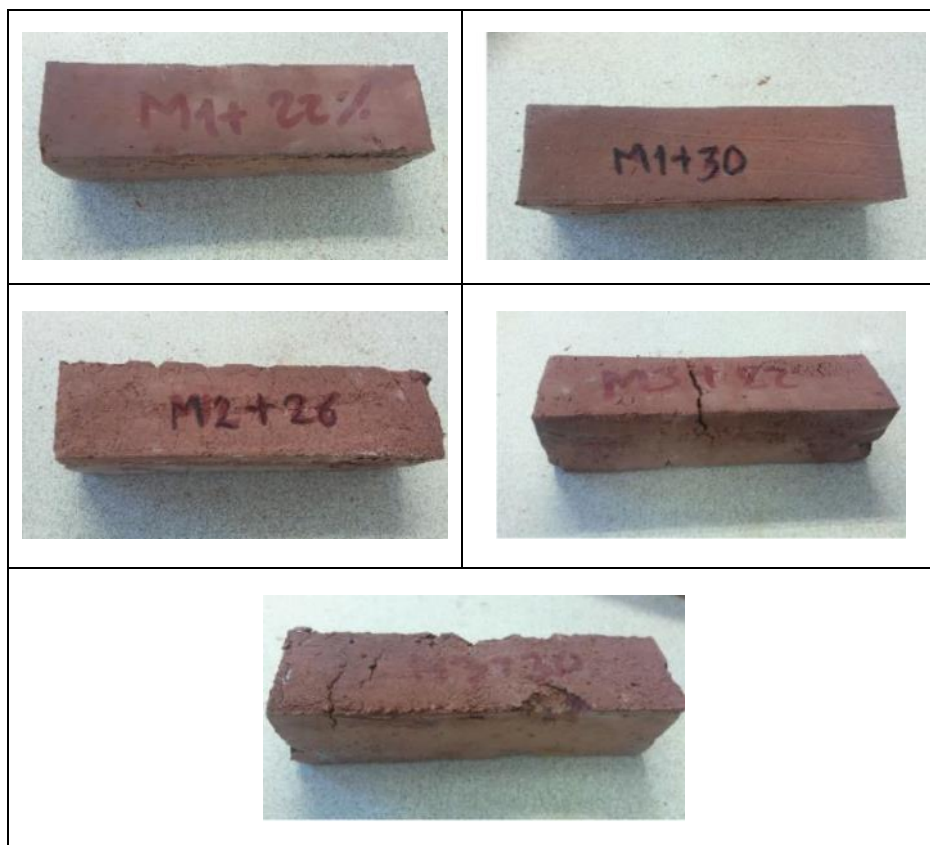


Figura 33. Probetas usadas para ensayos. Nota: de la probeta No.6 no se encontró fotografía. Obtenido de: (López, 2018).

Luego del secado de las probetas se procede a realizar los ensayos de compresión y flexión ya que los de absorción de agua por capilaridad, permeabilidad al vapor de agua, erosión de agua acelerada swinburne (SAET), humectación y secado fueron hechos a las probetas secadas al horno presentando buenos resultados, sin embargo, salen del rumbo de la investigación.

A continuación, se presenta la tabla 19 donde se muestra los valores obtenidos en los ensayos de compresión y flexión a las unidades secadas en el ambiente:

Tabla 19

Resumen de los datos obtenidos

Muestras		Resistencia A Compresión	Resistencia A Flexión
		Mpa Resistencia Media	Mpa Resistencia Media
		SECADO AMBIENTE	SECADO AMBIENTE
MUESTRA 1	A+T	2.74	1.01
MUESTRA 2	M1+22%	6.80	3.71
MUESTRA 3	M1+30%	4.70	2.67
MUESTRA 4	M2+26%	4.65	2.55
MUESTRA 5	M3+22%	5.91	1.28
MUESTRA 6	M3+36%	5.26	2.54
MUESTRA 7	M3+30%	5.06	2.48

Nota: adaptado de (López, 2018).

De lo anterior, se puede decir que los valores de resistencia a compresión superan lo mínimo exigido por la norma UNE 41410 (1,3Mpa) y por la NTC 5324 (2Mpa), la menor resistencia fue de 4.65MPa, lo cual permite establecer que el GOV como remplazo del agua en el proceso de humectación da excelentes resultados en las unidades de bloques.

En cuanto a los ensayos de resistencia a flexión la norma UNE 41410 no presenta un valor de referencia en comparación con la NTC 5324 con un dato mínimo de 1 MPa.

2.4.8. BTC con adición de cal y cartón.

En a investigacion de Londoño, Parra y Vallejo, (2015) donde se propone estudiar los muros de BTC con la adición de carton y cal en suelos cuyo origen sea volcánico sin presencia de cemento, el suelo fue tomado de un lote del sector San Jacinto al este del municipio de Pereira, donde se encuentran depósitos de suelos derivados de cenizas volcánicas.

A dicho suelo le fueron realizado los ensayos para su clasificacion, el cual resultó un limo de alta plasticidad (MH), luego se establecieron los porcentajes de cal, carton y humedad que

necesita el material para ser compactado, siendo 2%, 5% y 51,43%, respectivamente. (Londoño, Parra, & Vallejo, 2015).

El tiempo de secado de los bloques fue de 7 semanas luego de ser comprimidos en la maquina CINVA-RAM. Terminado esto se realizan los ensayos de absorción donde se observó la alta vulnerabilidad de las unidades ante la presencia del agua, por tal motivo se hacen dos tipos de recubrimiento, el primero consiste en una dispersión acuosa densa de un copolímero del ester acrílico que actúa como ligante de alto poder y de gran elasticidad para impermeabilizar la muestra, el segundo consiste en una capa de pañete con un grosor máximo de 1 cm en todo el bloque. Como resultado se descartó el primer recubrimiento pues presentó gran afectación en su estructura, mientras que la segunda opción aunque también absorbió gran cantidad de agua no mostró daño en la estructura del BTC. Dicha prueba fue realizada con una intensidad de 24 horas en todas las opciones planteadas.

En los ensayos de resistencia a compresión a los bloques individuales (ver figura 34), no se obtuvieron resultados satisfactorios, pues ninguno de los datos cumple con el rango mínimo propuesto en la norma UNE 41410 y la NTC 5324. El peso en las unidades de BTC no fue constante por tanto, se asume que la mezcla no fue homogénea. A continuación en la tabla 20 se muestra los valores de resistencia a la compresión:

Tabla 20

Resultados de ensayos individuales a compresión

Ensayo N°	Peso (kg)	Resistencia a la compresión (Mpa)
1	2,028	0,89
2	1,797	0,877
3	1,928	1,152
Promedio		0,973

Obtenido de: (Londoño, Parra, & Vallejo, 2015).



Figura 34. Ensayo a compresión a bloques individuales. Obtenido de: (Londoño, Parra, & Vallejo, 2015).

A continuación, una tabla resumen de todas las normas mencionadas en las investigaciones abordadas y su incidencia sea directa e indirectamente en la fabricación del BTC.

Tabla 21

Resumen Normas nacionales e internacionales aplicadas a los BTC

Año	País	Normas directas a los BTC	Normas indirectas usadas para los BTC
1974	Mexico		NOM-C-36-1974
1976	Mexico		NMX-C-6-1976
1986	Mexico		NOM-C-37-1986
1986	Mexico		NOM-C-10-1986
1986	Mexico		NMX-C-36-1983
1986	Mexico		NMX-C-6-1976
1994	EE.UU		ASTM-C-120-94
1996	Reginal Africa	ARS 674: 1996	
2003	EE.UU	ASTM c34	
2008	España	Une 41410	
2004	Colombia	NTC 5324	
	Colombia	NTC 125	
1979	Colombia	NTC 1522	
2004	Colombia	NTC 2521	
2013	Colombia	NTC 2122	
	Colombia	I.N.V.E – 128-07	
2013	Colombia	I.N.V.E -128-13	
2007	Colombia	I.N.V.E 808	
1975	Colombia		ICONTEC 2135
2009	Colombia		NTC 4205
2000	EE. UU		ASTM C 997-00
1994	México	NOM -C-120- 94	
1974	México	NOM -C-38-1974	
2008	España	UNE 83982	
2004	EE. UU	ASTM C1585-04	
2017	EE. UU	ASTM D 4318-17	
2016	EE. UU	ASTM C597-16	

Elaboracion propia.

Capítulo 3. Ventajas, desventajas y costos de los BTC en la construcción

3.1. Proyectos Casa Viva construido en BTC

La fundación Tierra Viva y la Gobernación de Antioquia realizaron el Proyecto *Casa Viva* levantado en bloques de tierra comprimida con la máquina CINVA-RAM. Ubicado en Vegachí, Antioquia. Consta de 104 viviendas de 96 m² (Ver figura 35), 401.440 bloques fabricados con 5 máquinas CINVA-RAM, 1 maquina pulverizadora, 3 puestos de cernido de tierra, 25 personas en producción de bloque (5 por máquina), 7 personas en preparación de tierra, 6 personas en mezcla de tierra, 3 personas en curado de bloque, obteniendo una producción de 5m² de tierra preparada por día, 2.750 bloques por día. Para fabricar 200 bloques fueron necesarios 6 carretas de tierra, 3 de arena y 150kg de cemento, con una dosificación de 8% en peso de cemento, 12% en peso de arena, 11% en peso de agua. El sistema constructivo usado fue mampostería estructural reforzado con varilla vertical de 1/4” cada 60 cm y refuerzo horizontal de 1/8” cada 4 hiladas. En la cimentación se usó concreto ciclópeo y viga de amarre de 21Mpa, un sobre cimiento en bloques de cemento, el mortero fue preparado con tierra estabilizada con cemento al 10% en peso y la cubierta con una estructura de madera y teja de fibro-cemento (TierraViva, 2007).



Figura 35. VIS construida con BTC. Obtenido de: proyecto CASA VIVA.

Cada vivienda tiene un costo promedio de \$14'900.000 de pesos colombianos de los cuales el beneficiario aporta \$2'900.000 en trabajo y \$1'400.000 en efectivo, con posibilidad de crédito ofrecido por el Fondo Rotatorio de Crédito de viva. Lo restante es aportado por el municipio respectivo y por viva a través del Banco Virtual de Materiales adscrito a dicha entidad.

Con los proyectos de Casa Viva y la Urbanización Guillermo Gaviria Correa se ha constatado el alto impacto social de este tipo de acciones. Cerca del 70% del presupuesto para la vivienda se consume en mano de obra y buena parte de ella puede ser aportada fácilmente por el beneficiario. Entonces se trata de empleo, de reactivación de la economía local, del aprendizaje de un oficio, de autoestima y pertenencia por un lugar, por un espacio y por un techo que se levantó con las propias manos. (Rivero Bolaños, 2007).

La aplicación más considerada para los BTC en este documento es en viviendas de interés social VIS, como un método para la inclusión de materiales ecológicos en los proyectos sociales que actualmente son tan importantes, debido al aumento de la población, no solo en municipios de Antioquia o Cundinamarca donde la construcción con BTC se evidencia con mayor ímpetu, sino también en municipios de nororiente del país, en departamentos como Norte de Santander y Cesar donde se necesitan soluciones económicas y naturales para mejorar las condiciones de vida de la población y de la misma forma aportar al cuidado del medio ambiente, un material que viene de la tierra para la tierra, sea modificando sus propiedades o usando el bloque tradicional.

3.2. Ventajas de construir con BTC

Las construcciones más antiguas están hechas principalmente de tierra mezclada con otras sustancias; edificaciones como las pirámides egipcias, la muralla china, Shibam Yemen la ciudad construida completamente en tierra, el patrimonio cultural de Colombia Barichara, Santander sector antiguo construido mayormente con piedra amarilla, entre otras construcciones que han perpetuado en el tiempo sugieren que las construcciones hechas a base de tierra como los bloques de tierra comprimida son un elemento duradero, seguro y eficiente.

Los BTC son un material que cuenta con diversas ventajas frente a los ladrillos convencionales, resalta su aporte a la conservación del medio ambiente desde su fabricación hasta su instalación, además de cualidades como confort y calidad, que busca crear soluciones más sostenibles frente a las diferentes prácticas constructivas.

A continuación, un esquema del proceso de fabricación del BTC para resaltar sus ventajas.

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BTC

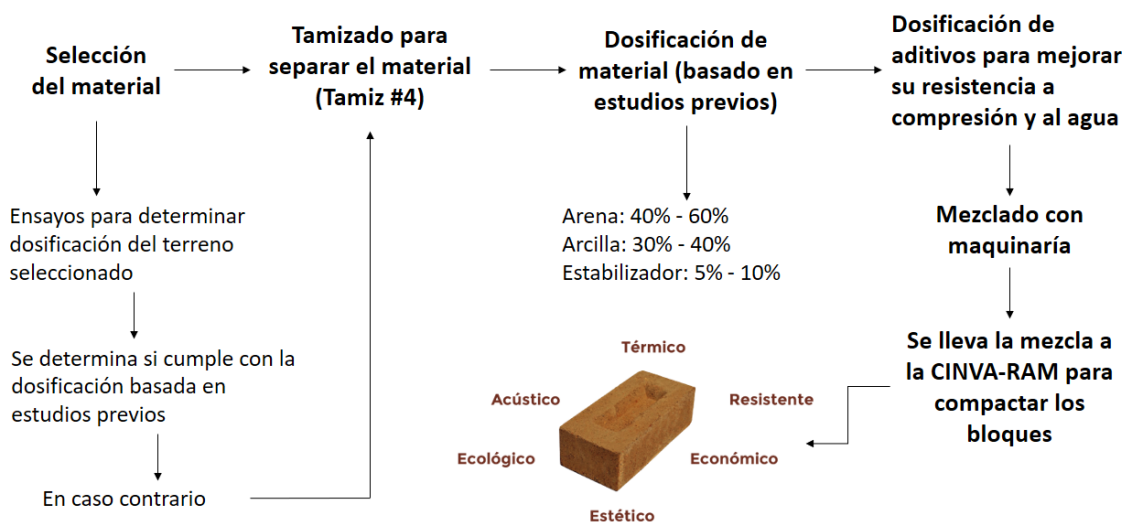


Figura 36. Proceso de fabricación del Bloque de Tierra Comprimido. Elaboración propia.

3.2.1. Regulador térmico.

La tierra posee una grande capacidad de almacenar el calor y liberarlo posteriormente, fenómeno conocido como inercia térmica, lo que ofrece ventaja pues regula las condiciones de temperatura extrema, haciendo más agradable el ambiente interior. Es un material inerte, no inflamable, que no se pudre, ni es susceptible de recibir ataques de insectos y por naturaleza transpirable, es decir que los muros de tierra permiten regular la humedad interior, así se evitan condensaciones.

La humedad es uno de los factores que más afecta el confort y bienestar de una vivienda, las paredes de tierra tienen la capacidad de absorber o liberar humedad del ambiente debido a que es relativamente porosa. Desde la Universidad de Kassel, Alemania, se han llevado a cabo experimentos donde se ha demostrado que cuando la humedad relativa en un ambiente interior aumenta súbitamente de 50% a 80%, los bloques de tierra pueden absorber 30 veces más humedad que las piezas de cerámica en un período de dos días. Aunque absorban tanta humedad, las paredes de tierra simplemente se humedecen, en ningún caso se vuelven blandas, ni pierden sus propiedades iniciales (Gatti, 2012).

La tierra es un regulador natural de la temperatura por lo cual al utilizar los BTC se regula de forma natural el ambiente del proyecto. Estos bloques no requieren ser cocidos como los tradicionales, por lo que no emiten gases contaminantes y se asegura que las propiedades naturales de regulación térmica de la tierra no se modifiquen, de esta manera un muro de BTC absorbe la humedad cuando el tiempo es húmedo y la libera cuando el aire es seco. Esto hace que sea un sistema favorable para ser usado en diferentes condiciones climáticas.

3.2.2. Eficiencia energética.

Para producir los BTC solo se requiere del 1% de energía que se requiere para producir un ladrillo convencional, un significativo ahorro energético, además los procesos de producción de estos tienen emisiones de CO₂ mínimas. El BTC ha demostrado ser eficiente energéticamente, debido a que los muros elaborados con estos bloques tienen la capacidad de almacenar energía solar y luego liberarla para evitar los cambios bruscos de temperatura. Un muro de tierra que ha estado todo el día expuesto a la radiación solar por la noche empiezan a desprender calor que ha ganado durante el día, este proceso dura 10 horas y garantiza agradables temperaturas en el interior de la vivienda (Gatti, 2012).

Comparado con los ladrillos tradicionales que se elaboran mediante cocción en hornos, los cuales consumen combustibles fósiles y generan una gran emisión de gases contaminantes como el CO₂. Para la fabricación del BTC se requiere de una prensa sea manual o mecánica las cuales disminuye el gasto de energía, una prensa mecánica funciona con 1 litro de diésel por cada 190 bloques elaborados (Arquinépolis, 2018).

3.2.3. Resistencia a la compresión.

En España, se producen los bloques de tierra comprimida SOLBLOC, conforme a la norma UNE 41410, los cuales poseen una resistencia a la compresión de más de 5Mpa (Rocha, 2015). En las investigaciones abordadas en este documento se logró evidenciar que los BTC pueden alcanzar resistencias permitidas en las normas.

En cuanto a la resistencia a compresión en muretes de BTC, los resultados no llenaron las expectativas pues los valores promedio oscilaban entre 1Mpa y 1,5Mpa. Arteaga, Medina y Gutiérrez (2011) elaboraron dos muretes de bloque de tierra comprimida, cuyas dimensiones

fueron 30 cm x 14cm x 45 cm, dando resistencias a compresión en promedio de 1.17 Mpa; los estudios hechos por Echeverry y Jaramillo, (2017) arrojaron una en promedio donde se obtuvieron resistencias de 0.4Mpa. En las investigaciones hechas por (Gordon & Villada, 2017) los muretes no tuvieron resultados favorables, estando éstos alrededor de los 0.7 MPa.

3.2.4. Durabilidad.

La consistencia de los BTC depende principalmente de la maquina usada, en el caso de Colombia se utiliza la maquina CIMVA – RAM y de la calidad del suelo. Para determinar la durabilidad de los bloques se considera más importante tener en cuenta la calidad de la tierra que la resistencia a la compresión.

Existen tres tipos de durabilidad: física, química y biológica. La durabilidad física se refiere a la capacidad de resistir a los procesos físicos como el agua lluvia, la abrasión y erosión, la durabilidad química es un deterioro producido por reacciones químicas. Mientras que la durabilidad biológica se debe a un deterioro causado por una descomposición orgánica (Falceto, 2012). Se define como la causa que afecta mayormente a los BTC y disminuye su funcionalidad a factores como la erosión que produce el agua lluvia. Algunos autores Kerali. A. G, (2005); Ugai. K, (2011) han comprobado que la durabilidad de los bloques de tierra comprimida varía según la cantidad de estabilizante, la colocación del BTC en el muro, la orientación o la edad de edificio, también puede verse afectada por el tipo de recubrimiento.

Las construcciones con los BTC son muy recientes, por lo tanto, no se tiene una estimación exacta e inequívoca de cuál es su periodo de vida útil, sin embargo, en la ciudad de Auroville en la India, el Instituto de la Tierra de Auroville lleva 30 años educando y capacitando a sus habitantes para construir sus propias viviendas utilizando técnicas de tierra, particularmente

BTC. En Colombia, la empresa TIERRATEC construyó su primera vivienda hace más de 20 años, la cual se mantiene en pie (ver figura 37). El proyecto CASA VIVA de la Fundación Tierra Viva, la Gobernación de Antioquia, Alcaldía de Vegachi y la empresa de vivienda de Antioquia, fue construido en 2007.



Figura 37. Casa Gómez Mejía. Obtenido de: www.TIERRATEC.com

3.2.5. Otras ventajas

- Son similares al adobe, pero más limpios.
- Tienen una densidad mayor que los bloques de cemento.
- Se pueden fabricar In Situ, donde influye la calidad del suelo, también se puede acondicionar el suelo disponible.
- Según "Gate-to-Gate Life-Cycle Inventory of Softwood Lumber Production", de Ian D. Hartley, Cynthia D. West, y Michael R. Milota, la madera recorre unos 105km (65 millas) de media, solo desde la tala hasta la fábrica, es decir que la facilidad para construir con BTC se encuentra por encima de otros sistemas constructivos amigables como el medio ambiente.
- Su fabricación, es más rápida, eficiente y ecológica, actualmente se intenta demostrar su uso en muros de contención, pero aún se encuentra en estudio.

- Cuenta con normas internacionales para su fabricación y la NTC 5324 que, a pesar de no ser una norma totalmente dedicada a los bloques de tierra comprimida, sino a los bloques de suelo cemento, se puede usar como referente.
- Los ladrillos de BTC no son inflamables.
- Es un material biodegradable.
- Genera oportunidades de empleo.
- Reduce la tala de árboles usados para calentar los hornos.
- No es tóxico, los BTC sin cementantes poseen materiales naturales y no emiten gases contaminantes.
- Es un aislante acústico debido a su alta densidad y a que la tierra es un deficiente conductor del sonido.
- Puede ser devuelto a su lugar de procedencia después de finalizada su vida útil, pues sus propiedades químicas no se alteran en su producción, es reciclable.
- De acuerdo al análisis hecho por Cortes, López y Londoño (2018), la mejor alternativa para construir una vivienda con baja emisión de gases efecto invernadero es el BTC.
- Mantenimiento y reparación: La humedad es el principal factor de daño en los bloques de BTC, sin embargo, pueden repararse los daños mecánicos con arcilla y pueden evitarse los daños con el recubrimiento de la misma arcilla. Su mantenimiento se ha demostrado que es menor que el de muros construidos con ladrillos cocidos (Arquínépolis, 2018).

3.3. Desventajas de construir con BTC

Una de las desventajas que tiene los bloques de tierra comprimida frente al ladrillo convencional se debe a que se elevan los costos de flete o traslado, puesto que no es un material muy comercial, se tiende a traer el producto desde otros lugares, a pesar de esto, los bloques pueden ser producidos en el lugar de la construcción si es el suelo resulta apto.

Estos bloques tienen como defecto su poca resistencia a el agua y la humedad, pues al ser comprimido y no transformar su química, el agua suele afectar las partículas de tierra, ante este hecho las distintas investigaciones realizadas a la utilidad del BTC han propuesto aditivos para mejorar sus características. Actualmente la solución más usada es recubrir el muro construido con un material que impida la entrada de agua al bloque, en otros casos como las VIS de Vegachí se puede observar la inclusión de bloques de cemento para construir estructuras que se encuentran expuestas a la humedad continuamente (Ver figura 38).



Figura 38. Baño hecho con bloques de cemento en vivienda fabricada con BTC para evitar daños por humedad. Obtenido de: proyecto CASA VIVA.

El BTC o elemento fabricado a partir de la tierra que no contenga ningún tipo de estabilizante tiende a sufrir desgaste ante agentes naturales como el agua, el viento, la lluvia, el

hielo, los climas húmedos y los demasiado cálidos, lo que afecta su durabilidad. Por ello requiere de mantenimiento constante.

Los elementos formados a partir del suelo tienen ciertas limitaciones estructurales, se deben usar grandes grosores de muro para que soporte. La reducción del área útil es considerable. Soporta la compresión bastante bien, pero su capacidad a flexión, torsión y tracción es prácticamente nula si no se refuerza. Por ese motivo en situaciones de sismos o de resistir ciertos esfuerzos se arma con bambú o acero. Las construcciones de tierra son en general frágiles ante sismos e inundaciones (Hernandez J. , 2016). Sin embargo, los BTC pueden ser modificados para mejorar las propiedades de resistencia y ampliar el área útil.

La composición de la tierra usada para fabricar los BTC debe poseer la cantidad de agua y arcilla adecuada, puesto que la tierra tiende a agrietarse, las líneas de agrietamiento pueden estar entre 0,4% - 2% para el BTC. “Puede ser minimizado reduciendo el porcentaje de arcilla en la mezcla y el contenido de agua para el amasado, optimizando la distribución granulométrica o usando aditivos, como cemento, cal, paja o fibras vegetales”. (Hernandez J. , 2016).

Otra desventaja que poseen los materiales producidos a partir de la tierra es su poca aceptación social, pues no es un material estandarizado, además generalmente es asociado a la pobreza. (Hernandez J. , 2016).

3.4. Costo de producción de los BTC

Uno de los principales gastos a tener en cuenta en la fabricación de los bloques de tierra comprimida es la máquina. Las más modernas, en la mayoría de las aplicaciones, no requieren un agregado (roca, grava de mayor calibre) para dar fuerza al bloque. La capacidad de una máquina fabricada por la empresa *Oskam v/f* de Holanda tiene un rendimiento de 360 bloques / hora. Los costes totales de construcción se reducen en un 20-30% en comparación con los ladrillos cocidos o los bloques de cemento (*Oskam v/f, s.f.*). La AECT Impact 2001A es una máquina automatizada que produce alrededor de 2400 bloques por día de 8 horas, en Texas (Bloques de Tierra Comprimida (BTC), 2016). En Soldiers Grove, Wisconsin, la granja Midwest Earth Builders fabrica bloques de tierra comprimida con costos fijos aplicados a cada bloque de \$4.000 pesos. En Colombia la empresa TIERRATEC, ubicada en Bogotá, el precio de un BTC 4/4 normal (estándar) es de \$1.650 pesos y se requieren de 30 unidades para un metro cuadrado, pero si lo que se busca es economía y hacer partícipe a la comunidad de los proyectos, se puede adquirir la maquina CINVA – RAM que tiene un costo variable alrededor de los 1000 dólares, de acuerdo a la capacidad, si es manual o mecánica, la tasa de producción y consumo de combustible, lo que ahorra costos de transporte.

Cabe mencionar que para casas de un piso no requiere estructuras de hormigón (Ver figura 39), debido a que los muros de carga se pueden hacer con bloques de tierra comprimida.

Dentro el costo constructivo se debe tener en cuenta el transporte de la maquina CINVA RAM, el equipo y herramienta necesario para hacer la extracción del material como pala, pico, carretilla, mezcladora, cemento, agua, tamices o si se trata de una construcción de mayor escala, una retroexcavadora y la adecuación oportuna de un lugar específico para almacenar el material extraído.

Además, el bloque tiene una presentación muy estética que permite dejarlo descubierto en fachadas, disminuyendo con ello los costos por concepto de acabados.



Figura 39. Casa construida en BTC sin estructuras de hormigón.
Obtenido de: <https://www.oskam-vf.com/>

Capítulo 4. Cuadro comparativo entre los BTC y los bloques de arcilla cocida tradicionales.

Como se vio en el capítulo tres el BTC cuenta con múltiples ventajas que lo hacen un producto eficiente y competente, sin embargo, no es un producto con el valor comercial esperado, pues al ser desconocido por los constructores, resulta ser desconfiable y por ende rechazado, esto debido a la industrialización de los bloques ya existentes.

La finalidad misma de este proyecto es poner en evidencia dichas ventajas frente a las cualidades de los ladrillos y bloques convencionales comercializados, de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana y en diversos estudios realizados a la producción de estos productos. Además, analizar en función de la bibliografía, el BTC más eficiente que pueda ser usado en la construcción de viviendas de interés social con el fin de aportar a la desigualdad social. A continuación, se presenta la tabla 25 donde se muestra un comparativo entre ambos productos.

Tabla 22

Comparativo entre los bloques de tierra comprimida y los ladrillos convencionales

CARACTERÍSTICAS DEL BTC	CARACTERÍSTICAS DEL LADRILLO CONVENCIONAL NO ESTRUCTURAL (NTC 4205-2)
No requiere de mano de obra calificada para su fabricación debido a que el uso de la maquina es sencillo y cualquier persona la puede maniobrar.	Por su industrialización debe tener un control de calidad meticuloso, por lo tanto el personal es especializado, con protocolos más rigurosos para el manejo de las piezas y la exposición a altas temperaturas.

<p>El transporte de las unidades de BTC puede verse afectado económicamente ya que no son muy comerciales, esto si el suelo de la zona no es apto para la fabricación de los bloques.</p>	<p>Para transportar ladrillos se debe tener cuidado con el embalaje para mantener todas las piezas en buen estado, debe tenerse en cuenta costos de mantenimiento vehicular, fletes y peajes, transportar por Colombia resulta un 200% más costo que Europa (Dinero, 2015),</p>
<p>Su proceso de fabricación se realiza en una prensa manual CINVA-RAM, que comprime la mezcla de materiales, disminuyendo en gran medida la emisión de CO₂.</p>	<p>Su proceso de fabricación se realiza en hornos de túnel, a una temperatura entre los 900°C y los 1000°C, lo que emite una serie de gases (óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, entre otros) contaminantes para el medio ambiente.</p>
<p>Requiere de menos gasto de energía para producirlos (alrededor de 1% de la energía que requiere para fabricar un ladrillo convencional (GARCÍA, 2015)).</p>	<p>El investigador Ignacio Zabala estimó que para la fabricación de un kilo de ladrillos se necesitan 3,56 Megajulios de energía primaria, 1,89L de agua, y emite 270 gramos de CO₂. (Álvarez, 2010)</p>
<p>Las unidades de BTC pueden ser usadas como fachada, es decir no es necesario usar recubrimiento, puesto que son estéticos, de acuerdo a las necesidades por cubrir y la exposición a la que se encuentre, se definen los materiales para el recubrimiento.</p>	<p>Los ladrillos de arcilla cocida no siempre pueden dejarse sin recubrimiento, por ejemplo, los ladrillos H10 que son los más usados, no son muy estéticos, sin embargo, pueden dejarse a la intemperie.</p>
<p>Peso por bloque (10x15x30cm): 7,50 kg Densidad: 2.200 kg/m³ (Oskam v/f, s.f.) (depende las dimensiones de la máquina).</p>	<p>Peso ladrillo hueco (10x20x30cm): 4 kg (MERKAGRES, s.f.) Densidad: 1.200 kg/m³ (Verduque) Peso ladrillo común tolete (10x6x19cm): 2,50 kg (Novarcillas, s.f.) Densidad ladrillo macizo: 1.800 kg/m³ (Verduque)</p>
<p>Es un material que acabado su ciclo de vida útil puede ser devuelto a su lugar de procedencia de acuerdo a los aditivos usados. Es reciclable.</p>	<p>En la mayoría de casos los desechos producidos por la demolición de edificaciones construidas en ladrillo no son reutilizadas puesto que ya ha perdido sus propiedades iniciales.</p>
<p>La extracción de la materia prima no atenta al medio ambiente en gran medida, puesto que puede usarse los residuos de excavaciones para fabricar los bloques. Si es el caso, se debe tener en cuenta la contaminación producida por la extracción de material con maquinaria.</p>	<p>Para la cocción de los ladrillos, es necesario madera, lo que conlleva a la deforestación, este mismo proceso produce los desechos y altas emisiones de gases contaminantes. La obtención de la materia prima es más rigurosa pues solo se necesita arcilla, lo que puede conducir a extraer material de zonas con biodiversidad variable.</p>

<p>Los BTC tienen la capacidad de regular las condiciones internas de temperatura, pues absorben humedad cuando el tiempo es húmedo y lo libren cuando es seco, lo que asegura condiciones climáticas agradables..</p>	<p>El ladrillo convencional tiene una velocidad de absorción y liberación de humedad más rápido. Logra mantener la temperatura interna de una vivienda, una desventaja en zonas calurosas. Suelen recubrirse con materiales plásticos para mejorar su aspecto, lo que disminuye su capacidad de regular la temperatura interna.</p>
<p>La tierra, no transporta las ondas acústicas, lo que hace al BTC un excelente aislante acústico.</p>	<p>La NTC 4205-2 no hace estudios para determinar los decibeles que los ladrillos pueden controlar.</p>
<p>Es posible fabricar BTC que cumplan con las medidas medias de resistencia a la compresión las cuales varían de 2Mpa a 6Mpa de acuerdo a la norma para bloques de suelo cemento.</p>	<p>La resistencia a compresión de los ladrillos de arcilla cocida debe ser superior a 1.5 MPa por unidad. De acuerdo a estudios realizados por (Afanador, Guerrero, & Sepúlveda, 2012), los ladrillos fabricados en el municipio de Ocaña tienen resistencias que varían entre los 0.8 MPa – 2.4 MPa. Los bloques de concreto deben cumplir resistencias superiores a 7 MPa de acuerdo a la NTC 4026.</p>
<p>De acuerdo a la NTC 5324 la absorción de agua en los BTC debe ser inferior a al 20%. Esta propiedad disminuye su utilidad, pues se puede producir el daño parcial o total de la pieza.</p>	<p>De acuerdo a la NTC 4205-2 el ensayo de absorción de agua solo se realiza a las unidades que vayan a estar expuestas a la intemperie, deben cumplir con los requisitos de la NTC 4017 a temperatura ambiente en un periodo de 24h de inmersión y no deben tener absorciones superiores al 5% en promedio.</p>
<p>La empresa TIERRATEC vende sus unidades de BTC a \$ 1.650 pesos, \$49.500 pesos por m². De acuerdo con Cortes, López y Londoño, (2018) producir un BTC puede costar entre \$800 y \$900 pesos. El costo de estos ladrillos varía de acuerdo al fabricante, la materia prima y la zona donde se ejecute la obra. De acuerdo a (Molina, 2017) el costo de fabricar el bloque se estimó en \$ 664,73 pesos.</p>	<p>Los ladrillos convencionales tienen un precio que varía entre los \$400 y \$3.000 pesos, de acuerdo a sus características, los bloques que más se asemejan a los BTC, H10 y tolete tienen un precio entre \$800 y \$400 pesos respectivamente, para divisiones. Se requieren 50 unidades por m² en ladrillo tolete y 15 unidades por m² en ladrillo H10. Para los Cortes, López y Londoño, (2018) de acuerdo a su estudio de mercado el valor del ladrillo convencional varía entre los \$500 y \$1.300 pesos.</p>
<p>Ambas presentaciones pueden ser usadas para construir viviendas de interés social. Se sugieren los BTC por su fácil fabricación y la reducción de costos en cuanto a la mano de obra especializada, pues la misma comunidad puede hacer parte del proceso.</p>	
<p>La producción y uso de estos bloques no generan daño a la salud.</p>	<p>El uso de estos ladrillos no genera afecciones para la salud, su problema se encuentra en el método de fabricación altamente contaminante.</p>

<p>Los BTC suelen ser susceptibles a daños por ello se requiere de aditivos para hacerlos más eficientes y útiles. Deben cumplir lo establecido en el numeral 3.3.1 de la NTC 5324 para aspecto y textura.</p>	<p>Estos ladrillos son susceptibles a daños debe tenerse especial cuidado en su transporte, de acuerdo a la NTC 4205-2 el tamaño puede variar \pm 3% de las mediadas nominales, los cambios en la textura no deben producir grietas.</p>
<p>En el estudio realizado por (Bartolomé, 2010) se ha utilizado el mortero de pega a base del mismo material usado para fabricar los BTC, dando como resultado una falla que no se vio afectada por el mortero de barro. Dicho uso ahorraría costos en materiales.</p>	<p>Para unir bloques de arcilla cocida se utiliza mortero 1:4 a base de cemento, arena y agua, lo que aumento costos de producción, ya que estos materiales poseen un valor considerable en el mercado.</p>
<p>Para hacer más eficiente a los BTC es necesario agregarle diversos materiales para mejorar sus propiedades físicas principalmente la absorción de agua y la resistencia a la compresión. Materiales como cementantes hidráulicos y/o elementos presentes en la naturaleza como se explicó en el capítulo 2 del presente documento.</p>	<p>Así mismo, se han realizado diversas investigaciones para mejorar las propiedades de los ladrillos convenciones y aportar a la problemática ambiental, este tema no se llevará a profundidad en el documento. Los ladrillos actualmente comercializados no presentan modificaciones en sus características pues cumplen con su función principal, dividir espacios.</p>

Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro anterior es notable que el costo de los bloques de tierra comprimida producidos por la empresa TIERRATEC tiene un aumento de 4 veces el valor comercial con el que se puede conseguir un bloque tradicional H10, asumiendo que dicho costo sea tan elevado por los impuestos y aranceles que debe pagar esta empresa al estado y a su vez la poca o nula competencia que tiene este producto en el mercado.

Producir un BTC teniendo a disposición la maquinaria cuesta entre los \$800 y \$900 pesos, Molina, (2017) realiza un estudio de mercado en Pereira para determinar el costo de la unidad de BTC teniendo en cuenta la extracción del material y la mano de obra, dando como resultado un valor de \$664,73 pesos, es decir \$18.612,44 pesos por metro cuadrado.

Los BTC pueden ser tenidos en cuenta como una opción viable para reemplazar los bloques de arcilla cocida tradicionales desde el punto de vista ambiental.

Además, cuenta con mejores ventajas para el confort de una vivienda, así mismo presenta un acabado estético muy agradable lo que permite ser idóneo para realizar muros a las vistas, adicional a eso, se puede fabricar en obra lo que evitaría el costo de su transporte a la obra a diferencia de los ladrillos cocidos.

Capítulo 5. Conclusiones

✓ Es posible construir viviendas de interés social con bloques de tierra comprimida para ser aplicados en Norte de Santander y beneficiar a la población más desfavorecida, así como al medio ambiente, de igual manera se debe estudiar el suelo para comprobar si es apto para la fabricación de BTC.

✓ Esta investigación permitió establecer que las unidades de BTC solo pueden ser usadas en viviendas de uno y dos niveles, debido a que es un elemento de gran peso, lo que produciría sobre carga en estructura de gran esbeltez, por otra parte, estas unidades no presentan condiciones ideales para ser utilizados en muro de cargas, ya que no se modificada sus propiedades químicas que permitan mejor su capacidad de soportar.

✓ Es necesario implementar un recubrimiento especial en los muros realizados con unidades de BTC que estén expuestos a la intemperie ya que son susceptibles a ganar humedad con facilidad, lo que produciría fallos en la unidad.

✓ El costo de adquisición del BTC pueden triplicar el costo promedio de un bloque de arcilla cocido tradicional, esto se debe a que es un material con poca oferta y baja demanda en el mercado.

✓ Una combinación de cal y cemento en un BTC puede cumplir con las especificaciones de resistencia y absorción, ya que la cal genera una barrera contra agua y reduce el índice de plasticidad, y el cemento aporta resistencia y durabilidad.

✓ En muretes la resistencia a compresión no fue favorable, pues en los BTC con RCD, se obtuvieron resistencias de 0,70Mpa, a pesar de que los bloques individuales mostraron un comportamiento a compresión prometedor. Esto pudo deberse a la disposición

de los bloques, uno encima del otro; habrá que realizar ensayos con un mortero preparado a base del mismo material y los ladrillos intercalados.

✓ La compactación influye directamente en la resistencia a compresión y la permeabilidad, ya que al compactar un suelo se obtiene mayor densidad, se distribuye mejor las fuerzas que actúan en él, se impide el paso del agua ya que se reducen los vacíos.

✓ A pesar de que el BTC se fabrica con arena (material pétreo no renovable) y cemento, se considera ecológico porque no genera contaminación en su producción y puede ser devuelto a la naturaleza.

✓ Algunos materiales como las emulsiones asfaltas y las fibras de polipropileno dan buenos resultados en los bloques, pero se descartan porque provienen de un proceso de transformación con un alto grado de contaminación.

✓ Como consecuencia de lo expuesto en el documento, se determina que la dosificación del suelo, cementantes y agua para fabricar un bloque de tierra comprimida es: Arena: 60%, Arcilla: 40%, Cementantes: 10%, Agua: de acuerdo al ensayo de Proctor modificado.

✓ Los resultados obtenidos de compactar los bloques de tierra con residuos de construcción y demolición lograron cumplir con las normas NTC 5324 y UNE 41410, por lo tanto, estos bloques pueden ser usados en reemplazo de los bloques de arcilla cocida tradicional.

Futuras investigaciones

→ Determinar una dosificación de los suelos de Ocaña para la fabricación de BTC.

- Estudiar la adición de yeso a los BTC.
- Ensayar la resistencia a compresión de los BTC con el gel natural.
- Realizar ensayos BTC apilonados tipo murete, las investigaciones se centran principalmente en el bloque y dejan de lado el mortero de pega y el comportamiento de un muro.
- Hacer ensayos en Bloques de Tierra Comprimida con los suelos de Ocaña, para determinar su resistencia y costo de fabricación por unidad, con esta información hacer un presupuesto para conocer el valor de una vivienda de interés social.

Referencias

- Acerca de nosotros, Auroville Earth Institute. (s.f.). Recuperado el 3 de junio de 2020 de: <http://www.earth-auroville.com/>
- Afanador, N., Guerrero, G., & Sepúlveda, R. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mompostería. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 43-58.
- Alfonso, E. (2011). ¿DESARROLLO SOSTENIBLE EN COLOMBIA? *Revista Semana*.
- Álvarez, C. (9 de Julio de 2010). *Blogs el país*. Obtenido de Blogs el país: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html>
- Argos. (29 de Junio de 2012). *360 en concreto*. Obtenido de 360 en concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/proyectos-en-concreto/edificio-direccion-general-bancolombia-proyecto-leed-en-colombia>
- Argos. (Diciembre de 2018). *Colombia Argos*. Obtenido de Colombia Argos: <https://colombia.argos.co/Acerca-de-Argos/Sostenibilidad/tendencias-de-construccion-sostenible-en-colombia-2019>
- Arquínépolis. (2018). LADRILLOS DE BTC: ¿Qué son? Ventajas y Desventajas. *Arquínépolis*.
- Arteaga, K., Medina, O., & Gutiérrez, O. (2011). *Bloque de tierra comprimida como material constructivo*. Tunja: UPTC.
- Avendaño, M. L. (2017). Una casa reciclada. *El espectador*.
- Bartolomé, A. S. (2010). *Albañilería de Bloques de Suelo Prensado Reforzada con Tubos*. Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Bloques de Tierra Comprimida (BTC, (8 de junio de 2016). En Open Source Ecology. Recuperado el 2 de marzo de 2020 de: https://wiki.opensourceecology.org/wiki/Compressed_Earth_Blocks/es
- 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*. Bogotá: Universidad La Gran Colombia.
- Cañola, H., Jaramillo, A., Medina, C., & Castañeda, G. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecniLógicas*, 135-145.
- CCCS. (01 de Febrero de 2020). *Consejo Colombiano de Construcción Sostenible*. Obtenido de Consejo Colombiano de Construcción Sostenible: <https://www.cccs.org.co>
- Certicalia. (s.f). ¿Qué es la certificación LEED? Recuperado de: <https://www.certicalia.com/certificacion-leed/que-es-la-certificacion-leed>
- Consejo Colombiano de Construcción sostenible. (2016). Sistema de Certificación Casa Colombia. Recuperado de: <https://www.cccs.org.co/wp/antecedentes-referencial-casa-colombia>

- Construible, R. (2008). Construcción Sostenible. *Construible.es "Todo sobre construcción sostenible"*.
- Construye diferente. (27 de septiembre de 2017). AUROVILLE: Construcción con tierra. Recuperado de: <http://construyediferente.com/auroville-construccion-tierra/>
- Cortes, A. M., López, I., & Londoño, G. (2018). *Plan de proyecto para la adecuación física de una planta de producción de bloques de tierra comprimida proyecto de ejecución en fase 4*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Council House 2. (s.f) City of Melbourne. Recuperado el 11 de febrero de 2020 de: <https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/council-house-2/Pages/council-house-2.aspx>
- Dinero. (2015). Los altos costos del comercio interno. *Dinero*.
- Echevery, J. E., & Jaramillo, C. (2017). *Elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos*. Pereira: Universidad Libre.
- Edificio 1 Angel Square 3D Reid" [1 Angel Square / 3D Reid]. 15 mar 2013. ArchDaily Colombia. Recuperado el 14 Feb 2020 de: <https://www.archdaily.co/co/02-243784/edificio-1-angel-square-3d-reid>
- Falceto, J. J. (2012). *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y asociación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- GARCÍA, M. M. (22 de Junio de 2015). *Construcción sostenible: Bloques de tierra comprimida BTC*. Obtenido de Construcción sostenible: Bloques de tierra comprimida BTC: <https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/construccion-sostenible-bloques-de-tierra-comprimida-btc>
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra, estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gonzalo Ángel, Juan. (TvAgro). (29 de marzo de 2016). Casas Autosostenibles y Ecológicas - TvAgro por Juan Gonzalo Ángel. Recuperado de: https://youtu.be/gwt81DSqM_4
- Gordon, S., & Villada, D. (2017). *Evaluación de las propiedades mecánicas de muretes elaborados con bloques de tierra comprimida (BTC), como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira*. Pereira: Universidad Libre.
- Guerrero, L. F., Roux, R., & López, F. (2010). Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México. *Palapa, Vol. V, No, 10*, 45.57.
- Hernandez, A. V., Botero, L. F., & Arango, D. C. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Cienca*, 197 - 220.

- Hernandez, J. (2016). *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. Barcelona.
- Hildebrandt. (31 de Agosto de 2015). *Hildebrandt Gruppe*. Obtenido de Hildebrandt Gruppe: <http://www.hildebrandt.cl/edificios-altamente-sostenibles/>
- Inarquia. (18 de mayo de 2018). Descubre las 5 Casas Ecológicas más curiosas del mundo. Recuperado el 16 de febrero de 2020 de: <https://inarquia.es/casas-ecologicas-curiosas>
- J. Cid, F. R. (2010). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 162.
- Laguna, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción*. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra.
- Londoño, A., Parra, O., & Vallejo, L. M. (2015). *Determinación de la resistencia de muretes fabricados con bloques de tierra comprimida compuestos por suelos derivados de cenizas volcánicas, cartón y cal, como alternativa de construcción de muros no estructurales*. Pereira: Univerdad Libre Seccional Pereira.
- López, A. (2018). *Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorada con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- MEB. (2016). *Midwset Earth Builders*. Obtenido de Midwset Earth Builders: <http://www.midwestearthbuilders.com>
- Mejía, P., & Carvallo, J. P. (2018). *Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustituto de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- MERKAGRES. (s.f.). *Ladrillera Merkagres*. Obtenido de Ladrillera Merkagres: <https://www.ladrillera merkagres.com/productos/5>
- MinAmbiente. (2012). *Minambiente, El ambiente es de todos*. Obtenido de Minambiente, El ambiente es de todos: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/2054-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-88#documentos-relacionados>
- Minke, G. (2008). Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. En G. Minke, *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual* (pág. 199). Alemania: Editorial Fin de Siglo.
- Molina, G. M. (2017). *ELABORACIÓN DE (BTC) BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS Y MATERIALES ALTERNATIVOS*. Pereira: Universidad Libre Seccional Pereira.
- Morales, V., Ortiz, M., & Alavéz, R. (2007). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado*. Santa Cruz, Xoxocotlán: Naturaleza y Desarrollo.

- 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.
- MundoConstructor. (2018). BTC, el sustituto eficiente del ladrillo convencional. *MundoConstructor*.
- Novarcillas. (s.f.). *Novarcillas.com*. Obtenido de Novarcillas.com: <https://www.novarcillas.com/rusticos-y-recocidos/ladrillo-toleterecocido-pequeno/>
- NTC5324. (2004). *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega*. Bogotá: NTC.
- Oskam v/f. (s.f.). *Oskam v/f*. Obtenido de Oskam v/f: https://www.oskam-vf.com/produccion_y_fabricacion.html
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s.f). En Wikipedia. Recuperado el 13 de febrero de 2020 de: https://es.wikipedia.org/wiki/Programa_de_las_Naciones_Unidas_para_el_Medio_Ambiente
- Ramirez, A. (2002). La Construcción Sostenible. *Fisica y Sociedad*, 30.
- Reseña Historica. (s.f.). *CAR*. Obtenido de CAR: <https://www.car.gov.co>
- Rivero Bolaños, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes (Bogotá)*, 354-363.
- Rocha, M. (24 de Febrero de 2015). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/FundacionLaboral/presentacin-miguel-rocha-v1501>
- Rodriguez, A. (EUDE Business School). (24 de Mayo de 2012). Construcción Sostenible. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=XdekPLQ5z6o>
- Rojas Gaitan, K. J. (2016). Montería, entre las 10 ciudades más sostenibles del mundo. *El Espectador*. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/monteria-entre-10-ciudades-mas-sostenibles-del-mundo-articulo-662991>
- Roux, R. (2010). *Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) en zonas húmedas*. México, D.F: Plaza y Valdés.
- Roux, R., & Espuna, J. (2012). *Bloque de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. Tampico: Plaza y Valdés Editores.
- Seisedos, J., & López, R. (2010). Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC. *Arquitectura construida en tierra*, 289 - 294.
- TierraViva. (2007). *Urbanizacion Casa Viva municipio de Vegachí - Departamento de Antioquia*. Vegachí.

- TIERRATEC – Arquitectura en tierra. (s.f). Acerca de nosotros. Recuperado de:
<http://TIERRATEC.com/>
- Un Techo, Una Habilidad, Un Mercado. (2016). *World Habitat Awards*. Obtenido de World Habitat Awards: <https://www.world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/un-techo-una-habilidad-un-mercado/#resumen>
- UNE41410. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*. Madrid: AENOR.
- Vásquez, A., Botero, L. F., & Carvajal, 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*. Vol. 11. No 21, 197-220.
- Vega G, L. (15 de junio de 2015). En Antioquia está la primera casa de Latinoamérica responsable con el medio ambiente. *El colombiano*. Recuperado de:
<https://www.elcolombiano.com/antioquia/asi-es-la-primera-casa-con-certificacion-lead-de-america-latina-BD2140434>
- Verduque, C. M. (s.f.). *Peso de fábricas y macizos*. Obtenido de
<https://carlosmarcosverduque.files.wordpress.com/2013/05/peso-de-materiales-y-sobrecargas-se-uso.pdf>
- Vinasco, G. M. (2017). *Evaluación de las propiedades mecánicas de muretes elaborados con bloques de tierra comprimida (BTC), como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira*. Pereira: Universidad Liber Seccional Pereira.
- Viviendo.co. (28 de Marzo de 2017). *Viviendo.co*. Obtenido de Viviendo.co:
<https://www.vivendo.co/actualidad/estas-son-las-mejores-construcciones-sostenibles-en-el-mundo>