

**Bloque De Tierra Comprimido BTC Como Una Alternativa De Construcción
Sostenible En El Sector Rural De La Ciudad De Popayán.**

Diana Mercedes Bohórquez Quiroz

Edgar Serrato Mayorga

Trabajo de Grado para optar por el título de Arquitecto

**Fundación Universitaria de Popayán
Facultad de Ingenierías y Arquitectura**

2023



**Bloque De Tierra Comprimido BTC Como Una Alternativa De Construcción Sostenible En
El Sector Rural De La Ciudad De Popayán**

Diana Mercedes Bohórquez Quiroz

Edgar Serrato Mayorga

Trabajo de Grado para optar por el título de Arquitecto

Área De Investigación Institucional: Medio Ambiente

Líneas de Investigación Programa de Arquitectura: Medio Ambiente y Hábitat

Director

Arq. Carlos Granda

**Fundación Universitaria de Popayán
Facultad de Arquitectura e Ingenierías
2023**





FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN

11/11/2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado "BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDO BTC COMO UNA ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL SECTOR RURAL DE LA CIUDAD DE POPAYÁN", presentado por DIANA MERCEDES BÓHORQUEZ GURROZ y EDGAR SERRATO MAYORGA el día 27 de noviembre de 2023, en la modalidad de TRABAJO DE GRADO INVESTIGATIVO, ha sido aprobado al cumplir con los requisitos establecidos para optar al título de ARQUITECTO(A).

Director del Trabajo de Grado
ARQ. MG. CARLOS DANIEL GRANDA BOLANOS

Director de Trabajo de Grado

Jurado Interno del Trabajo de Grado
ARQ. MG. STEFANIA ARANGO CUARTAS

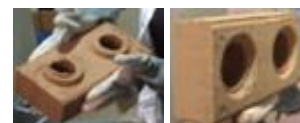
Jurado

Jurado Interno del Trabajo de Grado
ARQ. ALVARO MONTILLA VEGA

Jurado

Procedimiento de Evaluación del Trabajo de Grado

Popayán Cauca, Agosto de 2023



Dedicatoria

Dedicamos este trabajo principalmente a Dios, por habernos dado la vida y permitirnos llegar hasta este momento tan importante de la formación profesional. A nuestras familias, esposa, esposo, hijos, padres y hermanos por todo su apoyo, por ser el pilar más importante y apoyo incondicional.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestras vidas y a todas nuestras familias por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a la Facultad de Arquitectura e Ingenierías de la Fundación Universitaria de Popayán con todo el personal directivo y docentes porque cada uno ha contribuido a nuestra formación profesional.

Finalmente queremos expresar nuestro gran y sincero agradecimiento al Arq. Carlos Granda por su conocimiento, enseñanza y colaboración que permitió el desarrollo de este trabajo.

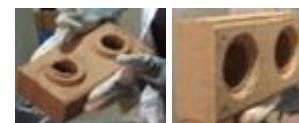
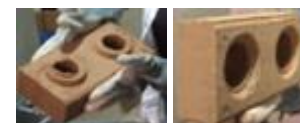


Tabla De Contenido	Pág.
Listado De Tablas	6
Listado De Ilustraciones	6
Resumen.....	8
1. Introducción.....	9
2. Planteamiento Del Problema	10
3. Localización y Descripción Del Área De Estudio.....	12
4. Objetivos.....	16
4.1 Objetivo General	16
4.2 Objetivos Específicos.....	17
5. Justificación.....	17
6. Estado Del Arte	20
7. Marco Referencial	25
7.1. Marco Conceptual	25
7.2. Marco Teórico	28
7.3. Marco Normativo	32
7.4 Estudio De Caso.....	34
7.4.1 Internacional.	34
7.4.2 Nacional.	39
8. El Sistema constructivo del bloque de tierra comprimido BTC.....	45
9. El bloque de tierra comprimido frente a otros ladrillos como la Tapia Pizada y el Bahareque 48	
10. Metodología.....	55
10.1 Tipo de investigación	55
10.2. Fuentes de información	55
Instrumentos y técnicas de recolección de información.....	56
11. Resultados De La Investigación.....	58
11.1. Establecer la importancia que tiene el bloque de tierra comprimido, para dar a conocer su proceso constructivo siendo este una alternativa sostenible	58

Nos damos cuenta de que el material bloque BTC es el ideal para la construcción de viviendas en zonas rurales sustituyendo los materiales industriales cumpliendo con unas características idóneas contribuyendo con el medio ambiente, ya que no se talan árboles ni se hacen quemas de ladrillos, evitando la concentración de monóxido de carbono, cuidando el medio ambiente.



11.2 Sugerir el bloque de tierra comprimido BTC por medio de esta investigación como una alternativa de material en construcción, teniendo en cuenta la materia prima local en el sector rural, con el fin aportar al medio ambiente, mediante la construcción arquitectónica.....	59
11.3. Fabricar el Bloque de tierra comprimido y elaborar material didáctico “brochure “ donde explique las bondades que tiene el bloque de tierra comprimido BTC como una alternativa de construcción.....	59
11.4 Demostrar el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, siendo una alternativa para las edificaciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán.....	75
Conclusiones.....	76
Referencias Bibliográficas.....	77

Listado De Tablas

Tabla 1. Normativa que rige el Bloque de Tierra Comprimida, y su proceso de fabricación.	33
Tabla 2. Principales características de las técnicas de construcción.....	49
Tabla 3. Tabla comparativa de técnicas de construcción.....	51
Tabla 4. Instrumentos y fuentes de recolección de información.	56
Tabla 5. Ventajas y desventajas del ladrillo BTC.....	72
Tabla 6. Ventajas y desventajas del sistema constructivo del ladrillo BTC.....	73

Listado De Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del departamento del Cauca dentro de Colombia.....	13
Ilustración 2. Municipio de Popayán dentro del departamento del Cauca.....	14
Ilustración 3. Mapa rural de Popayán.	14
Ilustración 4. Producción de Bloque de Tierra Comprimido.....	29
Ilustración 5. Proceso de construcción del BTC.....	30
Ilustración 6. Localización del referente Biblioteca en Gando, África.....	34
Ilustración 7. Bloque de tierra comprimido en la prensa y secado.	35
Ilustración 8. Tipo de pega que utilizaron para construir la biblioteca.....	36
Ilustración 9. Detalle constructivo de la pega en sogá.....	36
Ilustración 10. Escuela de Gando.....	37
Ilustración 11. Esquema de la ventilación natural en Gando.....	38
Ilustración 12. Las paredes están construidas con bloques de tierra estabilizada comprimida en Gando.....	38
Ilustración 13. Perforaciones por donde sale el aire caliente en Gando.	39
Ilustración 14. Localización de referente casa Imalla.....	40
Ilustración 15. Interior de casa Imalla.....	41
Ilustración 16. Interior de Casa Imalla.....	41



Ilustración 17. BTC como recubrimiento. Casa Imalla.	42
Ilustración 18. Conformación de los elementos estructurales de la vivienda	43
Ilustración 19. Utilización del ladrillo en Casa Imalla	44
Ilustración 20. Utilización del ladrillo en la casa Imalla	45
Ilustración 21. Proceso de producción del BTC	46
Ilustración 22. Extracción de suelo.	60
Ilustración 24. Muestra en plato.....	61
Ilustración 23. Moldeo en la palma de la mano.	61
Ilustración 25. Tamiz o zaranda # 9.5 mm.....	61
Ilustración 26. Vertimiento de arcilla en recipiente y proceso.	62
Ilustración 27. Preparación de muestra de suelo.....	63
Ilustración 28. Preparación de muestra de suelo.....	63
Ilustración 29. Eliminación de grumos del material.	64
Ilustración 30. Formación de masa con la arcilla.	65
Ilustración 31. Máquina Cinva Ram.	65
Ilustración 32. Realización de los BTC en la Cinva Ram.....	66
Ilustración 33. Bloque de tierra comprimido.	67
Ilustración 34. Plano de falla	69
Ilustración 35. Curado de los bloques.....	69
Ilustración 36. Dimensiones de los muretes	70
Ilustración 37. Construcción de paredes con BTC.....	75
Ilustración 38. Muro de vivienda construida con BTC.....	75
Ilustración 1. beneficios de construir con bloques de tierra comprimida.....	70

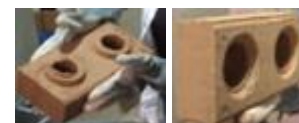


Resumen

La industria de la construcción es uno de los factores de desarrollo más importantes de las sociedades actuales, pero también es una amenaza constante para el medio ambiente; por ejemplo, los materiales con los que se realiza, son elementos que representan un peligro, teniendo en cuenta este problema, la investigación que se presenta a continuación, plantea el uso de un material más amigable con el medio ambiente, que resulta también mucho más económico en comparación con los materiales que actualmente se usan en la construcción. Durante el siglo XXI se han venido estudiando materiales que no emiten emisiones de carbono y no pierdan sus características físicas de la materia, que tengan un confort de hábitat; estos tipos de materiales deben brindar economía, seguridad, confort térmico, no deben producir CO2 deben aportar a la salud y al medio ambiente.

Utilizando estas características antes mencionadas esta investigación plantea como material de construcción amigable el bloque de tierra comprimido (BTC), pues cumple con las condiciones técnicas y físicas que se deben tener en cuenta, además es un elemento que se puede implementar a las construcciones sociales en las diferentes zonas rurales del municipio, brindando un aporte para las futuras generaciones que estudien este tipo de material, se deja en evidencia en el trabajo desarrollado sobre el BTC, algunas de las condiciones físicas que debe cumplir, junto con la exposición de los beneficios y posibilidades que tiene como material de construcción para las construcciones rurales.

Palabras clave: Contaminación ambiental, Bloque de Tierra Comprimida, material amigable con el medio ambiente, Solución de vivienda rural.



Abstract

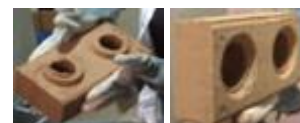
The construction industry is one of the most important development factors in today's societies, but it is also a constant threat to the environment; For example, the materials with which it is made are elements that represent a danger, taking this problem into account, the research presented below proposes the use of a more environmentally friendly material, which is also much more economical compared to the materials currently used in construction. During the 21st century, materials have been studied that do not emit carbon emissions and do not lose their physical characteristics of matter, that have habitat comfort; These types of materials must provide economy, safety, thermal comfort, they must not produce CO₂, they must contribute to health and the environment.

Using these aforementioned characteristics, this research proposes the compressed earth block (BTC) as a friendly construction material, since it meets the technical and physical conditions that must be taken into account, it is also an element that can be implemented in social constructions in the different rural areas of the municipality, providing a contribution for future generations that study this type of material, it is evident in the work developed on the BTC, some of the physical conditions that must be met, along with the exposure of the benefits and possibilities it has as a construction material for rural constructions.

Keywords: Environmental contamination, Compressed Earth Block, environmentally friendly material, Rural housing solution.

1. Introducción

Los materiales en la construcción son elaborados con agentes tóxicos contaminantes, que inciden en el medio ambiente con su ciclo de vida, que va desde la extracción y procesado de materias primas hasta el fin de su vida útil, es decir su tratamiento como material residual,



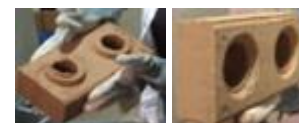
pasando por las fases de producción y por el empleo racional de estos materiales en la edificación. Su fabricación implica agotar los recursos renovables y no renovables por la extracción de materias primas y consumo de recursos fósiles. El objetivo de esta investigación es Proponer el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, como alternativa para las construcciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán, considerando la materia prima en el sector rural, con el fin de aportar al medio ambiente, mediante la construcción arquitectónica de tierra comprimida BTC.

Representa una investigación de tipo cuasi experimental, donde en un primer estadio, se hace uso de la información secundaria en referentes nacionales e internacionales respecto a las características, información y el sistema constructivo del bloque de tierra comprimido BTC. En la segunda etapa, se realiza un diagnóstico sobre la elaboración del bloque de tierra comprimido BTC que permita conocer sus ventajas y desventajas. Ya en la tercera etapa, se presenta una descripción sobre el proceso de autoconstrucción en bloques de tierra comprimida BTC, que culminará con la elaboración de un material didáctico denominado “Brochure”, donde se resalte las bondades que tiene este bloque.

La construcción es una de las actividades de mayor auge en la sociedad, que le permite al ser humano crear y desarrollar espacios artificiales en los que lleva a cabo diferentes actividades tales como residencia, educación, salud, entretenimiento, distracción y demás, que se desarrolla en todos los estratos sociales y en los diversos escenarios regionales del país, pero en la que se le ha restado importancia al tema del medio ambiente, por el tipo de materiales empleados en ella y sus procesos de fabricación. En Colombia se producen 376.947 toneladas mensuales de ladrillo, es decir 4.523.367 al año (Construdata 2020) trayendo grandes impactos negativos medioambientales. El BTC representa una opción amigable con el medio ambiente, pues reduce la contaminación.

2. Planteamiento Del Problema

En la actualidad el ladrillo, es uno de los elementos más utilizados en la construcción, pero su fabricación genera un gran impacto en el medio ambiente; desde la extracción de la materia prima de las minas, luego en su fabricación donde se emite 270 gramos de CO₂, además

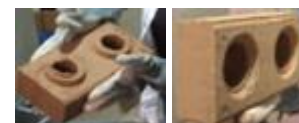


requiere casi 2 litros de agua y 3 Mega Jules de energía y en su quemado, donde un horno se consume 1,200 troncos aproximadamente provocando densas nubes de humo que contaminan la zona y provocan que las personas que trabajan en los chircales estén constantemente respirando el humo que se produce, ocasionando afectaciones en la salud (Alvarez, 2010). Además, los materiales en la construcción son elaborados con agentes tóxicos que contaminan, y su fabricación implica agotar los recursos renovables y no renovables por la extracción de materias primas y consumo de recursos fósiles.

La producción de ladrillos produce degradaciones ambientales debido a la emisión de cantidades significativas de contaminantes gaseosos y particulados. Los tipos de contaminantes asociados a la producción de ladrillo se han señalado como Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno, y material particulado. Genera impactos ambientales asociados a la fabricación del ladrillo, que envenenan el entorno de diversas maneras, los gases y partículas tóxicas contaminan el agua potable, los cultivos de alimentos, así como las zonas habitadas por las personas y en general, el aire que se respira. Los impactos sobre el aire, el suelo, los animales y vegetales, sobre el clima y el recurso hídrico (Paez 2020).

En Colombia la industria de la construcción según el manual de gestión socioambiental para obras de construcción (2010), consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos, consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra; esta práctica es una de las principales actividades que generan contaminación del aire, contaminación del agua, deforestación etc. convirtiéndose así en la actividad menos sostenible.

Un claro ejemplo se puede evidenciar en el sector rural de la ciudad de Popayán, donde se genera deforestación, producción de CO₂ entre otros contaminantes y la extracción de los recursos naturales como es la arcilla, el agua, la energía, la madera y otros, al producir un material de construcción como es el ladrillo común, siendo este el principal material en la construcción de edificaciones en la ciudad de Popayán y en este caso en la zona rural; al no tener conocimiento de otros materiales amigables con el medio ambiente, como el bahareque, tapia pisada, adobe, ladrillo comprimido etc; característicos de la vivienda rural, también existe una ideología en las personas de que estos son señalados o se asocian a ser de bajos recursos y ser un método antiguo.



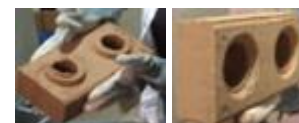
Hoy en día la arquitectura está asumiendo la responsabilidad ambiental pero aún falta más compromiso en la investigación e implementación de estos materiales, se debe tener en cuenta que en el diseño y en las propuestas de materialidad de cada proyecto sea grande o pequeño dejan un daño en el medio ambiente poco perceptible, pero incrementa en un alto grado la huella ecológica. Al implementar este tipo de materiales hace que se pierda la identidad, la tipología arquitectónica de la vivienda rural y de las personas que la habitan; motivo por el cual se propone el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, como alternativa para las construcciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán.

El aprovechamiento de la tierra en BTC puede ser una opción frente al cuidado ambiental y una alternativa a las problemáticas sociales ligadas a la carencia habitacional en las comunidades rurales, considerando la materia prima en el sector rural, con el fin de aportar al medio ambiente, mediante la construcción arquitectónica de tierra comprimida BTC.

3. Localización y Descripción Del Área De Estudio

La zona donde se propone implementar la utilización del Bloque De Tierra Comprimido BTC Como Una Alternativa De Construcción Sostenible, es en el sector Rural De La Ciudad De Popayán.

Popayán se localiza al sur occidente de la república de Colombia entre las cordilleras Central y Occidental en la zona denominada como la meseta de Popayán, que pertenece a la región Andina, una de las cinco regiones naturales en la que se encuentra dividido el territorio colombiano (Plan de Ordenamiento Territorial de Popayán 2002 p.7). Además, Popayán es la capital del Departamento del Cauca, cuenta con una extensión territorial de 512 km² y su precipitación media anual de 1.941 mm, por estar a una altura de 1.737 msnm, tiene una temperatura media de 18-19 °C durante todo el año, alcanzando temperaturas máximas en los meses de julio, agosto y septiembre en horas del mediodía -hasta 29 °C- y mínimas de 10 °C en horas de la madrugada en verano (POT 2002).

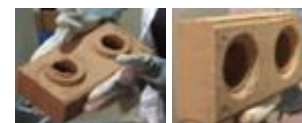


El sector rural está compuesto por 23 corregimientos y los 2 resguardos indígenas, (Poblazón y Quintana). A nivel rural se estima que el 45% de las viviendas existentes requieren ser sometidas a procesos de mejoramiento y de manera especial las ubicadas en las veredas de Puelenje Centro, Cajete, Sendero, El Tunel, Poblazón; Samuel Silverio y Julumito (POT 2022). Respecto a las características de las viviendas rurales payanesas, son un lugar central de la existencia humana, donde la relación trabajo-producción-vida familiar está en clara interacción con el entorno, no sólo comprenden la unidad de habitación, también el espacio de producción, la diseñan, construyen y modifican sus moradores con técnicas tradicionales, auto-producción de materiales y componentes básicos (Sánchez y Jiménez, 2019), como elementos rústicos y precariedad. En cuanto a la tecnología, las viviendas rurales tradicionales emplean técnicas artesanales y materiales naturales del entorno (Rotorando & Mellace, 2000). González (2001) está de acuerdo, agregando que algunas viviendas rurales modernas incorporan materiales industriales, mezclando componentes y técnicas tradicionales; aun manteniendo el adobe, en estas últimas, su construcción lleva más materiales industrializados.

Ilustración 2. Ubicación del departamento del Cauca dentro de Colombia



En el mapa se puede observar, la ubicación del departamento del Cauca dentro de Colombia. Está ubicado al suroccidente del país entre las regiones andina y pacífica, limitando al norte con Valle del Cauca y Tolima, al oriente con Huila, al suroriente con Caquetá, al sur con Putumayo y Nariño, y al noroccidente con el océano Pacífico..



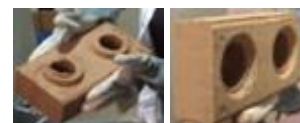
Fuente: Mapa político de Colombia, (2022) **Ilustración 3. Municipio de Popayán dentro del departamento del Cauca**

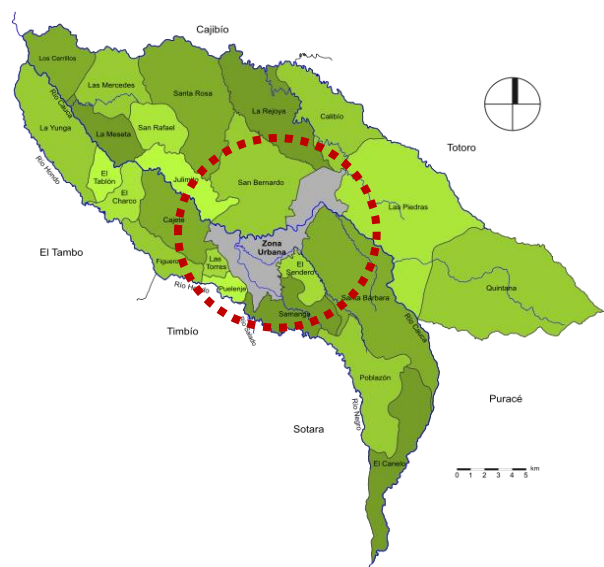


En el mapa se puede observar, la ubicación de Popayán dentro de los 43 municipios que conforman el Cauca. Popayán limita al oriente con los municipios de Totoró, Puracé; al occidente con los municipios de El Tambo y Timbío; al norte con Cajibío y Totoró y al sur con los municipios de Sotará y Puracé.

Fuente: Municipios del Cauca (2022).

Ilustración 4. Mapa rural de Popayán.





Mapa que señala la zona rural de Popayán, que se distingue por su color verde. Según el DANE, para el año 2019 la zona rural de la ciudad, se encuentra habitada por 563.174 personas.

Fuente: Popayán, mapa rural (2022).

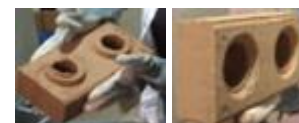
3.1. Entorno de la construcción en la actualidad

En el siglo XXI la sostenibilidad planetaria es una prioridad en la agenda política mundial, donde exige ser reforzada para tomar conciencia por la humanidad, la construcción es una de las actividades de la economía que actualmente explota muchos de los recursos naturales energéticos y con ese ritmo de consumo desmedido e irracional está comprometiendo el futuro para las nuevas generaciones.

La tierra nos acoge, además de brindarnos armonía, belleza con el paisaje. Al usarla tecnológicamente como material de construcción, nos puede ofrecer también un hábitat natural, saludable y de menor impacto ambiental.

La tierra como material de construcción ha estado presente en todas las culturas del mundo y para estos tiempos podría ser una alternativa y aportar al déficit de vivienda que sufren muchas regiones del país.

En la actualidad estamos viviendo una crisis ambiental que no se puede dimensionar. Llegando a tanto que sobrepasamos la huella de CO2 amenazando la biodiversidad del planeta estando a punto de agotarse los recursos ecológicos que han tardado millones de años en formarse buscando cerrar una brecha de desigualdad social y confort de vivienda en los lugares más apartados de las ciudades. No siendo ajenos a esto, la construcción es uno de los mayores contaminantes y productores de CO2 por medio de transportes, quemados, producción de residuos



etc. Según la Worldwatch Institute de Washington la construcción es la responsable del 40% de emisión de CO₂ y el 20% del consumo de agua potable y el 40% de residuos sólidos. Las casas de bloques de tierra comprimida BTC son sin duda la mejor opción a la hora de construcción muy confortables y bajo costo de fabricación siendo esta una de las primeras formas de construcción.

Durante el siglo XXI se han venido buscando soluciones amigables con el medio ambiente ya que la incompatibilidad del ser humano con la naturaleza específicamente en el área de la construcción no son las mejores creando condiciones inadecuadas cambiando los climas sufriendo una descontextualización por eso se tienen que seguir patrones de desarrollo como por ejemplo las construcciones vernáculas que no es más que el tipo de construcción que nos permite la mitigación de producción de CO₂ entre ellas la fabricación del ladrillo comprimido buscando soluciones adecuadas y económicas para la bioconstrucción.

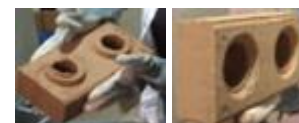
Para producir los BTC se necesita alrededor de un 1% de la energía que se requiere para fabricar un ladrillo convencional, un elevado ahorro energético, además este proceso productivo tiene emisiones de CO₂ mínimas entre 1% y 9% ya que este no requiere quemarse para dar afinado. Son reguladores de energía, el espacio se calienta, cuando el ambiente es frío y cuando es caliente él se enfría ya que conserva las propiedades de la tierra porque no se ha quemado.

Tanto la producción como el uso de BTC son prácticas sostenibles. Se pueden fabricar in situ, si el terreno de construcción es de buena calidad, si no es fácil encontrar la tierra adecuada a profundidades de entre 30 y 50 centímetros por debajo de la capa vegetal de la obra se puede localizar en otro terreno cerca de la obra.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Demostrar el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, siendo una alternativa para las edificaciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán.



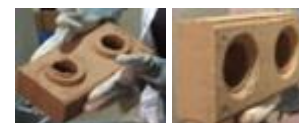
4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la importancia que tiene el bloque de tierra comprimido, para dar a conocer su proceso constructivo siendo este una alternativa sostenible.
- Sugerir el bloque de tierra comprimido BTC por medio de esta investigación, como una alternativa de material en construcción, teniendo en cuenta la materia prima local en el sector rural, con el fin aportar al medio ambiente, mediante la construcción arquitectónica.
- Fabricar el bloque de tierra comprimido y elaborar material didáctico “Brochure” donde explique las bondades que tiene el bloque de tierra comprimido BTC como una alternativa de construcción.

5. Justificación

La problemática de la falta de vivienda, que era casi exclusivo de las personas del sector informal, ha alcanzado los sectores laborales debido a las altas tasas de desempleo que tienen como origen la modernización de la industria. El desempleo en el mundo ha alcanzado en la actualidad su nivel más elevado, inclusive, por las bajas en la economía debido a la pandemia Covid 19 (Gómez-Molina, & Molina-Pérez, 2020), pues el Covid-19 (coronavirus) ha hundido la economía mundial en la peor recesión desde la Segunda Guerra Mundial, según el Banco Mundial (Banco Mundial 2020).

Adicional a ello, estudios confiables muestran que las empresas a nivel mundial a medida que pasa el tiempo, han ingresado en un proceso de modernización desplazando a gran cantidad de empleados no cualificados, esto se debe a las presiones por el incremento de la competitividad y a la reducción de los costos laborales; originando que las grandes empresas aceleren el proceso de cambio de trabajadores por máquinas (Velásquez 2018). Colombia no ha sido la excepción. Popayán es conocida por ser una ciudad con altas tasas de desempleo o subempleo; Según la Cámara de Comercio del Cauca (Cámara de Comercio del Cauca 2023); infiriendo el gran problema que supone construir una vivienda bajo esa problemática. Aunque el gobierno ha



tratado de mejorar las condiciones para la construcción de vivienda, mediante programas nacionales y locales, se ha generado un efecto negativo derivado del incremento del desempleo y naturalmente, por la pérdida del poder adquisitivo de sus habitantes.

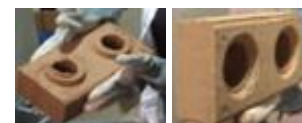
Por todo lo anterior y además por los altos costos de los materiales de construcción, la falta de capacitación de la mano de obra, la especulación de la tierra y los procedimientos constructivos, se está impidiendo a este sector de la sociedad creciente poder tener una vivienda digna y sustentable. Dentro del tema de los materiales de construcción se menciona que los que se utilizan actualmente para la edificación de viviendas populares aparte de su costo elevado, generan además una importante contaminación debido a lo costoso de los procesos de reutilización y reciclado.

Lo mencionado anteriormente, ha producido también que el espacio habitable se vea reducido en las nuevas viviendas edificadas en la actualidad, que, en muchos casos, ha producido un hacinamiento, generando una alteración de la privacidad interna de la vivienda, al observar de los investigadores. La alternativa de utilizar materiales regionales tradicionales, como el BTC para viviendas populares, presenta la posibilidad de reducir el costo de edificación e incrementar el área habitable por unidad de vivienda (Mejía 2019), ya que el material con el que se fabrica se encuentra en abundancia en la extensión territorial del lugar de la construcción, con lo que se evitaría el pago de transporte.

Adicional a ello, la máquina para producir los mencionados BTC no requiere consumo energético de ninguna clase, como la llamada *cinvva-ram* de operación manual, máquina propuesta como primera opción para la fabricación de estos ladrillos. Se añade también que los residuos producidos por estos ladrillos, no son contaminantes, pues mediante un proceso natural de degradación se van reincorporando al medio ambiente, sin causar ninguna agresión para el mismo.

Desde una perspectiva constructiva, se permitirá conocer las ventajas y desventajas de este material, con el fin de comprobar su estabilidad, durabilidad y comportamiento fiable, y además beneficios que ofrece esta opción constructiva como material alternativo en el contexto social y económica de la ciudad de Popayán especialmente en la zona rural.

En otro sentido, en primer lugar, la viabilidad y factibilidad de utilizar el BTC como material de construcción sostenible es un aspecto crucial a considerar. Esta investigación permite



determinar si esta técnica puede ser implementada de manera efectiva en el entorno rural de Popayán, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de recursos locales, la capacidad de producción, la accesibilidad a los materiales y la aceptación por parte de la comunidad.

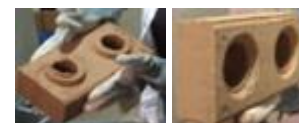
En segundo lugar, su pertinencia radica en la necesidad de buscar alternativas de construcción más sostenibles en el sector rural. Teniendo en cuenta los desafíos ambientales y sociales presentes en la actualidad, es fundamental explorar opciones que minimicen el impacto negativo en el medio ambiente y promuevan un desarrollo sostenible en las zonas rurales.

Además, la conveniencia de utilizar el BTC en el sector rural de Popayán puede ser evaluada en términos de costos, durabilidad y eficiencia energética. Se podrá determinar si esta técnica es económicamente viable y si puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales en términos de confort térmico y acústico.

Las implicaciones prácticas de esta investigación son significativas, ya que podrían tener un impacto directo en el sector de la construcción en la ciudad de Popayán. Si se demuestra la viabilidad y utilidad del BTC, permitiría impulsar la adopción de esta técnica por parte de arquitectos, constructores y comunidades rurales, generando un cambio positivo en la forma en que se llevan a cabo los proyectos de construcción en la zona.

En términos de valor teórico, esta investigación contribuiría al conocimiento existente sobre técnicas de construcción sostenible, específicamente en el contexto rural. Los resultados obtenidos podrían ser utilizados como base para futuros estudios y proyectos relacionados con la construcción sostenible en otras áreas similares.

Por último, la utilidad metodológica radica en el desarrollo de un enfoque sistemático y riguroso para evaluar la viabilidad del BTC como alternativa de construcción sostenible en el sector rural. Los estudiantes utilizarán métodos de investigación adecuados, como análisis de datos, pruebas de laboratorio y evaluaciones de campo, para obtener resultados confiables y significativos.

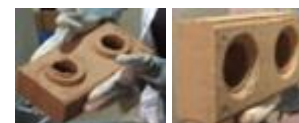


En resumen, los estudiantes de arquitectura deciden llevar a cabo esta investigación sobre el BTC como una alternativa de construcción sostenible en el sector rural de la ciudad de Popayán debido a su viabilidad, pertinencia, conveniencia, implicaciones prácticas, valor teórico y utilidad metodológica. Esta investigación busca contribuir al conocimiento existente y generar cambios positivos en la forma en que se construye en el entorno rural, promoviendo un desarrollo sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

6. Estado Del Arte

Cicero (2008), realizó una extensa investigación que tituló “**Implicaciones del uso del bloque de tierra comprimida en el diseño de vivienda de interés social en Monterrey, Nuevo León**”. En la Universidad de Monterrey México, donde realizó aportes valiosos al presente estudio, donde se extraen los siguientes: A causa de la creciente crisis que se continúa manifestando sobre los recursos naturales, se ha desarrollado un nuevo estado de conciencia en el que se evidencia la necesidad de adaptar todas las disciplinas humanas hacia una convivencia positiva con el medio ambiente. El concepto de desarrollo sostenible ya se está difundiendo dentro de las disciplinas humanas como la arquitectura y la construcción. Por un lado, la arquitectura sostenible se preocupa por los modos de producción de los materiales que utiliza, de dónde provienen, su reciclado, la implicación de un costo ecológico, su contenido energético, las emisiones que generan y el transporte.

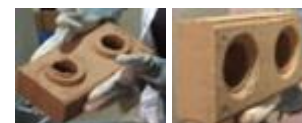
El material que se ha encontrado como alternativa, que reúne las características de seguridad, confort y estética, es la tierra. Con ella se desarrolla una tecnología completa que permite fabricar casi la totalidad de los elementos que componen una construcción. La decisión de emplear los bloques de tierra comprimida, se han sintetizado por las siguientes razones: contribuir a la sustentabilidad global al disminuir el empleo de cemento y acero en la edificación; Para promover el ahorro global de energía tanto en la fabricación, como en el uso de la vivienda; Contribuir al mantenimiento de los ecosistemas al disminuir su deterioro mediante la reducción en el consumo de combustibles y de emisiones atmosféricas; por incrementar el confort climático y ambiental dentro de la vivienda; para aprovechar la integración de recursos



humanos. Para concluir, la construcción con bloques de tierra comprimida tiene una larga historia de uso tanto en México en el mundo. Sin embargo, como material de construcción, la tierra ha sido desplazada en nuestros días por materiales más modernos y accesibles como el tabique o el bloque de cemento, incluso en la vivienda de tipo rural.

Medina, Medina y Gutiérrez (2011), en la investigación denominada **“Bloque de Tierra Comprimida como Material Constructivo”**, manifiesta que la construcción ha tenido una escasa utilización en la actualidad, debido a la ausencia de difusión e investigación, y a que está relacionada con la pobreza y la escasez, lo que ha conducido al desaprovechamiento de enormes ventajas, entre las que se menciona “la abundancia de materia prima, la localización, la disponibilidad, el reciclaje, la producción sin consumo de energía (calorífica), el bajo costo y la resistencia, (con un adecuado estudio del material tierra, y de la estructuración del suelo de fundación)”; adicional a ello “el aislamiento térmico y el acústico”. A pesar de lo anterior, con el paso del tiempo las técnicas constructivas con tierra se han ido mejorando, llevando a cabo estabilizaciones e implementando la utilización de maquinaria y herramienta mecánica para elaborar bloques de tierra comprimida, facilitando de esta manera el trabajo y la obtención de un rendimiento mayor. Este estudio expone la tierra como material constructivo, las técnicas o sistemas constructivos sobre ella, los bloques de tierra comprimida BTC y algunos ensayos realizados a estos bloques. Entre sus diversas características concluyen que los BTC permanecerán en la construcción, por su economía, resistencia y por ser la tierra un material abundante, reciclable y productivo.

En el estudio denominado **“Bloques de Tierra Comprimida, adicionados con fibras naturales”**, Roux y Espuna (2012), hacen una caracterización de los bloques de tierra comprimida, donde presentaron los resultados obtenidos en la experimentación del uso de fibras naturales en especial de la fibra de coco, como elemento de refuerzo para bloques de tierra comprimida. Se resalta como aporte a la presente investigación, lo siguiente: Los bloques de tierra comprimida se representan como rentables, sostenibles y materiales de construcción amigables con el medio ambiente, en comparación con los elementos de construcción tradicionales. Otras tecnologías de construcción como el hormigón, los ladrillos de tierra cocida



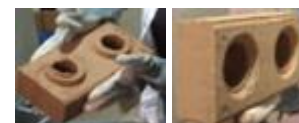
y los ladrillos a base de cemento se consideran de alto costo, alta energía y asociados con aspectos ambientales adversos. La producción de cemento es una de las principales fuentes de emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al 60 % del calentamiento global cuando se une a los gases de efecto invernadero. Muchos países ahora tienen estándares de construcción con tierra, la mayoría de los cuales se ocupan de una técnica o más; entre estas tres técnicas: el adobe, tapial y Bloques de Tierra Comprimida.

En otro sentido, los bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales son una alternativa sostenible, rentable y ecológica en la construcción. Estos bloques se fabrican utilizando tierra local, que se mezcla con un pequeño porcentaje de cemento para mejorar la resistencia y durabilidad. Además, se agregan fibras naturales como paja, cáñamo o yute para aumentar la cohesión y reducir la fisuración.

La utilización de estos bloques tiene ventajas significativas. En primer lugar, es una opción respetuosa con el medio ambiente, ya que se utiliza tierra local y se minimiza la extracción de recursos naturales. Además, al emplear fibras naturales, se reduce la dependencia de materiales sintéticos y se fomenta la utilización de recursos renovables. También presentan propiedades térmicas y acústicas favorables, lo que contribuye a un mejor confort en el interior de los edificios. Además, son buenos reguladores de la humedad, lo que ayuda a mantener un ambiente saludable.

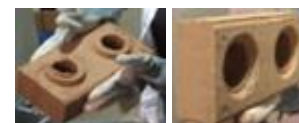
Es importante mencionar que, aunque los bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales son una alternativa interesante en términos de sostenibilidad, es necesario contar con pruebas y certificaciones adecuadas para garantizar su calidad y resistencia. Se recomienda consultar a expertos en ingeniería y construcción para obtener información precisa y confiable sobre su implementación.

Ramos Rivera y López Zerón, a 2019, realizaron una investigación en Honduras, titulada: **“El Ladrillo de Bloque de Tierra Comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental”**. En su estudio manifestaron que el ladrillo de arcilla cocida, el que comúnmente se conoce, se ha utilizado frecuentemente para la construcción. Su proceso de construcción incluye la cocción de la arcilla en hornos fabricados artesanalmente, que desprenden Dióxido de Carbono (CO₂). Este CO₂ corresponde a un desecho primario que aumenta en gran medida la carga



ambiental de los gases efecto invernadero. Con este preliminar, se tuvo como objetivo evaluar la resistencia del material Ladrillo o Bloque de Tierra Comprimida BTC, como un material alternativo que reduce la contaminación. El método investigativo utilizado fue el descriptivo, para este estudio los ladrillos de arcilla y BTC fueron elaborados y comparados mediante la principal propiedad mecánica que es la resistencia a la compresión. Los resultados que se obtuvieron fue que la resistencia de los ladrillos tradicionales fue menor a 1,000 psi, mientras que la resistencia de los ladrillos BTC con adiciones de cemento Portland y cascarilla de arroz alcanzaron un valor mayor a 1,500 psi. Con los hallazgos se concluyó que el ladrillo BTC mejorado con cemento cumple con el requisito estructural NW (intemperismo despreciable) y según su absorción, se puede clasificar como de intemperismo moderado (MW) que puede ser una alternativa de construcción amigable con el ambiente, que reduzca el impacto medioambiental, específicamente el que provoca la producción de materiales para la edificación. Se sugirió además, que se requiere de pruebas de laboratorio complementarias para diseñar características de sostenibilidad mecánica y/o ambiental del BTC, así se podrá extrapolar la utilización de materiales para paredes o muros exteriores de mampostería sometidos a ciclos importantes de intemperismo.

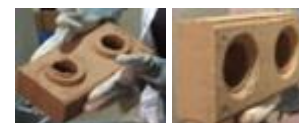
En otra investigación, denominada “**Bloques de tierra comprimida, su retardo técnico e impacto ambiental**”, (2016), realizado por Medina, Medina y Gutiérrez, se abordó el tema de las propiedades térmicas de los bloques de tierra comprimida (BTC), para corroborar las ventajas de este material alternativo sobre los materiales convencionales, con el propósito de demostrar que éstos pueden satisfacer las necesidades de la población en la construcción de viviendas dignas, mejorando su calidad de vida y produciendo un menor impacto ambiental. Respecto a la metodología, las pruebas térmicas que se realizaron, simularon el efecto del sol sobre un muro, donde de manera paulatina se registró la temperatura durante las pruebas, señalando el retraso térmico en los muros según el material. Este estudio permitió el cálculo del retraso térmico de un muro fabricado con BTC y hacer la comparación con muros fabricados con materiales convencionales. De acuerdo a los hallazgos, se comprobó que un BTC tiene la capacidad de regular la temperatura al interior de la vivienda, por lo tanto, presenta ventajas comparado con los materiales convencionales utilizados en la construcción. También se obtuvo como resultado que el BTC estabilizado con hidróxido de calcio al 7%, redujo en casi en un 20%



las emisiones de CO₂ por metro cuadrado, frente al bloque de concreto, y casi en un 50%, frente al ladrillo cocido, concluyendo entonces que el impacto ambiental se reduce ostensiblemente con el uso del BTC, pudiendo ser una alternativa de construcción amigable con el ambiente.

Por su parte, Angulo y Carreño, (2017), en su estudio **“El Bloque de Tierra Comprimido o BTC Una alternativa de Construcción para la Arquitectura Contemporánea”**, de la Universidad Antonio Nariño de Colombia, manifiestan la importancia de estos bloques, en un tiempo donde la degradación del planeta ha obligado a plantear nuevas y mejores alternativas de construcción que minimicen el impacto ambiental negativo para la flora, la fauna y los recursos naturales. Menciona el BTC como un material amigable con la naturaleza, señalando su posibilidad de industrialización y producción a gran escala de forma rápida y económica, convirtiéndolo en una alternativa viable, durable y sostenible en toda obra de construcción puesto que representa un prefabricado tradicional que no produce CO₂. Expone que el BTC tiene como ventajas la disponibilidad, la producción, la inercia térmica, la salud, el medio ambiente, que están inscrito en la norma técnica de sismo resistencia NSR 10, en la norma ICONTEC 5324 (bloques de tierra comprimidos para muros y divisiones), idéntica a la norma AFNOR XP 13-901 desarrollada por Craterre en Francia; sus propiedades acústicas, sus propiedades eléctricas, magnéticas y de radiación, su aplicabilidad y diseño, su economía, resistencia y mantenimiento. Como desventajas menciona que es vulnerable al impacto del agua y del viento, pero con un mantenimiento protegerse. De igual manera menciona que no es un bloque estructural pues la exigencia mínima de este es de 12 Mpa a la compresión.

Para finalizar, en la investigación titulada **“Bloques de tierra comprimida como alternativa de sostenibilidad en comunidades rurales (El Prodigio – Antioquia)”**, Arroyave, Venegas y Cañola (2021), se plantea como una alternativa de sostenibilidad ambiental el uso de tierra en la confección de Bloques de Tierra comprimida BTC para sistemas de mampostería en el corregimiento El Prodigio Antioquia; según los análisis realizados de propiedades físico-mecánicas, posterior a la caracterización de materiales, se determinó que los BTC elaborados por la comunidad, con una dosificación por peso, correspondiente a una parte de cemento, 6 partes de tierra y tres de arena de pega, presentaron una densidad promedio de 2054kg/m³, una



resistencia promedio de penetración de agua por método Rilem de $4,8 \times 10^{-6}$ m³ y resistencia promedio a la compresión de 3,2Mpa, lo cual los hace viables para la construcción de sistemas de mampostería según la NTC 5324; por otro lado, el trabajo realizado permitió la integración social y la sensibilización ambiental en cuanto al aprovechamiento de la tierra como alternativa de construcción en comunidades rurales con problemáticas ambientales, de accesibilidad y déficit de unidades habitacionales

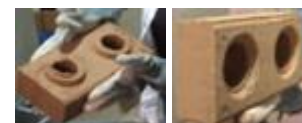
7. Marco Referencial

7.1. Marco Conceptual

A continuación, se estudian los conceptos que permiten establecer una base investigativa, como son *Contaminación ambiental*, *Bloque de Tierra Comprimida*, y *Solución de vivienda rural*. Estos son conceptos que se toman por las problemáticas que aquejan a la población residente en la zona rural del municipio de Popayán, al momento de tener la definición de cada una de estas se continúa con el análisis y con el proceso de construcción del Bloque De Tierra Comprimido BTC.

La *contaminación ambiental* no es un fenómeno nuevo, pero sigue siendo el mayor problema mundial que enfrenta la humanidad y la principal causa ambiental de morbilidad y mortalidad. Las actividades del hombre a través de la urbanización, la industrialización, la minería y la exploración están a la vanguardia de la contaminación ambiental global. Tanto los países desarrollados como los países en desarrollo comparten esta carga, aunque la conciencia y las leyes más estrictas en los países desarrollados han contribuido en mayor medida a proteger su medio ambiente. A pesar de la atención mundial hacia la contaminación, el impacto aún se siente debido a sus graves consecuencias a largo plazo. La contaminación ambiental se puede definir como cualquier cambio adverso causado en el medio ambiente debido a la introducción de un elemento tóxico o nocivo conocido como contaminante. Representa una amenaza para el medio ambiente natural y sus ecosistemas (Peñaloza 2012).

Vargas (2005), ha estimado que en los países industrializados un 20 % de la incidencia total de enfermedades puede atribuirse a factores medioambientales por contaminación de CO₂ por absorción de aires internos y externos. Los agentes ambientales implicados son los óxidos de nitrógeno y azufre, las partículas en suspensión, ozono, metales, compuestos orgánicos volátiles



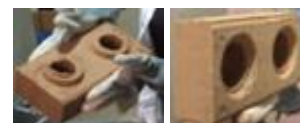
e hidrocarburos. Las Naciones Unidas también describen en el documento acción por el cambio climático la contaminación ambiental: como el cambio climático a largo plazo elevando las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor de la contaminación ambiental, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. La quema genera emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrayendo el calor del sol y elevando las temperaturas.

Algunos ejemplos de emisiones de gases de efecto invernadero que provocan la contaminación ambiental son el dióxido de carbono y el metano. Estos proceden del uso de la gasolina para conducir un coche o del carbón para calentar un edificio, por ejemplo. El desmonte de tierras y bosques también puede liberar dióxido de carbono. Los vertederos de basura son una fuente importante de emisiones de metano (ONU 2012). La energía, la industria, el transporte, los edificios, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores. En estas descripciones es claro cómo se genera la contaminación ambiental a través de numerosas prácticas desarrolladas por el hombre por ejemplo la quema de combustibles, la utilización de la madera en la industria talando el bosque para la quema de algunos elementos de la construcción como el ladrillo.

Bloque de Tierra Comprimida: En la página de Arquinet Polis¹, se describen los ladrillos comprimidos como una gran alternativa para construir de forma sustentable ya que no requiere de quemado ni emite emisiones de monóxido al medio ambiente y se fabrica con una mezcla de tierra y un material estabilizante que puede ser la cal o cemento. Esta mezcla se comprime y moldea utilizando una prensa mecánica. El BTC es un sustituto del ladrillo convencional en las actividades propias de la construcción y se utiliza en la construcción de muros aplicándolos manualmente por hiladas como los ladrillos comunes, pero la diferencia radica en que se utiliza como mortero una mezcla de los mismos materiales, se reduce tiempo en la construcción, menos desperdicio, es tipo lego fácil de ensamblar.

Laguna (2021), en su documento ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción describe como el ladrillo además de una buena apariencia responde a criterios

¹ Pagina web que expone un importante contenido sobre arquitectura, diseño y demás.



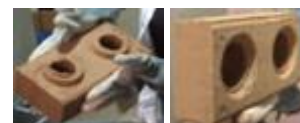
ecológicos y sostenibles ya que requiere un bajo nivel de energía para su fabricación y se elimina la emisión de CO₂ a la atmósfera al ser ladrillos que no requieren de cocción. Los ladrillos de arcilla cocida son algunos de los materiales de construcción más importantes de todos los tiempos. Hoy, sin embargo, a la mayoría de los productores les resulta cada vez más difícil competir con los productos a base de cemento. Este es considerado un producto estrella de la construcción que genera un gran impacto al medio ambiente, que implica en su elaboración altos niveles de energía y una gran dependencia del petróleo.

Según estos conceptos los ladrillo BTC son una gran alternativa para la construcción ya que se pueden fabricar en situ, disminuye la contaminación ambiental, su fabricación es fácil, también su instalación, no requiere mortero de pega pues es fácil su ensamblaje conserva las características físicas de la tierra ya que son auto reguladores de temperatura. El bloque de tierra comprimido o BTC es unas de las técnicas de construcción más representativas en tierra cruda, debido a su posibilidad de industrialización y producción a gran escala de manera rápida y económica, que lo hace una alternativa viable, durable y sostenible para todo tipo de obra ya que se comporta como un prefabricado tradicional con la diferencia de que no produce CO₂. (Angulo y Carreño Charry 2017).

Solución de vivienda rural. La construcción con ladrillo BTC, permite solucionar el déficit habitacional, en zonas pobres y rurales, por medio de construcciones basadas en recursos naturales disponibles en el área, como por ejemplo la tierra, de bajo costo y amigables con el medio ambiente en Colombia y en cualquier lugar del mundo.

En algunos países con recursos, muchos de los edificios de nueva construcción están diseñados bajo la conciencia del cambio climático, con sistemas de ahorro de energía y por lo tanto bajas emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Esta situación comienza a ser indispensable en cualquier modelo productivo. En los países económicamente más desfavorecidos esta problemática pasa a un segundo plano por la carencia de recursos. La autoconstrucción con arcilla ha demostrado ser la respuesta más apropiada en varios países de Asia, África y América Latina, y quizás la solución que mejor aúna ambos dilemas (Cabo, 2011).

Según datos del Worldwatch Institute De Washington, el sector de la construcción y el uso de los edificios son responsables del 40% de extracciones de recursos naturales de la corteza



terrestre el 40% del gasto energético y las emisiones de CO₂ el 20% de gasto de agua potable y el 40 % de residuos sólidos es más cada m² de vivienda es responsable de una media de emisión de 1,9 toneladas de emisión de CO₂.

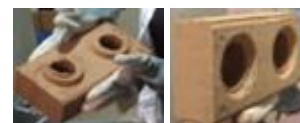
En la página de Arquinet Polis describe que las construcciones elaboradas con estos bloques han demostrado tener un mayor número de beneficios que las construcciones tradicionales hechas de madera o concreto. Su elaboración en términos de costo resulta mucho más económica que en ladrillos convencionales. Para construir un ladrillo normal se necesita más mano de obra, en cambio, los bloques BTC son fabricados por una prensa mecánica, esto reduce costos y ayuda a la preservación de los recursos naturales ideal para las zonas rurales, inclusive, supliendo el déficit situacional de esta zona, ya que se reduce transportes y no se necesitan hornos de quemado por lo que estos se fabrican in situ.

Teniendo en cuenta la recopilación de información anterior los bloques de tierra comprimida son la mejor opción al momento de construir en la zona rural, siendo adaptables a la zona urbana, ya que son resistentes al fuego y al calor, lo que los hace ideales para un entorno urbano donde la densidad de construcción puede aumentar el riesgo de incendios. También ofrecen un excelente aislamiento térmico, manteniendo las estructuras frescas en verano y cálidas en invierno, lo que reduce la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración.

Desde el punto de vista ambiental, los BTC son una opción sostenible, ya que utilizan materiales naturales y locales, lo que reduce la huella de carbono asociada con el transporte. Además, los bloques de tierra comprimida son biodegradables y no generan residuos tóxicos durante su fabricación. debido que los BTC no requieren de quemado, son de fácil construcción, reducen la emisiones de monóxido de carbono al medio ambiente, se fabrican in situ, son autorreguladores de temperatura al interior de la vivienda.

7.2. Marco Teórico

La construcción con bloques de tierra comprimida BTC presentan muy buenas condiciones de aislamiento acústico y térmico debido a las características del material y los espesores utilizados.



Los BTC, son bloques constructivos fabricados a base de una mezcla de cemento, arena y arcilla, pudiendo contener también cal como estabilizante. Tras preparar la mezcla adecuada se moldea y comprime en una prensa mecánica. Generalmente se utiliza en sustitución del ladrillo convencional para la construcción de muros de carga, de cerramiento o muros acumuladores de calor (Cañola y otros, 2018).

Los muros de tierra presentan una ventaja y es que regulan de manera natural el ambiente de la vivienda. Los bloques de tierra comprimida no se cuecen por ello conservan las propiedades de los muros de tierra, regulan la humedad y acumulan calor.

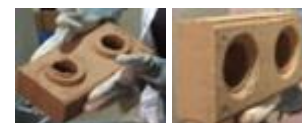
Tanto la producción como el uso de bloques de tierra comprimida son prácticas sostenibles. Se pueden fabricar in situ si el terreno de construcción es de buena calidad, si no es fácil encontrar la tierra adecuada a profundidades de entre 30 y 50 centímetros por debajo de la capa fértil superficial se puede encontrar a poca distancia de la obra (Medina y Medina 2011).

Ilustración 5. Producción de Bloque de Tierra Comprimido



Fuente: Construcción sostenible (2020).

El proceso de producción comienza apartando la tierra fértil de la superficie para que la capa de arcilla inferior se seque de manera natural bajo la acción del sol y el viento, luego ésta se pulveriza. Posteriormente se humedece y mezcla con arena, pudiéndose añadir cal según las



proporciones que contenga la marga. Esta mezcla se deja secar unas semanas y ya estaría lista para introducirla en la prensa.

Ilustración 6. Proceso de construcción del BTC



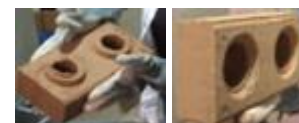
Fuente: Construcción sostenible (2020).

Para producir los BTC sólo se necesita alrededor de un 1% de la energía que se requiere para fabricar un ladrillo convencional, un elevado ahorro energético, además este proceso productivo tiene emisiones de CO₂ mínimas. Otra ventaja es que las viviendas construidas con BTC mantienen una humedad relativa constante en torno al 50% necesitando menos energía para calefactarlas que en una vivienda tradicional. Los muros de arcilla son capaces de almacenar calor y energía solar que luego cesan al interior cuando la temperatura desciende.

Para la ejecución hay que tener en cuenta una serie de aspectos referentes a la manipulación de los bloques, para que no pierdan sus propiedades. Mantenimiento en principio no requieren, tan sólo reparar si se produce algún daño mecánico con arcilla (Construcción sostenible 2020).

Cemento

Constituye el medio estabilizante. El agregado de cemento mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia. Se emplea generalmente el gris normal, denominado "portland", provisto por la industria, no excluyendo la posibilidad del empleo de otros tipos de cemento. La dosificación del aglutinante debe ser realizada en unidades de peso en relación con la cantidad de suelo empleado



para la mezcla. Ésta depende, en gran medida, del sistema de compactación adoptado (Gallardo y otros 2018):

- A menor compactación, mayor presencia de cemento.
- A mayor compactación, menor presencia de cemento

Mortero: Material de unión de los bloques de tierra comprimida. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal yeso, entre otros (Jaramillo y Echeverry 2017).

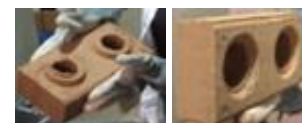
Formas y Dimensiones del (BTC): En vista de que las dimensiones de los adobes son variadas, solo es conveniente dictar sobre este tema algunas recomendaciones de carácter general.

La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega. La longitud tendrá una dimensión máxima de 40 cm. La altura no debe ser mayor a 14 cm en lo posible. La relación entre la longitud y la altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción de 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por los sismos (Jaramillo y Echeverry 2017).

Moldeo: El moldeo puede ser el tradicional, utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal, o también utilizando moldes con fondo, que permite producir bloques más uniformes, más resistentes y de mejor presentación (Jaramillo y Echeverry 2017).

Máquina de tipo CINVA – RAM: La máquina que se emplea para llevar a cabo la fabricación de los adobes artesanales, recibe el nombre de Cinva Ram a partir del centro de investigaciones donde se llevó a cabo inicialmente el desarrollo de bloques de tierra comprimida en la década de 1950 (Centro Interamericano de Vivienda, CINVA) y también por el apellido del desarrollador Raúl Ramírez (Jaramillo y Echeverry 2017).

Con los anteriores materiales se fabrica una vivienda sostenible, que aprovecha todos los recursos disponibles en el entorno para reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental de manera que se conserve el medio en el que se ha construido. La elección de los materiales de una vivienda sostenible es fundamental, ya que permite alcanzar los máximos niveles de aislamiento térmico. Además, es preciso considerar su ciclo de vida desde la producción hasta el reciclaje. Los materiales más indicados son aquellos que no demandan un



gran consumo de energía para su producción o los que tienen un origen renovable (Montegancedo 2012). Por último, se deben favorecer procesos constructivos industrializados y ligeros.

Por lo tanto, la arquitectura sostenible es aquella que desde el diseño y la planeación de las obras constructivas piensa en la eficiencia de los materiales y su ciclo de vida, los procesos de la edificación, el urbanismo circundante y el impacto de los edificios en la naturaleza y la sociedad, bajo el prisma de lo que se conoce como economía circular.

La tierra como técnica constructiva ha estado presente a lo largo de la Historia en diversas y heterogéneas civilizaciones, tanto para la ejecución de pequeñas edificaciones de carácter austero, como para la construcción de estructuras más nobles, como son los casos de murallas, castillos, fortalezas... Ejemplos de ello son las construcciones realizadas por las primeras sociedades que se establecieron antes de Cristo (Gallardo y otros 2018). Dichas construcciones quedan definidas por la utilización de un determinado módulo, de tamaño variable, el cual se repite multitud de veces hasta generar el cerramiento o partición a realizar, el cual, junto a la colaboración de elementos estructurales de madera, generan el conjunto de la edificación. En función de su tamaño, se suele diferenciar entre tierra en masa, el adobe (módulos de pequeño tamaño, del tamaño del ladrillo tradicional) y el tapial (módulos de gran tamaño, que suelen superar el metro cuadrado de superficie) (Construcción sostenible 2020).

Los bloques de tierra comprimida son un material constructivo implementado desde la antigüedad por civilizaciones por diferentes partes del mundo debido a su abundancia en el terreno y su facilidad de construcción. A su misma vez sus características permiten que este material ayude a controlar temperaturas y humedad, brindando beneficios como material primitivo natural. La construcción en tierra es una alternativa ecológica que podrá solucionar un problema latente en la sociedad el cual es la escasez de recursos de los estratos bajos para adquirir vivienda propia (Construcción sostenible 2020).

7.3.Marco Normativo

La siguiente es la normativa que rige el Bloque de Tierra Comprimida, y su proceso de fabricación

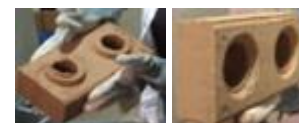
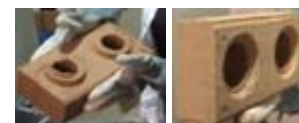


Tabla 1. Normativa que rige el BTC y su proceso de fabricación

Escala	Descripción	Aporte
Internacional C67	En su normativa C67, establece los procedimientos de laboratorio necesarios para conocer las propiedades físicas/mecánicas o geotécnicas de los ladrillos, particularmente para los ladrillos de arcilla cocida y ladrillos BTC.	Esta norma nos aporta para nuestro proyecto los conceptos necesarios que requerimos para desarrollar ensayos, muestreo e inspecciones.
Internacional ASTM C216-10, (2010).	No se requiere que los ladrillos se sometan a pruebas de eflorescencia para cumplir con esta especificación a menos que lo solicite el especificador o comprador. Cuando la prueba de eflorescencia es solicitada por el especificador o comprador, el ladrillo será muestreado en el lugar de fabricación, y probado de acuerdo con los métodos de prueba C67.	Esta norma nos da la viabilidad de no hacerle las pruebas de humedad si el cliente o el inspector de obra no lo requiere.
Nacional NTC 1522:	Esta norma establece el procedimiento que debe seguirse en las operaciones de tamizado de suelos con el fin de determinar su composición granulométrica.	La normativa nos da el número de tamiz a utilizar para saber la granulometría de la arcilla
Nacional NTC 5202	Método de ensayo para determinar la expansión por humedad de productos de arcilla espécimen de ensayo del ladrillo BTC.	Esta norma nos establece los métodos para determinar el PH de la arcilla “humedad”

Fuente: Normativa señalada en cada apartado.

Esta normativa nos da unas pautas para poder desarrollar la investigación teniendo en cuenta las características físicas y los componentes que deben integrarse al momento de realizar los BTC. La norma NSR está en proceso de actualización para incluir este tipo de material de construcción.



7.4 Estudio De Caso

7.4.1 Internacional.

7.4.1.1 .Biblioteca en Gando

Con una población de 3.000 habitantes, Gando es una pequeña aldea en las planicies meridionales de Burkina Faso situada a 200 kilómetros de Uagadugú, la capital del país. En el año 1998, Francis Kéré impulsó la construcción de una escuela, convencido de que la educación era la primera piedra para el desarrollo personal y económico de los habitantes de su pueblo natal. Tres módulos rectangulares unidos por una única cubierta componen la estructura básica del edificio. Cada uno de ellos alberga un aula para cincuenta alumnos. El techo y las paredes los forman ladrillos de arcilla, fabricados in situ por los vecinos, los verdaderos protagonistas de la construcción del edificio. Por encima del techo de arcilla se eleva una cubierta de zinc que se despega de éste mediante una cercha de acero. La separación entre las dos piezas establece un espacio de ventilación, evitando el sobrecalentamiento de las aulas (Escuela primaria, Gando 2015).

Este edificio, que recibió el Premio Aga Khan de Arquitectura en 2004, se convirtió en un motivo de orgullo para la comunidad. A medida que el conocimiento colectivo de la construcción comenzó a difundirse e inspirar a Gando, se han llevado a cabo nuevos proyectos culturales y educativos para apoyar el desarrollo sostenible en el pueblo (Escuela primaria, Gando 2015).

Ilustración 7. Localización del referente Biblioteca en Gando, África.

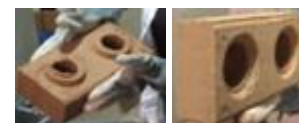


África



Burkina Faso- Gando

Fuente: Mapa político de África: Países y capitales.



La biblioteca Gando nace para completar el equipamiento de la escuela primaria, construida anteriormente en la aldea de Gando (Burkina Faso), Francis Kéré Architecture proyecta una biblioteca abierta a todo el público, no sólo estudiantil. Para su construcción se utilizan materiales y técnicas locales, pero el empleo de elementos innovadores confiere al edificio final un carácter contemporáneo construido en el año 2012 (kidsarch,2022).

Con la construcción de la escuela primaria esta ha atraído a numerosos niños de los alrededores de Gando se ha llevado a cabo una ampliación en varias fases: se han construido en primer lugar más aulas y viviendas para los profesores, y por último, el edificio de la biblioteca (Kidsarch, 2022).

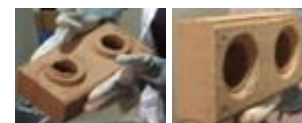
El proceso de producción comienza apartando la tierra fértil de la superficie para que la capa de arcilla inferior se seque de manera natural bajo la acción del sol y el viento, luego ésta se pulveriza. Posteriormente se humedece y mezcla con arena, pudiéndose añadir cal según las proporciones que contenga la marga. Esta mezcla se deja secar unas semanas y ya estaría lista para introducirla en la prensa (Construcción sostenible, 2015).

En la imagen podemos apreciar el bloque de tierra comprimido en la prensa, una vez se realiza se dispone a dejarlo en un lugar adecuado para generar el secado.

Ilustración 8. Bloque de tierra comprimido en la prensa y secado.



Fuente: Construcción sostenible (2020).



En la imagen se puede ver el tipo de pega que utilizaron para construir la biblioteca la cual fue en soga que consiste en colocar bloques en horizontal por su lado más largo para formar una estructura de muros o paredes.

Ilustración 9. Tipo de pega que utilizaron para construir la biblioteca



Fuente: En Construcción: Biblioteca Escolar en Gando (2023).

En la imagen se puede apreciar el detalle constructivo de la pega en soga donde disponen para la construcción de muros el bloque de tierra comprimido.

Ilustración 10. Detalle constructivo de la pega en soga.



Fuente: En Construcción: Biblioteca Escolar en Gando (2023).

En la imagen de ventilación natural los techos de chapa ondulada son una solución popular, aunque absorben la luz solar directa y calientan el interior de los edificios. El diseño resuelve este problema al separar el techo del edificio cómo se puede apreciar en la imagen.

Se introduce un techo de ladrillos apilados en seco en el medio, lo que permite una ventilación máxima (Kidsarch, 2022).

Ilustración 11. Escuela de Gando.



Fuente: Escuela primaria, Gando (2015).

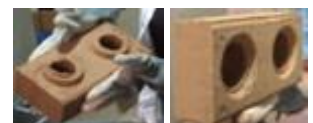
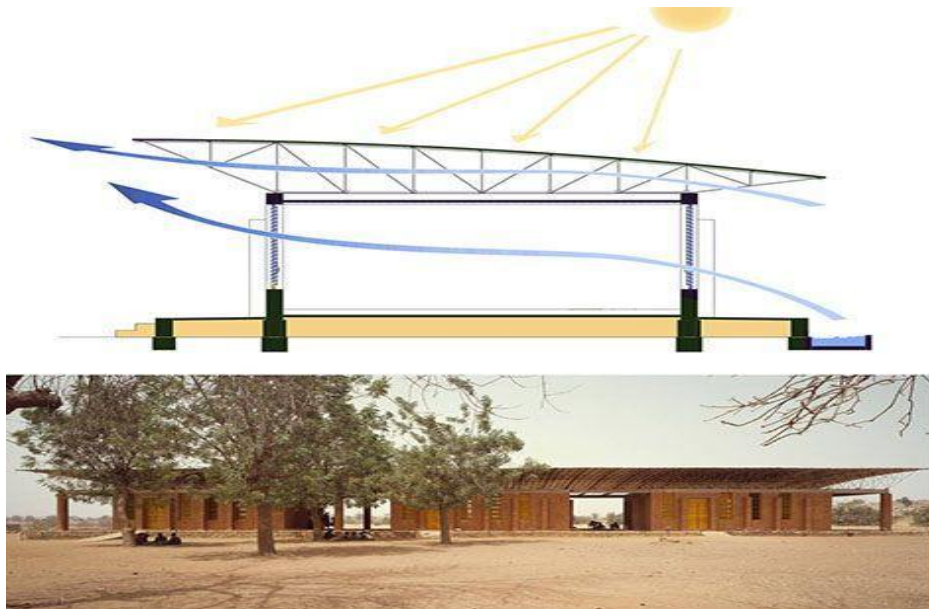


Ilustración 12. Esquema de la ventilación natural en Gando.



Fuente: Gando Primary School (2012)

El aire fresco entra a través de las ventanas internas como nos muestra la imagen, mientras que el aire caliente sale a través de las perforaciones en el techo de arcilla. El confort climático está garantizado por la orientación del edificio, los materiales y un diseño que permite un flujo de aire sin obstrucciones entre la estructura del techo. La ventilación cruzada se ve reforzada por el abundante uso de contraventanas en los muros norte y sur (Kidsarch,2022).

Ilustración 13. Las paredes están construidas con bloques de tierra estabilizada comprimida en Gando.



Fuente: Gando Primary School (2012)

En la imagen se aprecia las perforaciones por donde sale el aire caliente, además genera efectos de luces y sombras dentro de la biblioteca.

Ilustración 14. Perforaciones por donde sale el aire caliente en Gando.



Fuente: Gando Primary School (2012)

7.4.2 Nacional.

7.4.2.1 Casa Imalla

La casa Imalla es un proyecto inició en el año 1990 y está ubicado en la zona suburbana en la vereda Centro de Villa de Leyva Boyacá, altitud 2.200 m.s.n.m. La vivienda se proyectó a partir de la filosofía de aprovechar lo que ofrecía el terreno, incluida una topografía inclinada de aproximadamente un 10 % de pendiente, rocas de considerable tamaño que estaban esparcidas y algunas plantas, así como una escorrentía muy pequeña de agua, que atravesaba el predio. Todos estos elementos fueron las determinantes ambientales que se incluyeron desde el diseño, así mismo se tenía como material: la “tierra”, que fue un requerimiento del cliente, quien solicitó realizar esta obra con este recurso por razones de salud. (Apuntes 2013).



Ilustración 15. Localización de referente casa Imalla.



Fuente: Boyacá (2014).

El proyecto inició en el año 1990 y está ubicado en la zona suburbana en la vereda Centro de Villa de Leyva Boyacá, a una altitud 2.200 m.s.n.m. Esta vivienda fue proyectada por la arquitecta Angel Garzon y Salamanca: se construyó en 1990 con la filosofía de aprovechar el terreno, estos elementos son determinantes ambientales incluidas desde la materialidad. Revista apuntes digitales de la arquitectura (Arquitectura Digital 2019).

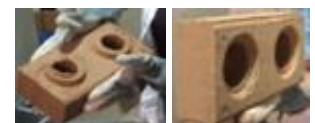


Ilustración 16. Interior de casa Imalla.



Fuente: Construir con tierra (1991).

Se escogieron los bloques BTC que son ladrillos comprimidos, siendo el insumo prioritario pudiéndose hacer la materia in situ. Como se evidencia en la imagen el material es muy vistoso y fueron usados como elementos de mampostería y muros de carga.

Ilustración 17. Interior de Casa Imalla.



Fuente: Casa Imalla (2022).

En esta imagen se evidencia como se utiliza el BTC no solo como material vistoso sino que también se puede aplicar recubrimiento igual que en el ladrillo común.

La morfología surge de la geometría con polígonos rectangulares y octogonales, parten de un centro ortogonal del que se desprenden dos “alas”, que van jugando con ángulos, aprovechando la pendiente que va descendiendo del occidente al oriente y por ello el ingreso de la vivienda se definió en la parte más alta articulada al acceso vehicular junto a la vía. Así mismo un “hilo de agua” o esorrentía que pasaba por el terreno se integró dentro de la vivienda, dejando varias caídas de agua que armonizan auditivamente el ambiente social, pasan por el comedor, la sala y sale al jardín y termina aportando al riego del jardín.

Ilustración 18. BTC como recubrimiento. Casa Imalla.



Fuente: Casa Imalla (2022). Apuntes de Arquitectura

En esta imagen se evidencia como la instalación de los bloques le permite generar una integración del exterior con el interior a través de la cubierta tipo abovedado y con su cúpula permitiendo el ingreso del aire al interior de la vivienda esto le permite mantener la vivienda en su temperatura ambiente convirtiéndola en una vivienda bioclimática

El proyecto responde a factores bioclimáticos como las precipitaciones atmosféricas, (lluvia, llovizna, granizo) hoy más conocidos como “ecológicos”, que, en su momento, no era un concepto conocido. Con esta técnica la envoltura regula la temperatura, humedad y brinda confort térmico. (Casa Imalla 2022 Apuntes de Arquitectura)

Ilustración 19. Conformación de los elementos estructurales de la vivienda



Fuente: Casa Imalla (2022). Apuntes de Arquitectura

En estas imágenes podemos ver la conformación de los elementos estructurales de la vivienda los cuales le brindan la estabilidad que requiere. Los arcos, las bóvedas y las cúpulas son elementos arquitectónicos milenarios que ofrecen economía y funcionalidad a la arquitectura, en casas de adobe o BTC, con paredes de 30 cm. que funcionan como muros de carga, las proporciones en el tamaño de vanos y llenos de la obra son los que le han brindado la estabilidad, disminuyendo el uso de materiales industrializados, solo se usó hormigón armado en la cimentación, vigas de amarre inferior y superior, así como en la impermeabilización de las cubiertas.

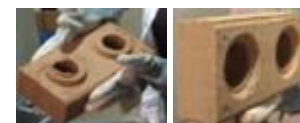
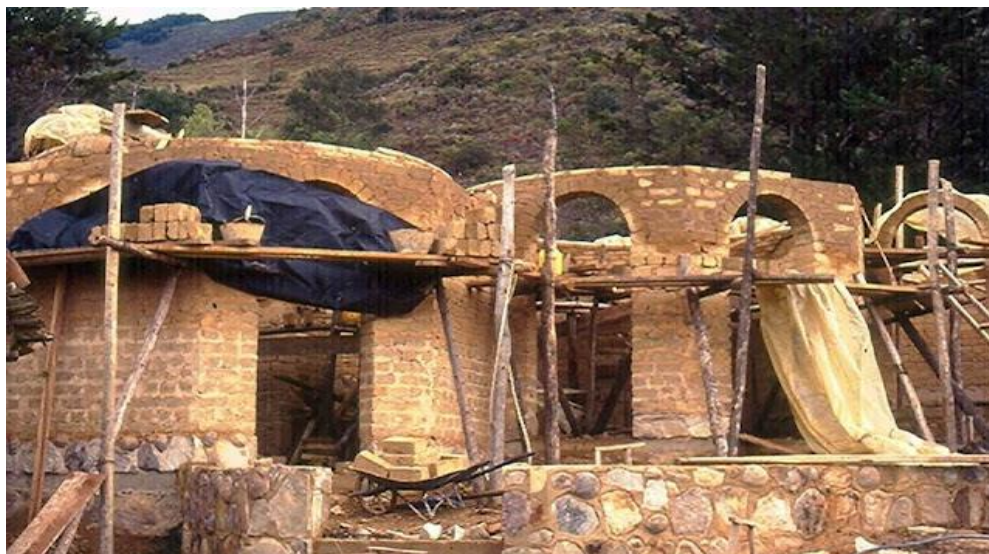


Ilustración 20. Utilización del ladrillo en Casa Imalla



Fuente: Casa Imalla (2022). Apuntes de Arquitectura

Como se puede apreciar en esta imagen, la colocación de ladrillo después del hormigón armado la utilización del ladrillo, en este proyecto fue en soga donde se le fue dando las formas y conformando las geometrías requeridas. La casa Imalla es un laboratorio de permacultura de más de 30 años donde se integran objetos arquitectónicos innovadores tecnológicamente con una arquitectura ecosostenible que ofrece calidad ambiental para las personas que la conciben. El material para la hechura de este ladrillo fue una mezcla de arcilla, arena y cal para darle la resistencia al ladrillo y el mortero utilizado fue la misma mezcla del BTC con un espesor de 1,5 en la pega.

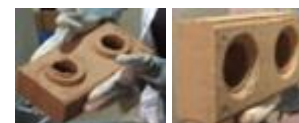


Ilustración 21. Utilización del ladrillo en la casa Imalla



Fuente: Casa Imalla (2022). Apuntes de Arquitectura

8. El Sistema constructivo del bloque de tierra comprimido BTC

El BTC es un material de construcción que se obtiene al mezclar arena, arcilla y agua. La mezcla resulta en un material apto para la construcción por sus características de resistencia a la compresión. En muchas ocasiones se usan estabilizantes como la cal y cemento para ayudar al BTC a lograr una mayor resistencia mecánica y resistencia a la humedad. El lugar que ocupa el BTC en la construcción se da en los muros de carga, de cerramiento o muros acumuladores de calor. Los bloques de tierra compactada son fáciles de elaborar en sitio y aportan componentes de confort térmico en comparación de los ladrillos convencionales, no se pueden igualar. Además, para construcciones de uno o dos niveles se comportan de manera muy similar a estos al someterse a esfuerzos de compresión (Medina, & Medina, 2011).

El tipo de suelo necesario para la elaboración del BTC, será, entonces, uno que permita reunir estas características. Una combinación que tenga mayor proporción de arena que de arcilla no tendrá la cohesión suficiente y será difícil de manipular y compactar, en cambio, una que contenga más arcilla que arena, resultará con fracturas y se encogerá; por lo tanto, el hacer una buena combinación de estos será clave. De acuerdo con el “Manual de construcción con BTC” de la arquitecta Elena Ochoa, (2017) el proceso de producción del BTC consiste en una serie de pasos que se simplifica de la siguiente forma y se explican en párrafos posteriores:

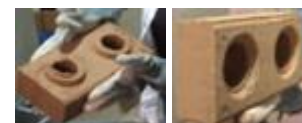
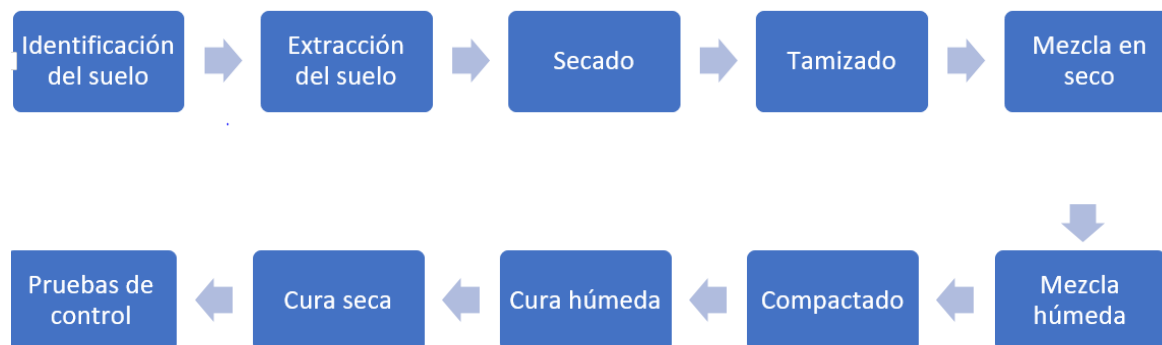


Ilustración 22. Proceso de producción del BTC



Fuente: Investigación propia basado en Manual de construcción con BTC de Ochoa (2017).

Identificación del suelo: Identificar las proporciones de los componentes del suelo con el fin de saber si corresponde a arenas, gravas o arcillas y decidir si se podrá utilizar.

Extracción del suelo: Prever la cantidad de suelo a extraer del lugar y mantener un control de las propiedades del suelo que se extraiga haciendo pruebas de identificación.

Secado: Es importante secar el material antes de ser utilizado, esto facilitará su tamizado o cribado y será más fácil de mezclar.

Tamizado: El tamizado o cribado tendrá dos funciones, una para eliminar materia orgánica o desechos que contaminen el material y la otra para controlar la granulometría del bloque.

Mezcla en seco: Antes de iniciar la mezcla en seco se debe preparar el lugar limpiándose para que el material no se contamine y de preferencia escoger un lugar impermeable para evitar que absorba el agua de la mezcla. El mezclado se deberá hacer hasta que se obtenga un resultado homogéneo.

Mezcla húmeda: Agregar el agua poco a poco para no pasar el estado de húmedo. Al incorporar el agua las arcillas se adhieren mejor y se activa la reacción del cemento, el cual necesita agua para reaccionar correctamente.



Compactado: Para tener un control en el tamaño de los bloques usar siempre el cajón de medida y llenarlo siempre al mismo nivel. La palanca de la prensa se deberá bajar lo más posible. El compactado, dependiendo de la cantidad, presupuesto y rapidez con la que se requiere fabricar los bloques, se puede hacer con prensa mecánica (100 bloques por hora), motorizada (200 bloques por hora) o hidráulica motorizada (240 bloques por hora).

Independientemente de lo que se use la resistencia a la compresión del BTC estará alrededor de los 40-120 kg/cm².

Cura húmeda: El tiempo secado de los bloques deberá de ser de al menos 10 días. Durante estos días los bloques se deben hidratar puesto que en algunos casos contienen como estabilizante cemento, el cual necesita agua para reaccionar correctamente; además se evita la evaporación de agua de los bloques.

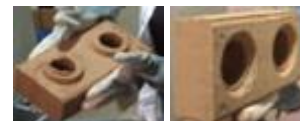
Cura seca: La cura seca deberá ser de un mínimo de dos semanas. Esto debido al cemento que contiene, el cual requiere de 28 días para alcanzar su resistencia máxima.

Pruebas de control: El control durante la producción de los BTC se da sobre todo en dos momentos, en la extracción del suelo y en la compresión de los bloques. Se debe verificar que el suelo extraído no cambie sus características, es decir, que las proporciones de cada uno de los elementos del suelo sean las mismas y que tanto su cohesión como su plasticidad sea la misma. Al sacar los bloques de la prensa se puede comprobar su correcta compresión. Si al apoyar el pulgar en el centro del bloque la huella no es muy visible, entonces la compresión es correcta.

Complementar el sistema de construcción

En cuanto al sistema de Bloque de Tierra Comprimido (BTC) es una técnica de construcción sostenible y económica que utiliza bloques hechos de tierra cruda mezclada con un estabilizante como el cemento o la cal. Estos bloques se compactan y se secan al sol para formar paredes estructurales.

Para pegar los bloques de BTC entre sí, se utiliza una mezcla de mortero de tierra, que consiste en tierra cruda mezclada con agua y estabilizantes. Esta mezcla se aplica entre los bloques para unirlos y mejorar la resistencia de la estructura. El mortero de tierra se coloca en



capas delgadas entre los bloques y se compacta correctamente para asegurar una unión fuerte Manual de construcción con BTC de Ochoa (2017).

En cuanto al suelo natural, es importante tener en cuenta la calidad y estabilidad del terreno antes de la construcción. Se deben realizar estudios geotécnicos para evaluar la capacidad de carga del suelo y determinar si es necesario tomar medidas adicionales, como cimientos o refuerzos estructurales Manual de construcción con BTC de Ochoa (2017).

La estructura de un sistema de BTC se sostiene mediante columnas, vigas, cimientos y refuerzos adicionales si es necesario. Estos elementos proporcionan soporte y estabilidad a las paredes construidas con bloques de tierra comprimida. Es importante seguir los principios de diseño y construcción adecuados para garantizar una estructura segura y duradera.

9. El bloque de tierra comprimido frente a otros ladrillos como la Tapia Pizada y el Bahareque

Las técnicas de construcción de tierra cruda se están extendiendo, bajo la promesa de ser respetuosas con el medio ambiente, térmicamente confortables, fácil de mantener y estéticamente interesante. Utilizan material local, no industrializado y, además evitando la producción de residuos, algunas técnicas incluso permiten reutilizar materiales domésticos y escombros de construcción, aprovechando esta ventaja. Dentro de amplia gama de posibilidades y formas de utilizar la tierra cruda en la construcción, la tierra se puede moldear en forma de adobes o bolas de barro hechas a mano y colocarse frescas; puede proyectarse sobre paneles, formados por entramados de caña, ramas, madera, hilos o tiras de cuero; y también se puede compactar en tapial o pisos apisonados. Veamos algunas de las técnicas ancestrales y modernas más comunes, y un análisis comparativo entre el Bloque de Tierra Comprimido, la Tapia Pizada y el Bahareque, considerando que el BTC es artesanal, por lo tanto no podría competir con ladrillos no artesanales.

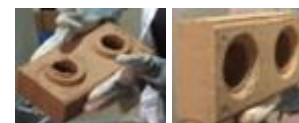



Tabla 2. Principales características de las técnicas de construcción

Técnicas De construcción	Características	Elaboración	Imagen
<p>Bloque de Tierra Comprimido BTC</p>	<p>Esta técnica constructiva incluye la elaboración de bloques en tierra con adición de materiales áridos y cementantes.</p>	<p>La elaboración de los bloques se realiza con la ayuda de una máquina cuyo mecanismo de acción puede ser manual o mecanizado realizando uno o varios bloques a la vez.</p>	
<p>Tapia Pizada Edificación en tapial (Tapial) Muros de tierra arcillosa húmeda, compactada a golpes mediante un pizón empleando un encofrado para formarla.</p>	<p>Consiste en compactar tierra humedecida dentro de un entramado para levantar muros.</p>	<p>El marco constituye un elemento clave dentro de la definición de esta técnica, donde los muros tradicionales de tierra apisonada se construyen principalmente mediante un encofrado móvil hecho de madera.</p>	



Técnicas De construcción	Características	Elaboración	Imagen
<p>Bahareque (muros hechos con armazón de madera y barro)</p>	<p>Material de construcción similar al adobe, consistente en arcilla o barro reforzado con palos o cañas.</p> <p>Se sabe que las estructuras de entramado como el bahareque, son estructuras de tipo de muro de soporte, como adobe y construcciones de muros de tierra apisonada, para resistir sin problemas el peso vertical</p>	<p>La mezcla se hace en esta construcción ancestral técnica similar a la utilizada en la elaboración de adobes y puede contener fibras vegetales de diferentes tamaños que suelen ser pastos o cereales vegetales residuos entre otros. A nivel de la respuesta estructural de las construcciones de tierra.</p>	

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2023).

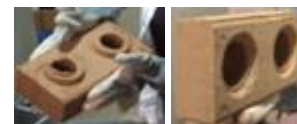
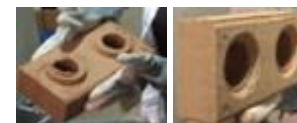


Tabla 3. Tabla comparativa de técnicas de construcción

Técnicas De construcción Ventajas	Sostenibilidad Y Medio ambiente	Economía y Bajo costo	Uso materiales locales	Quema de combustibles fósiles	Resistencia	Otras características	Desventajas
<p>Bloque de Tierra Comprimido</p> <p>BTC</p>	<p>Opción sostenible para la construcción de viviendas y edificios comerciales, con una buena resistencia y sostenibilidad ambiental, si se cumplen las normativas de construcción y se utiliza una tierra de buena calidad.</p> <p>Sostenibilidad ambiental. Al utilizar tierra como principal componente, son una opción de construcción amigable con el medio ambiente.</p> <p>100% reciclable. Posibilidad de reciclar residuos de la construcción y agrícolas. Material saludable, inerte y permite la elaboración de materiales de construcción.</p>	<p>Opción económica para la construcción de vivienda y edificios comerciales.</p>	<p>Por el uso de materiales locales, bajo costo, significativamente más económico que los ladrillos tradicionales.</p> <p>No se necesitan grandes avances industriales ni tecnológicos para su obtención, está al alcance de todo el mundo.</p>	<p>No requiere la quema de combustibles fósiles para su fabricación.</p>	<p>Estos bloques se fabrican a partir de tierra y agua, y se comprimen a altas presiones para darles la resistencia necesaria para ser utilizados en la construcción.</p> <p>Resistentes al fuego, y a la humedad y a los insectos, que dependerá de la calidad y proporción de componentes utilizados en su fabricación, como de las condiciones climáticas y geológicas de la zona donde se vayan a utilizar.</p>	<p>Al ser un material ligero, requiere menos esfuerzo y maquinaria para su transporte y colocación, reduciendo los costos de construcción.</p>	<p>No son adecuados para estructuras de alta altura o de gran envergadura.</p> <p>Durabilidad. Requiere buena estabilización para evitar degradación por el agua y el viento. Es conveniente realizar un mantenimiento adecuado. Algunas limitaciones estructurales. Se requiere grosores de muro para que soporte. Sensible a los sismos e inundaciones. Menos resistentes que bloques de cemento o ladrillo. Posible agrietamiento de tierra.</p>



<i>Técnicas De construcción Ventajas</i>	<i>Sostenibilidad Y Medio ambiente</i>	<i>Economía y Bajo costo</i>	<i>Uso materiales locales</i>	<i>Quema de combustibles fósiles</i>	<i>Resistencia</i>	<i>Otras características</i>	<i>Desventajas</i>
Tapia Pisada	<p>Eficiencia energética. Construir con tierra hace una gran reducción en las emisiones de CO2, este tipo de construcciones no necesita de sistemas de climatización artificiales, lo cual reduce el consumo de energía, siendo amigable con el medio ambiente.</p> <p>Sostenibilidad ambiental. Al utilizar tierra como principal componente, son una opción de construcción amigable con el medio ambiente.</p> <p>100% reciclable. Posibilidad de reciclar residuos de la construcción y agrícolas.</p> <p>Tierra como material saludable, inerte y permite la elaboración de materiales de construcción completamente inofensivos para el ser humano.</p>	<p>Opción económica para la construcción de vivienda y edificios comerciales.</p>	<p>La tierra es el material más abundante, ya que se consigue en cualquier lugar, genera un costo más económico que los ladrillos tradicionales.</p> <p>No se necesitan grandes avances industriales ni tecnológicos para su obtención, está al alcance de todo el mundo.</p>	<p>No requiere la quema de combustibles fósiles para su fabricación.</p>	<p>Debido a su naturaleza físico-química, la tierra cruda presenta una gran estabilidad y resistencia al fuego, resultando esta claramente superior a otros industriales como el acero y el ladrillo.</p> <p>Son monolíticas por lo tanto poseen una mayor estabilidad, Presenta mayor resistencia sísmica.</p>	<p>Al ser un material ligero, hay rapidez en la construcción</p>	<p>No son adecuados para estructuras de alta altura o de gran envergadura.</p> <p>Durabilidad. Debilidad ante el agua. Las construcciones con tierra son muy vulnerables al agua. Por lo que no se recomienda su construcción en sitios donde el promedio de precipitación pluvial anual sea demasiado alto.</p> <p>Poca resistencia a sismos.</p>



Técnicas De construcción Ventajas

Bahareque

Sostenibilidad Y Medio ambiente	Economía y Bajo costo	Uso materiales locales	Quema de combustibles fósiles	Resistencia	Otras características	Desventajas
<p>Favorable inercia térmica apreciada en el acondicionamiento ambiental de sus edificaciones, permitiendo regular de forma natural la temperatura interior frente al medio externo, ya que presenta un aislamiento tanto térmico como acústico muy favorables.</p> <p>Sostenibilidad ambiental. Al utilizar tierra como principal componente, son una opción de construcción amigable con el medio ambiente.</p> <p>100% reciclable. Posibilidad de reciclar residuos de la construcción y agrícolas.</p>	<p>Las principales propiedades de la tierra como material están asociadas a la economía.</p>	<p>Debido a su disponibilidad inmediata, facilidad de trabajo y moldeado, resistencia a la compresión genera un costo más económico que los ladrillos tradicionales.</p> <p>No se necesitan grandes avances industriales ni tecnológicos para su obtención, está al alcance de todo el mundo.</p>	<p>No requiere la quema de combustibles fósiles para su fabricación.</p>	<p>Debido a su naturaleza físico-química, la tierra cruda presenta una gran estabilidad y resistencia al fuego, resultando esta claramente superior a otros industriales como el acero y el ladrillo.</p> <p>Son monolíticas por lo tanto poseen una mayor estabilidad, Presenta mayor</p>	<p>Al ser un material ligero, hay rapidez en la construcción</p>	<p>No son adecuados para estructuras de alta altura o de gran envergadura.</p> <p>Durabilidad. Necesitan protección contra la humedad y la acción directa del agua de lluvia, por su baja resistencia a los esfuerzos de tracción, aunado al hecho de ser un material que presenta una falla frágil sin capacidad de trabajo en un rango elástico.</p> <p>Utiliza grandes cantidades de madera, en especial arbustos .</p>

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2023).



Tabla 4. Costo de producción del ladrillo BTC frente a costo de ladrillo prensado

Costos del bloque de tierra comprimido				
TABLA DE COSTO UNITARIO BTC				
DESCRIPCION: Elaboración de Bloque de tierra comprimido				
Dimensiones del bloque 0,7cm x 0,24cm x 0.12cm				
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Cemento	blt	\$ 30.000	200gr	\$ 120
Arena	m3	\$ 95.000	0,306m3	\$ 310
Tierra	m3	\$ 0	0,0714m3	\$ 0
			TOTAL UND	\$ 430,00
MANO DE OBRA				
OPERARIO 1	HH	8	\$ 43.353	\$ 1.300.606
OPERARIO 2	HH	8	\$ 43.353	\$ 1.300.606
OBSERVACIONES: Mano de obra (incluye prestaciones sociales) base salarial \$1.300.606/ Tener en cuenta que para el ejercicio 30 días de salario y una jornada de 8 horas diarias.				

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2023).

Las casas de bloques de tierra comprimida BTC son sin duda la mejor opción a la hora de construcción muy confortables y bajo costo de fabricación siendo esta una de las primeras formas de construcción en la anterior tabla se muestra los costos de fabricación de un ladrillo BTC a 2023.



Costo ladrillo prensado

10. Metodología

10.1 Tipo de investigación

Se trata de una investigación casi experimental, donde existe una ‘exposición’, una ‘respuesta’ y una hipótesis para contrastar, pero no hay aleatorización de los sujetos a los grupos de

tratamiento y control, o bien no existe grupo control propiamente

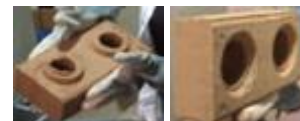
dicho (Gonzales, 2014). Para este caso, se propone el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, dando a conocer su proceso constructivo, exponiendo una alternativa para las edificaciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán.

10.2. Fuentes de información

10.2.1. Fuentes primarias.

Se obtiene información primaria cuando se observan directamente de personas que han fabricado los BTC empíricamente. Se plantea analizar conocimientos con el fin de afirmar la información recaudada de fuentes secundarias y reflexionar frente a las problemáticas encontradas respecto a la habitabilidad del área de estudio, con el propósito de encontrar posibles soluciones y se Propone el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, siendo una alternativa para las edificaciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán, se utilizan como instrumentos de recolección de información las fuentes secundarias.

Se puede observar que el costo en el mercado del ladrillo prensado es de \$1.200 pesos en comparación de bloque de tierra comprimido por un costo inferior de \$430 pesos. El btc además de tener un menor costo aporta un ahorro energético, mínima contaminación, reduce la huella de carbono, brinda confort térmico, es estético, etc a comparación de este ladrillo.



10.2.2. Fuentes secundarias.

Se determinan a partir de datos preelaborados, en el presente caso los datos se obtienen de investigaciones académicas previas, como libros técnicos, análisis estadísticos por parte de organismos especializados, normativa, publicaciones de revistas indexadas y documentos científicos de internet y de medios de comunicación.

Instrumentos y técnicas de recolección de información

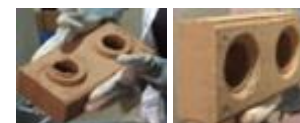
La complementación del diagnóstico del presente proyecto, (que se basa principalmente en la observación científica), se respaldará en la aplicación de técnicas de investigación de campo, las cuales son estratégicas porque constituyen una herramienta básica para identificar la manera que se tiene de ver la realidad, esto permite, además, reconocer aspectos fundamentales del proceso de ocupación del territorio.

El reconocimiento del lugar es fundamental como punto de partida de la investigación, antes de eso se aborda el enriquecimiento de la información preliminar, recopilar toda la información geográfica, climática, social, cultural, política, científica, y todos los demás aspectos relevantes que permiten consolidar la visión que se tiene del área de estudio, y dotar de una base documental preliminar que debe clasificarse previamente al trabajo de campo, además, la obtención de información relevante directa de la muestra.

A continuación, se mostrará los instrumentos para recolección de la información, las fuentes que se utilizaron para tomar la información pertinente para el desarrollo de los objetivos como del proyecto.

Tabla 5. Instrumentos y fuentes de recolección de información.

Etapas	Actividades	Instrumentos y herramientas
Objetivo 1. Establecer la importancia que tiene el bloque de tierra comprimido B.T.C.		
ETAPA 1 Realizar un estudio e investigación sobre el proceso constructivo del bloque de tierra comprimido BTC.	Educarse en el sistema constructivo con el bloque de tierra comprimido BTC Tomar referentes nacionales e internacionales del bloque de tierra de comprimido BTC. Hallar información general del bloque de tierra comprimido BTC.	Documento, fuente de información/computador, Word, celular, papel tamaño carta.



Desarrollar el procedimiento de fabricación del mampuesto con adición de cemento, logrando óptimas calidades físicas y mecánicas del mismo, con el menor costo energético posible, resultando así una alternativa de construcción sostenible.

Objetivo 2.

Proponer el bloque de tierra comprimido B.T.C., como un mampuesto alternativo de material en la construcción.

ETAPA 2. Realizar un estudio sobre la elaboración del bloque de tierra comprimido BTC.	Estudiar fuentes de materia prima	Tablas comparativas (costos, rendimiento, aporte ecológico, resistencia, etc.)
	Ventajas y desventajas del bloque de tierra comprimido BTC.	
	Estudiar la dosificación para elaborar el bloque de tierra comprimido BTC.	Tablas de dosificación, construcción en sitio del BTC/computador, cuaderno, lapicero, celular, Cinva Ram, recipiente, bugui, pala tierra, arena, agua cal, cemento, recipientes, palustres, guantes, casco.
	Ventajas y desventajas del sistema constructivo con el bloque de tierra comprimido BTC.	Tablas comparativas (costos, rendimiento, aporte ecológico, resistencia, etc.)

Tener en prioridad que la materia prima se encuentra localizada y en cantidades generosas en el sector rural, aportando benéficamente al medio ambiente. De igual manera la máquina Cinva Ram de alta presión de compactación ayuda a una recomendable construcción arquitectónica sustentable y sostenible.

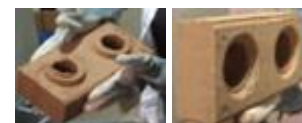
Objetivo 3.

Llevar los resultados de la Investigación a un manual operativo e indicativo “brochure” que permita la fabricación del mampuesto B.T.C.

ETAPA 3. Demostrar el proceso de autoconstrucción en bloques de tierra comprimida BTC	Evidenciar mediante registro fotográfico el proceso de construcción del bloque de tierra comprimido BTC	Descripción de herramienta idóneas para la construcción del ladrillo BTC / computador, papelería, impresora
	Aplicación del sistema constructivo, mediante la elaboración de un muro bajo en bloque de tierra comprimido BTC.	Informe, registro fotográfico / computador, celular, papelería Resultado.
	Elaborar material didáctico “brochure” donde explique las bondades que tiene el bloque de tierra comprimido BTC	Documento, registro fotográfico / computador, celular, papelería Resultado.

Es menester del material didáctico exponer de manera categórica la adecuada fabricación del mampuesto B.T.C., con definiciones y procedimientos en ocupación de un equipamiento mínimo disponible en obra, mostrando sus aptitudes para ser pensado como una alternativa de construcción.

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2022).



La investigación se respalda con la aplicación de diferentes técnicas de investigación descriptiva. Para la realización de la investigación es necesario tener en cuenta a los habitantes del sector rural de la ciudad de Popayán.

Según el Censo Nacional del 2018 la ciudad de Popayán la población total es de 295.438 (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, 2018).

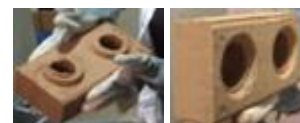
11. Resultados De La Investigación

Los resultados de la investigación, se presentan, conforme a la consecución de los objetivos propuestos, como sigue:

11.1. Establecer la importancia que tiene el bloque de tierra comprimido, para dar a conocer su proceso constructivo siendo este una alternativa sostenible

Según el documento “Pigmentación De Bloques De Tierra Comprimida y su influencia en valor estético de viviendas de interés social” se menciona: “Es importante construir con técnicas de mínimo impacto ambiental, las cuales ofrezcan un entorno más natural y saludable para aquellas personas que lo habitan. El BTC es un material que promueve a una arquitectura bioclimática y a la producción de un material bioconstructivo, para ello se propone la construcción con Bloques de Tierra Comprimida” (Espinoza, 2019).

El material constructivo BTC otorga beneficios y ventajas en términos ecológicos y económicos, ya que este tipo de material está compuesto básicamente de arcilla de excavación, arena y un reducido volumen de estabilizante ya sea el cemento o cal. Se da la utilización del estabilizante a la tierra, generando mayor resistencia frente a la humedad, característica importante si comparamos con las técnicas tradicionales de construcción con tierra cruda. La manera correcta para realizar el BTC después que se haya realizado la mezcla: se continúa con el prensado, después se pone a secar durante 28 días aproximadamente, se procede a instalar este punto más importante si analizamos el impacto medio ambiental. De igual manera se mencionan las propiedades térmicas del material, su permeabilidad al vapor de agua y su alta tenencia



térmica determina un confort y reducción del consumo energético en las viviendas, así como sus propiedades acústicas y estéticas. (Cabo, 2011)

Nos damos cuenta de que el material bloque BTC es el ideal para la construcción de viviendas en zonas rurales sustituyendo los materiales industriales cumpliendo con unas características idóneas contribuyendo con el medio ambiente, ya que no se talan árboles ni se hacen quemas de ladrillos, evitando la concentración de monóxido de carbono, cuidando el medio ambiente.

11.2 Sugerir el bloque de tierra comprimido BTC por medio de esta investigación como una alternativa de material en construcción, teniendo en cuenta la materia prima local en el sector rural, con el fin aportar al medio ambiente, mediante la construcción arquitectónica

Se sugiere a las siguientes generaciones para que continúen investigando de los materiales de construcción que no dañen el medio ambiente y así contribuir al desarrollo sostenible. Según nuestra investigación, el material ideal para las construcciones en zonas rurales es el BTC ladrillo comprimido, ya que este cuenta con muchas cualidades relacionadas con la conservación ambiental integrando el confort y el bienestar de los hogares en las zonas rurales.

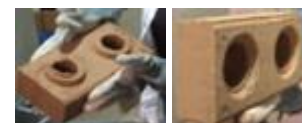
Este material podemos utilizar de forma permacultural, es decir, las mismas personas del lugar pueden participar en la construcción de las viviendas con unas capacitaciones orientadas, ya que el mampuesto es un material bondadoso al momento de llevarlo a la instalación y su posterior autoconstrucción.

11.3.Fabricar el Bloque de tierra comprimido y elaborar material didáctico “brochure “ donde explique las bondades que tiene el bloque de tierra comprimido BTC como una alternativa de construcción

11.3.1. Realizar la caracterización del suelo

Proceso de producción en situ

Comienza apartando la tierra negra de la superficie para que la capa de arcilla inferior se seque de manera natural bajo la acción del sol y el viento, luego ésta se pulveriza. En este caso



consistió en la recolección de suelo proveniente de una ladera la cual ya contaba con el retiro de su capa vegetal.

Ilustración 23. Extracción de suelo.

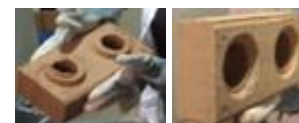


Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

Caracterización física y mecánica de los suelos

Con el fin de determinar las características del suelo obtenido, se realizaron los siguientes ensayos manuales:

Consistencia y plasticidad de suelos: límite líquido y límite plasticidad: según la norma técnica colombiana NTC -125. Es necesario para clasificar el material y establecer humedades (%) que permitan conocer qué tan susceptible es a los cambios de estas. El procedimiento realizado para el desarrollo de este ensayo fue: Se colocó la muestra en un plato para que se evaporara, (ilustración 23) se le agregó una cantidad considerable de agua y se mezcló hasta que quede una pasta uniforme. Esta pasta se moldeó el tiempo necesario para que la humedad se distribuyera uniformemente. Se moldeó en la palma de la mano (ilustración 24) lo que se alcanzó a coger se aprieta lo más que se pudo esta formó un moldeado uniforme y se tiró desde



un metro de altura así supimos que tenía la consistencia necesaria. Esta debe espolvorear un poco así determinamos el grado de arcilla que contenía el terreno.

Ilustración 25. Moldeo en la palma de la mano.



Ilustración 24. Muestra en plato



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores, (2022).

Paso por tamiz 9,51 mm (Ilustración 25) norma técnica colombiana NTC 1522: Nos determina el porcentaje de arena que tiene la muestra de suelo inalterada, si este es alto indicará una mayor resistencia a la compresión. La cantidad de material que pasa el tamiz 9,51 mm (3/8 de pulgada) mm, será de unos 115 g, si el suelo es arenoso, y de unos 65 g, si el suelo es arcilloso.

Ilustración 26. Tamiz o zaranda # 9.5 mm



Fuente: Fotografía tomada por los investigadores (2022).

La arcilla se vierte en un recipiente (Ilustración 26) con una medida exacta después se vierte en un tarro transparente donde se agita, paso siguiente lo que quedó retenido en el muestreo se deja tapado cuidando de no perder material esta se deja reposar de un día para otro seleccionando dentro de la botella por el peso de los materiales demostrando la cantidad de arcilla que contiene la pureza de la misma.

Ilustración 27. Vertimiento de arcilla en recipiente y proceso.



Paso 1

Paso 2

Paso 3

Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

11.3.2..Establecer diferentes dosificaciones de cemento.

Preparación de la muestra de suelo, realizando el retiro de materia orgánica presente en ella. También se realiza un desmoronamiento del material para que este quede uniforme con la cantidad mínima de grumos para poder ser trabajado. Realización de las dosificaciones establecidas para la investigación las cuales fueron de 3%, 4% este valor indicando el porcentaje de cemento a utilizar, junto con una proporción de agua correspondiente a la humedad óptima.

Ilustración 28. Preparación de muestra de suelo.



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

Se toma las proporciones para la preparación de la mezcla en donde nos arroja que para cada 7 proporciones de tierra se deben utilizar 3 proporciones de arena ,1 proporción de cemento y un 8% de agua.

Ilustración 29. Preparación de muestra de suelo.



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

11.3.3. Establecer dosificaciones de los bloques de tierra comprimida y elaboración de estos.

Preparación de la muestra de suelo, este proceso consistió en la eliminación de los grumos del material dejándolo lo más uniforme posible en cuanto a sus partículas, también realizando retiro de la materia orgánica presente en este.

Ilustración 30. Eliminación de grumos del material.



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

Realización de los bloques de tierra comprimida con las diferentes proporciones, utilizando la proporción de mejor resultado de cemento y el porcentaje de humedad óptima. Estos fueron elaborados en la máquina Cinva Ram.

Después de haber mezclado homogéneamente se aplica el agua rociando con proporciones mínimas, se debe verificar la humedad de la arcilla llegando a formar una masa la cual se debe dejar caer desde un metro de altura haciendo que la mezcla se mantenga sin esparcirse demasiado.

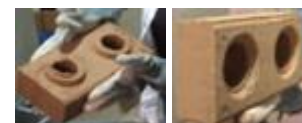


Ilustración 31. Formación de masa con la arcilla.



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

Cuando se realizaron los bloques en la máquina inicialmente no se obtuvieron buenos resultados debido a que se realizaron varias pruebas de ensayo y error en el cual llegamos a obtener finalmente el bloque requerido para la muestra.

Ilustración 32. Máquina Cinva Ram.



Fuente: Fotografías tomadas por los investigadores (2022).

El proceso de compactación en la CINVA RAM es posterior a la mezcla del suelo, con el porcentaje ideal de cemento, los diferentes porcentajes de arena y la cantidad ideal de agua para la compactación. Este consiste en ejercer fuerza la cual comprime la mezcla a un presión de 50 psi sobre el molde del bloque por medio de un brazo de palanca.

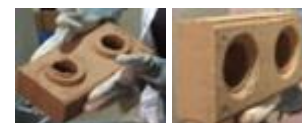


Ilustración 33. Realización de los BTC en la Cinva Ram

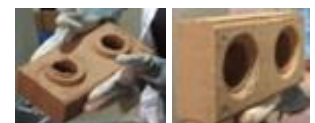


Fuente: Fotografía tomada por los investigadores (2022).

El prensado implica las siguientes tareas.

- Aceitar la caja, colocar la mezcla de la tierra y correr la tapa. No se debe presionar la tierra con las manos antes de prensar. Solo se presiona ligeramente las esquinas del molde.
- Mover la palanca de modo de sacar la traba
- Mover la palanca para proceder al prensado
- Regresar la palanca a la posición inicial
- Correr la tapa y mover la palanca
- Retirar el bloque

- Aceitar la caja
- Cargar la mezcla de la tierra y sus componentes
- Correr la tapa, sin presionar la tierra con las manos antes de prensar, sólo se presiona ligeramente las esquinas del molde.
- Para facilitar la expulsión de la traba se debe mover la palanca ligeramente



- Mover la palanca para proceder al prensado y compactación de los materiales
- Regresar la palanca a la posición inicial de descanso
- Correr la tapa y mover la palanca
- Retirar el bloque

Se realiza una revisión al bloque compactado para garantizar una buena consistencia, ausencia de fisuras y la altura requerida

En la ilustración 33 se evidencia el bloque de tierra comprimido después de haber hecho este proceso, donde se evidencia que el ladrillo del lado izquierdo corresponde al ladrillo macho, y el del lado derecho corresponde al ladrillo hembra, que se incrustan perfectamente para darle mayor estabilidad al muro a levantar.

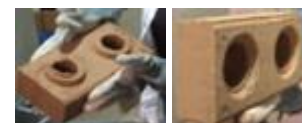
Ilustración 34. Bloque de tierra comprimido.



Fuente: Fotografía tomada por los investigadores (2022).

Secado: La fase de secado tiene una especial incidencia en la calidad final de los bloques, por lo que debe realizarse de manera controlada. Se diferencian dos etapas:

- Periodo de curado (si se incorporan aglomerantes para la estabilización de la tierra).



- Periodo de secado. En cualquier caso, hay que mantenerlos al abrigo del sol y del viento ya que se producirían fisuras de retracción, lo que podría afectar la resistencia final de los bloques. Los bloques producidos en una jornada se van colocando en filas, con una pequeña separación entre ellos para la ventilación, aplicándose hasta cinco alturas y con un plástico oscuro lo que evitará en las noches que contraiga humedad del ambiente, es importante colocarlos de tal manera que facilite su conteo rápido, para un mejor control de la productividad y de las cantidades de componentes empleados.

Tras la compactación, ya se pueden manipular, en esta fase final, los BTC quedan ya preparados para su almacenaje y uso en obra.

Seguidamente, se determina la resistencia mecánica a la compresión de los bloques de tierra comprimido

Teniendo en cuenta la norma a estos ladrillos BTC se les debe hacer unas pruebas de resistencia la cual va según la NTC 5202, Método de ensayo para determinar la expansión por humedad de productos de arcilla.

Especímenes de ensayo del bloque: Los especímenes de ensayo deben ser cinco (5) unidades completas y secas escogidas aleatoriamente del lote. El módulo de rotura de cada espécimen según la NTC 4017 referente a Mampostería, mampostería en arcilla, macizos y con perforaciones se calcula de la siguiente manera:

Resultados y funcionamiento: La máquina funcionó correctamente en la fabricación de bloques, en todas sus etapas (Ilustración 36): Cargado de la tierra y sus componentes, compresión del B.T.C., interrupción de la presión, apertura de la tapa, expulsión del B.T.C. y retracción del fondo.

Fórmula de fallas del ladrillo BTC la NTC 4017, p.9 menciona:

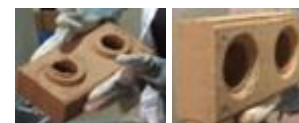
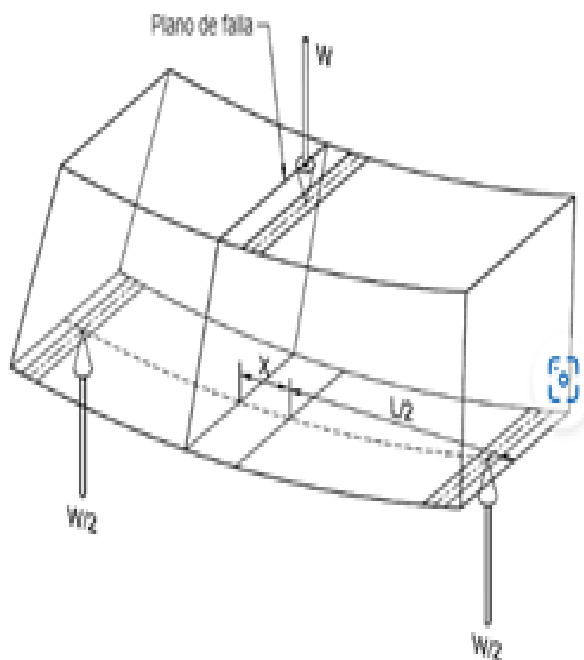


Ilustración 35. Plano de falla



En la ilustración 34. Se muestra el plano de falla que calcula el módulo de rotura de cada espécimen donde,

M_R = módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa .

W = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N .

L = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm .

b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm .

d = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm .

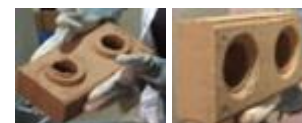
x = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm .

Fuente: NTC 4017

Ilustración 36. Curado de los bloques



Fuente: Fotografía tomada por los investigadores (2022).



Dimensiones de los bloques

La longitud se mide tanto a lo largo de ambas superficies de colocación como en las caras, desde el punto central de los bordes de las unidades. Estas cuatro mediciones se registran con aproximación a 1,0 mm, y se registra el promedio con aproximación a 0,5 mm, como longitud. De manera análoga, se miden el ancho y la altura y se registra el promedio de las cuatro mediciones respectivas, con aproximación de 0,5 mm.

Las medidas del bloque realizado tiene:

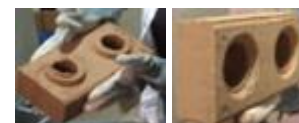
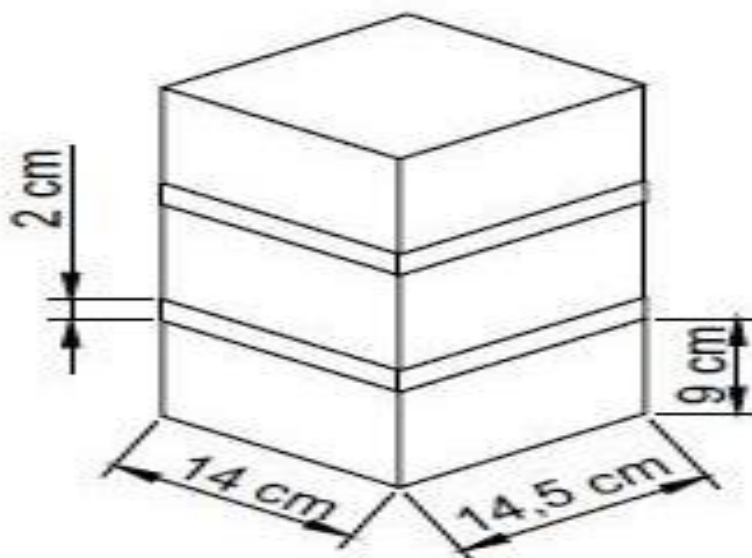
Altura	7cm
Ancho	24cm
Grosor	12cm

Para tener un metro cuadrado de pared se necesitan 60 ladrillos aproximadamente.

Siguiente fase: Elaboración de muro bajo con el bloque de tierra comprimido

Se construyó el muro bajo utilizando los BTC para cada uno de los porcentajes con un mortero de pega de 2 cm.

Ilustración 37. Dimensiones de los muretes



Fuente: Molina (2016).

Para probar a la compresión los muretes realizados de acuerdo a la norma NTC 3495 la cual establece un margen de exactitud de 1 decimal en cuanto a la toma de medida de resistencia pero no establece una resistencia mínima del murete debido a la variedad de materiales de posible uso en este ensayo por ende es muy difícil parametrizar todos estos.

Dosificación de elementos

Arcilla	0.0315 M3	1.57 M3
KG cemento	1KG	1 BULTO 50 KG
Arena	0.0045 M3	0.225 M3

En esta tabla se expone, la dosificación de elementos necesaria para fabricar un ladrillo, para obtener un ladrillo y para obtener seis ladrillos.

POR CADA
DOSIFICACIÓN
SALEN 300
LADRILLOS

POR CADA DOSIFICACIÓN
SALEN 6 LADRILLOS

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2022).

Ventajas y desventajas del BTC ladrillo comprimido

En la siguiente tabla se expone las ventajas y desventajas del ladrillo comprimido, conforme a los hallazgos encontrados por los investigadores en el proceso de la construcción del ladrillo y descritos en este capítulo del proceso.

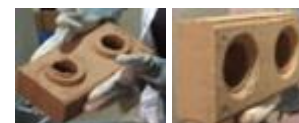


Tabla 6. Ventajas y desventajas del ladrillo BTC

Ventajas	Desventajas
El material para el ladrillo BTC es un material bastante económico	El tiempo de secado superior a 20 días
La arcilla se consigue casi siempre en el lugar	Requiere gran superficie para el secado
Ahorrando el transporte de éste	Tener un espacio bajo techo
Fácil manejo y técnica constructiva tradicional	Tenerlas proporciones adecuadas de los componentes
No requiere consumo adicional de energías	Requiere de otros componentes arena y cemento
Técnica alternativa de gran eficiencia en proyectos de construcción de viviendas en la zona rural	
Reguladores de temperatura	

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2022).

El material para el ladrillo BTC es un material bastante económico, de fácil accesibilidad, en cuanto a que la materia prima está casi siempre presente en el lugar de la construcción, ahorrando el transporte de éste; y en la mayoría de los casos, las construcciones realizadas en este material, son por autoconstrucción, debido a su fácil manejo; y su técnica constructiva tradicional es simple y no requiere consumo adicional de energías, se suma una ventaja altamente importante en comparación con el ladrillo común, dado que es una técnica que se ha venido perdiendo, y que por las características mencionadas anteriormente, resultaría una alternativa de gran eficiencia en proyectos de construcción de viviendas en la zona rural.

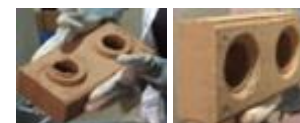


Tabla 7. Ventajas y desventajas del sistema constructivo del ladrillo BTC

Ventajas y Desventajas del sistema constructivo del bloque de tierra comprimida BTC	
Ventajas	Desventajas
El ladrillo BTC es económico	No se pueden exponer prolongado tiempo a la humedad
El ladrillo BTC es fácil de instalar	
No requiere personal calificado	
Fácil de manipular	
El ladrillo BTC es termo acústico	
El ladrillo BTC son autorreguladoras de temperatura	
Exequible para las zonas rurales	
La pega del ladrillo BTC se puede hacer con el mismo material o un adhesivo	
Reguladores de temperatura	

Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2022).

La construcción con este material es muy fácil pues es un estilo lego el mismo material va dando la estabilidad del muro, el pegado del material se hace con el mismo material del ladrillo o con pegacor.



Como resultado de la investigación podemos tomar conceptos que hacen parte de la elaboración de los bloques de tierra comprimido B.T.C., por ello se hace necesario exponer los siguientes conceptos que se encuentran estrechamente ligados a esta investigación:

Recursos Renovables: Se trata de mampuestos elaborados con materias primas abundantes, optimizando el uso de energías renovables, que tienen un carácter preservante y resulta biodegradable por el origen de sus fuentes materiales.

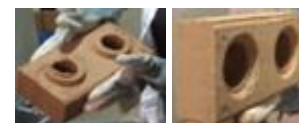
Ahorro Energético: El uso del material demuestra ser el producto con menor coste energético a lo largo de su ciclo de vida, especialmente cuando se compara con otros provenientes de fuentes convencionales, bajo los mismos criterios.

Tecnología “Limpia”: Las fuentes de materias primas y energías empleadas en la producción del bloque de tierra comprimido B.T.C. denotan una eficiencia del proceso productivo (extracción, transformación y acabados) y asumen un carácter no contaminante.

Toxicidad: Se demuestra un alto porcentaje de ausencia de instrumentos alérgicos y manifestaciones tóxicas, lo que da para constituir un criterio básico por los materiales componentes y su selección.

Durabilidad: El mantenimiento a fin de que el mampuesto B.T.C., resista adecuadamente bajo las condiciones de uso, durante su vida útil, son valores fundamentales que resultan como criterio de durabilidad.

Resultados y funcionamiento: La máquina funcionó correctamente en la fabricación de bloques, en todas sus etapas (Ilustración 36): Cargado de la tierra y sus componentes, compresión del B.T.C., interrupción de la presión, apertura de la tapa, expulsión del B.T.C. y retracción del fondo.



11.4 Demostrar el Bloque de tierra comprimido BTC como material de construcción sostenible, siendo una alternativa para las edificaciones de vivienda rural en la ciudad de Popayán

Se demuestra el bloque de tierra comprimida BTC para la construcción de viviendas en las zonas rurales del municipio de Popayán, ya que en algunos hogares resulta difícil la construcción tradicional por lo costoso que es la utilización del material común (ladrillo quemado); además este tipo de material no requiere quemado, significando que no emite CO₂ al medio ambiente. Convirtiéndose en un material sostenible y no nocivo para la salud, es un material que tiene muchas características propias convirtiéndolo el material ideal. Es un material económico, versátil y de buen aspecto su acabado.

Ilustración 38. Construcción de paredes con BTC.



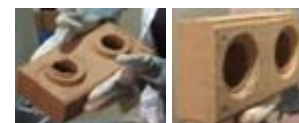
Fuente: Construcción con ladrillos ecológicos BTC (Blog 03 - Levantando las primeras hileras) - YouTube

Ilustración 39. Muro de vivienda construida con BTC

La construcción de las viviendas con este tipo de material es muy fácil, tanto así que las pueden construir algunas personas con una correcta capacitación.



Fuente: Construcción con ladrillos ecológicos BTC (Blog 03 - Levantando las primeras hileras) - YouTube



Conclusiones

Etapa 1. Se lleva a cabo realizando la recolección de información documentaria e informativa relacionada con los bloques BTC y materiales para su uso.

Etapa 2. Esta etapa se cumple estudiando las cualidades y calidades del material a utilizar y realizando las tablas de dosificación para la fabricación de los BTC.

Etapa 3. Es el resultado y fabricación de los bloques de tierra comprimido, donde se determina dimensiones y calidad del mismo.

El desarrollo sostenible representa el paso de la sociedad actual a una sociedad más respetuosa con el medio ambiente. Es un modo de desarrollo cuyo objetivo es garantizar el equilibrio entre el crecimiento económico, la preservación del medio ambiente y el bienestar social. Los problemas ambientales deben ser centrales en el sector de la construcción. Las edificaciones y sus materiales son una parte esencial del producto arquitectónico y han recibido mucha atención para la preparación de materiales naturales sostenibles.

El suelo ha sido un componente importante de los edificios desde la antigüedad, utilizado en él como material de construcción en las diversas civilizaciones. Hace miles de años, la gente vivía de manera sostenible, de acuerdo con la naturaleza, la respetaba y se beneficiaba de ella. Sin embargo, con las innovaciones en los materiales para construir se ha extendido a impactos negativos sobre el medio ambiente.

Por lo tanto, es fundamental producir materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente y mejorar las características de los materiales de construcción existentes, la fabricación, reducir el consumo de energía y, al mismo tiempo, reducir los costos. Esta investigación destacó el uso de bloques de tierra comprimida BTC Como Una Alternativa De Construcción Sostenible En El Sector Rural De La Ciudad De Popayán, principalmente por elementos asociados a tres factores principales: El Medio Ambiente, La Salud, y el Entorno.

(Ver diagrama a continuación).

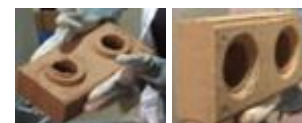
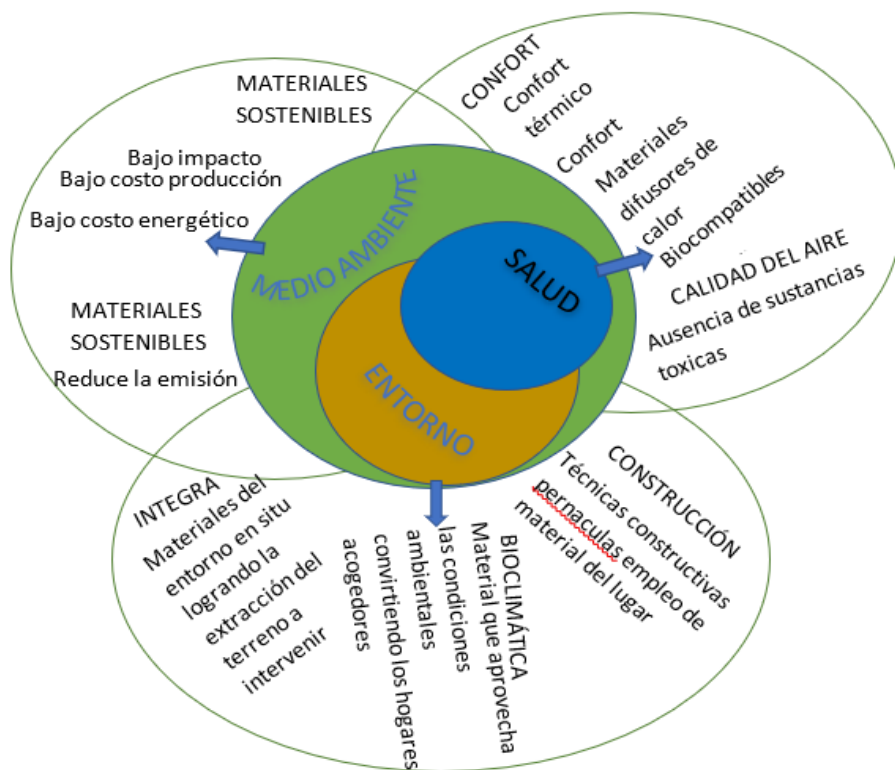


Ilustración 40. beneficios de construir con bloques de tierra comprimida

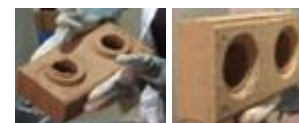


Fuente: Elaboración propia de los investigadores, (2023).

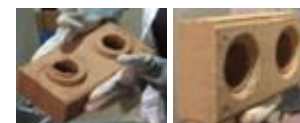
En el anterior diagrama se sintetiza gráficamente los beneficios de construir con bloques de tierra comprimida, señalando que este sistema no ha sido ampliamente utilizado principalmente porque la construcción con bloques de tierra no puede competir con las construcciones convencionales de alta energía que utilizan arcilla cocida, cemento y bloques livianos.

Sin embargo, atendiendo a sus ventajas, se puede concluir que representa una solución a los problemas de vivienda que poseen los sectores rurales debido al déficit habitacional de esta zona, considerando la economía de la construcción con bloques de tierra, que generará un gran impacto atmosférico positivo para las futuras generaciones.

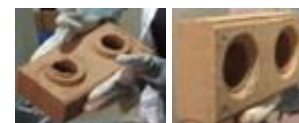
Referencias Bibliográficas



- Alvarez, C. (2010). Lo que contamina un ladrillo. Diario El País (9 de Julio de 2010). Recuperado de: <https://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/07/lo-que-contamina-un-ladrillo.html>
- Angulo Jaramillo, D. y Carreño Charry, A. (2017). El Bloque de Tierra Comprimido o (BTC). Una alternativa de Construcción para la Arquitectura Contemporánea. Revista Nodo, 12 (23), 31-37
- Apuntes (2013). Casa Imalla. Revista Digital de Arquitectura. Recuperado de: <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2019/09/casa-imalla-villa-de-leyva-boyaca.html>
- Arquinet Polis, (2015). Arquitectura, Diseño y más. Recuperado de: <https://arquinetpolis.com/>
- Arquitectura Digital (2019). Recuperado de: apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com
- Banco Mundial (2020). La COVID-19 (coronavirus) hunde a la economía mundial en la peor recesión desde la Segunda Guerra Mundial. Recu<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/06/08/covid-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii>
- Cabo M, (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. Navarra-España. Pamplona.
- Casa Imalla (2014). Apuntes de Arquitectura. Recuperado de: [apuntes - revista digital de arquitectura: casa "imalla" - villa de leyva / boyaca /colombia arquitectos proyectistas: angel, garzon y salamanca, constructor y residente: lucia esperanza garzon](http://apuntes-revista-digital-de-arquitectura-casa-imalla-villa-de-leyva-boyaca-colombia-arquitectos-proyectistas-angel-garzon-y-salamanca-constructor-y-residente-lucia-esperanza-garzon)
- Construcción con ladrillos ecológicos BTC (Blog 03 - Levantando las primeras hileras) – YouTube. Recuperado de: [Construcción con ladrillos ecológicos BTC \(Vlog 03 - Levantando las primeras hileras\) - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...)
- Construir con tierra (1991). Primera obra "Casa Imalla " hoy Santorini 1991 - youtube
- Escuela primaria, Gando (2015). Recuperado de: <https://arquitecturaviva.com/obras/escuela-primaria-de-gando>
- Espinoza, S. (2019). Pigmentación de bloques de tierra comprimida y su influencia en valor estético de viviendas de interés social en el anexo de Palián - Huancayo al 2019. Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado de: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8261>
- Gando Primary School (2010). Recuperado de: [La scuola a Gando, Burkina Faso a di Francis Kéré \(infobuildenergia.it\)](http://www.infobuildenergia.it)
- Gómez-Molina, A., & Molina-Pérez, L. A. (2020). Incidencias, causas y efectos de la pandemia covid-19 en la economía colombiana.
- Homecenter (2023). Recuperado de: https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/499819/ladrillo-estructural-alcantara-24x12x68cm-312und/499819/?kid=goosho_1246419&shop=googleShopping&gclid=Cj0KCQjw_5unBhCMARIsACZyzS088hyPCSB8Bw2N6aMp-Xa0a3GFwx1t4DiVsHMM5BK8RMZ5f3XkKxIaAm2oEALw_wcB
- Gonzales, P. (2014). Investigación educativa y formación del docente investigador. Universidad Santiago de Cali.
- Manual de gestión socioambiental para obras en construcción. Secretaría del Medio Ambiente de Medellín. Recuperado de: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/SiteAssets/Paginas/Consumo-sostenible/Construccion-sostenible/Manualambientalparaprocesosconstructivos.pdf>
- Mapa político de Colombia. (2022). Recuperado de: <https://www.alamy.es/foto-mapa-politico-de-colombia-72544343.html?imageid=84A5B04E-D433-407B-9147-E9541B559572&p=183153&pn=1&searchId=f553475ff7858ad0d1326e30d156a690&searchtype=0>
- Medina, K. T. A., & Medina, Ó. H. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Facultad de Ingeniería, 20(31), 55-68. Recuperado de: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=01211129&asa=Y&AN=82202317&h=uWbeGbmA60WWI4%2fpgu%2fm7z%2f1Az5gK5IEeJiJF38NVRjJaB1YjwLTMuuTd0ZSD%2bz6i%2bKTFJomCu5k2CiJnM%2fReg%3d%3d&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resultLocal=ErrCrlNotAuth&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d01211129%26asa%3dY%26AN%3d8220231>



- Mercado laboral de Popayán durante el trimestre móvil noviembre 2022- enero 2023. (2023). Cámara de Comercio del Cauca (2023). Recuperado de: https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/imagenes/mercado_laboral_popayan_nov22-ene23.pdf
- Molina, G. (2016). Bloques De Tierra Comprimida Con Adición De Residuos De Concreto Y Cemento Como Solución Sostenible Para La Construcción De Muros No Estructurales. Recuperado de: [file:///C:/Users/Rebep/Downloads/BLOQUES%20DE%20TIERRA%20COMPRIMIDA\(2016\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Rebep/Downloads/BLOQUES%20DE%20TIERRA%20COMPRIMIDA(2016)%20(1).pdf)
- Municipios del Cauca (2022). Recuperado de: <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/cauca/municipios-division-politica.html>
- Ochoa, E. (2017). En: Proyecto De Aplicación Profesional (PAP) Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos. Recuperado de: [file:///C:/Users/karoll/Downloads/Sistema%20constructivo%20con%20tierra%20comprimida%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/karoll/Downloads/Sistema%20constructivo%20con%20tierra%20comprimida%20(1).pdf)
- ONU (2012). Acción por el cambio climático. Objetivo del Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Paez, J. (2020). Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia. Universidad Nacional, Abierta y a Distancia (UNAD). Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/34072/Jpaezcl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peñaloza, J. (2012). Desarrollo Local Sostenible. Eumed.net. Recuperado de: <https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>
- Plan de Ordenamiento Territorial Popayán (2002). Recuperado de: https://www.popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/PublishingImages/Paginas/Plan-de-ordenamiento-territorial/acuerdo_06_2002_normas_POT.pdf
- Ramos, B. M., & Lopez, J. C. (2019). El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental. *Innovare: Revista de ciencia y tecnología*, 8(2), 88-93. Recuperado de: <https://www.lamjol.info/index.php/INNOVARE/article/view/9061>
- Revista Construdata (2020). Preservar el medio ambiente y “edificar” pensando en el futuro. Recuperado de: <https://www.construdata.com/>
- Rojas, J., Cañola, H., Venegas, K. (2021). Bloques de tierra comprimida como alternativa de sostenibilidad en comunidades rurales (El Prodigio–Antioquia). Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/351111111> **(PDF) Bloques de tierra comprimida como alternativa de sostenibilidad en comunidades rurales (El Prodigio – Antioquia) (researchgate.net)**
- Rotondaro, R. y Mellace, R. F. (2000). Tecnología en la vivienda rural en Iberoamérica. En J. González y M. Villar, (Eds.), *II Seminario y taller iberoamericano sobre Vivienda rural y calidad de vida en los asentamientos rurales*. (Vol. I, pp. 243-248). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Roux-Gutiérrez, R. y Velázquez-Lozano, J. (2016). Bloques de tierra comprimida, su retardo térmico e impacto ambiental. *Legado de Arquitectura y Diseño*, v. 11, n. 19, p. 81-90, ene. Recuperado de: <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/14951>. Fecha de acceso: 13 ene. 2023
- Sánchez, C y Jiménez, E. (2019). La Vivienda Rural. Su Complejidad Y Estudio Desde Diversas Disciplinas. *Revista Luna Azul*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n30/n30a10.pdf>
- Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 117-127. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200001&lng=es&tlng=es.
- Velásquez, S. M., Pino, A. A., Restrepo, E. J., & Viana, N. E. (2018). Innovación en empresas: estado del arte considerando tendencias para su implementación. *Revista Espacios*, 39(48). Recuperado de: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n48/a18v39n48p07.pdf>



Mejía Córdova, A. A. (2019). Resistencia a la compresión, flexión y absorción en bloques de tierra comprimida con adición de fibra de seudotallo de plátano, Cajamarca 2018. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23080>

