



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL Y LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON BLOQUES DE
TIERRA COMPRIMIDA EN MILAGRO.**

TUTOR

Mgtr. LUIS FERNANDO VILLAVICENCIO CAVERO

AUTOR

DIEGO FAUSTO CADENA LARRETA

GUAYAQUIL

AÑO 2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Evaluación de la Respuesta Estructural y la Eficiencia Energética de Viviendas Construidas con Bloques de Tierra Comprimida en Milagro.

AUTOR/ES:

Cadena Larreta Diego Fausto

TUTOR:

Mgtr. Luis Fernando Villavicencio Caveró

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2025

N. DE PÁGS:

99

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

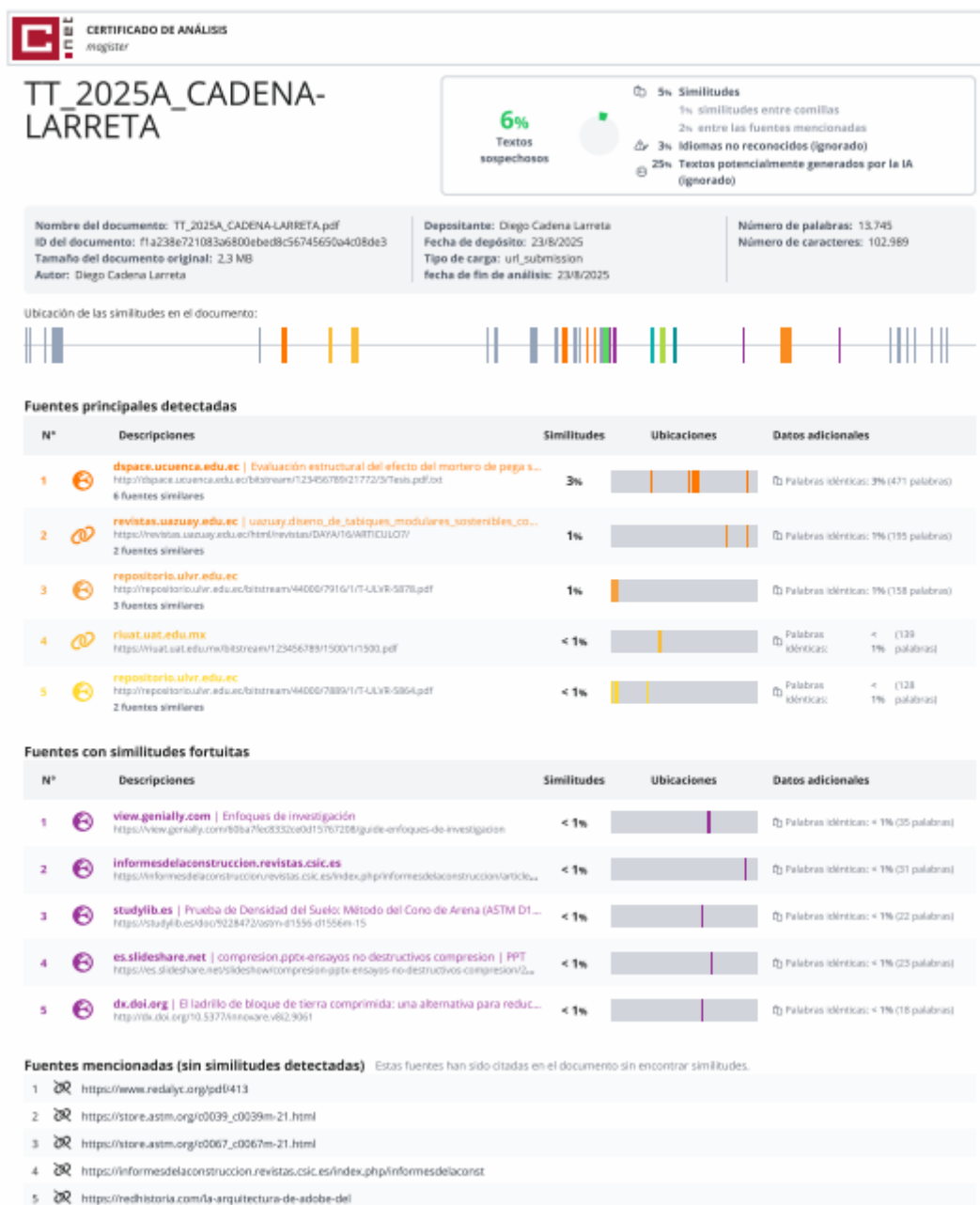
PALABRAS CLAVE: Construcción de viviendas, Propiedad térmica, Casa, Consumo de energía.

RESUMEN:

El presente trabajo analiza el comportamiento estructural y energético de las viviendas construidas con BTC en comparación con materiales convencionales como el ladrillo de arcilla cocida y el bloque de hormigón. Se parte del estudio de propiedades mecánicas del BTC, su resistencia a la compresión, y su capacidad térmica, identificando que su desempeño depende de factores como la densidad del material, el espesor de los muros y los aditivos utilizados en su fabricación.

Además, se abordan criterios de eficiencia energética, resaltando la importancia del comportamiento térmico de los cerramientos en la reducción del consumo energético en edificaciones. Mediante simulaciones térmicas se comprueba que el BTC tiene una conductividad térmica favorable, lo que lo convierte en una alternativa viable en climas cálidos. También se analizan aspectos económicos y ambientales, concluyendo que el BTC, al ser un material local, natural y de bajo impacto ambiental, puede representar un ahorro significativo en costos de construcción si el suelo de origen es apto.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI ☒	NO ☐
CONTACTO CON AUTOR/ES: Cadena Larreta Diego Fausto	Teléfono: 0982984506	E-mail: Fcadenal@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: 2596500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr. Jorge Enrique Torres Rodríguez Director de Carrera de Ingeniería Civil Teléfono: 2596500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado DIEGO FAUSTO CADENA LARRETA declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, “Evaluación de la respuesta estructural y la eficiencia energética de viviendas construidas con bloques de tierra comprimida en Milagro”, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:



DIEGO FAUSTO CADENA LARRETA

C.I. 0929743789

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación “Evaluación de la respuesta estructural y la eficiencia energética de viviendas construidas con bloques de tierra comprimida en Milagro”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Evaluación de la respuesta estructural y la eficiencia energética de viviendas construidas con bloques de tierra comprimida en Milagro, presentado por el estudiante DIEGO FAUSTO CADENA LARRETA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

Ing. Luis Fernando Villavicencio Caveró, Mgtr.

C.C. 0920174026

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar agradeciendo, en mi primer lugar a Dios por darme la sabiduría y el entendimiento para culminar con mi carrera y con esta investigación para así dar paso a una nueva etapa ahora profesional.

En segundo lugar, agradezco a mis padres: Fausto Eduardo Cadena Gaibor y Gloria Romina Larreta Reyes, por el apoyo brindado desde el comienzo de mi carrera universitaria.

De manera especial, expreso mi gratitud a mis docentes y tutores, quienes, con sus conocimientos, paciencia y guía, orientaron el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a aquellas amistades que me brindaron su apoyo cuando lo necesitaba.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi familia, quienes han sido el motor de mi vida y la razón de cada uno de mis esfuerzos.

A mis padres, por enseñarme con su ejemplo el valor del trabajo y la perseverancia.

A mis hermanos, por su apoyo y compañía en los momentos difíciles.

Y, de manera especial, a mis abuelitos por ser la mayor fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación analiza la respuesta estructural y la eficiencia energética de las viviendas construidas con bloques de tierra comprimida (BTC) en comparación con los bloques de ladrillo tradicionales en la ciudad de Milagro. La investigación se centra en evaluar las propiedades mecánicas del BTC, sus características térmicas y el impacto ambiental asociado a su fabricación. Para ello, se realizaron ensayos que permitieron identificar ventajas en la conductividad térmica, así como un menor impacto ambiental frente a materiales convencionales. Además, se estudió la viabilidad económica de la producción del BTC, destacando su potencial como alternativa sostenible en la construcción. Los resultados obtenidos evidencian que el BTC representa una opción viable para promover edificaciones más eficientes, resistentes y respetuosas con el medio ambiente en el contexto urbano de Milagro.

Palabras Claves: Construcción de viviendas, Propiedad térmica, Casa, Consumo de energía.

ABSTRACT

This thesis analyzes the structural response and energy efficiency of houses built with compressed earth blocks (CEB) compared to traditional brick blocks in the city of Milagro. The research focuses on evaluating the mechanical properties of CEB, its thermal characteristics, and the environmental impact associated with its production. For this purpose, tests were carried out to identify advantages in thermal conductivity, as well as a lower environmental impact compared to conventional materials. In addition, the economic feasibility of CEB production was studied, highlighting its potential as a sustainable alternative in construction. The results obtained demonstrate that CEB represents a viable option to promote more efficient, resistant, and environmentally friendly buildings within the urban context of Milagro.

Keywords: Housing construction, Thermal properties, Houses, Energy consumption

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	3
1.1. Tema:	3
1.2. Planteamiento del Problema:	3
1.3. Formulación del Problema:	6
1.4. Objetivo General	6
1.5. Objetivos Específicos	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	6
CAPÍTULO II:	7
MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1. Marco Teórico.....	7
2.1.1. Historia y evolución del uso de BTC en la construcción	9
2.1.2. Prototipos de casas construidas con BTC	13
2.1.3. Viviendas sociales	15
2.1.3.1. Aspectos físicos	16
2.1.3.2. Aspectos social y cultural.....	17
2.1.4. Maquinarias utilizadas para el BTC	17
2.1.5. Ventajas y desventajas de los BTC	20
2.1.6. Comparación con materiales de construcción convencionales	22
2.1.7. Composición y propiedades de los BTC.....	24
2.1.7.1. Materiales y mezcla adecuada para BTC	25
2.1.7.2. Propiedades físicas de mecánicas de los BTC	26
2.1.7.3. Influencia de los estabilizadores en los BTC.....	28
2.1.8. Proceso de fabricación de BTC	29
2.1.8.1. Selección del suelo	29
2.1.8.2. Estabilizadores de suelos	30
2.1.8.3. Compresión y formación de bloques.....	32
2.1.8.4. Secado y curado de BTC	33
2.1.9. Normativas	34
2.2. Marco Legal	36
2.2.1. Normas Técnicas.....	36

2.2.2. Leyes y Reglamentos	38
CAPÍTULO III	40
MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Enfoque de la investigación	40
3.2. Alcance de la investigación	40
3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos.....	41
3.4. Población y muestra.....	42
CAPÍTULO IV.....	43
PROPUESTA O INFORME	43
4.1. Presentación y análisis de resultados	43
4.1.1. Ensayos de calidad para bloques y ladrillos	43
4.1.1.1. Resistencia a la compresión	43
4.1.1.2. Higroscopicidad y comportamiento ante humedad	45
4.1.1.3. Absorción de agua	47
4.1.1.4. Erosión y resistencia al desgaste.....	48
4.1.2. Impacto ambiental	48
4.1.3. Costos.	50
4.1.4. Evaluación del comportamiento térmico	51
4.1.5. Eficiencia energética	53
4.2. Propuesta.....	58
4.2.1. Uso del BTC como material constructivo principal	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los BTC	27
Tabla 2. Tabla de resistencias mínimas f'_{cu}	33
Tabla 3. Listado de normas y reglamentos internacionales	34
Tabla 4. Resistencia a la compresión	44
Tabla 5. Ensayo de resistencia a la compresión de bloques	45
Tabla 6. Resultados de ensayos de absorción de agua en BTC	47
Tabla 7. Cuadro de costo por metro cuadrado de los materiales	51
Tabla 8. Conductividad en los materiales	52
Tabla 9. Ensayo de transmitancia térmica al BTC	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exterior de una casa construida con BTC	3
Figura 2. Imagen interior de una casa construida con BTC	4
Figura 3. Taos Pueblo en 2017	11
Figura 4. Máquina de fabricación de ladrillos	12
Figura 5. Labores constructivas de la vivienda experimental en Buga, 1957 ...	15
Figura 6. Ejemplos de prensas mecanizadas.....	19
Figura 7. Bloques de tierra perforados	27
Figura 8. Reducción de retracción añadiendo arena a un suelo arcillo-limoso	30
Figura 9. Suelo mejorado con cemento.....	31
Figura 10. Vista de un murete de ladrillo con humedad	46
Figura 11. Impacto ambiental por metro cuadrado de muro	49
Figura 12. Desempeño térmico del BTC comparado con ladrillo cocido y bloque de hormigón	52
Figura 13. Planta modelo elaborada por simulaciones de consumo energético	54
Figura 14. Resultado de la simulación en EDEE con muro tradicional de espesor 30cm	55
Figura 15. Resultado de la simulación en EDEE con muro de adobe de espesor 30cm	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Normas internacionales de ensayos a compresión en BTC.....	66
Anexo 2. Ensayo de compresión al BTC.....	67
Anexo 3. Dosificación al BTC, empleada por empresas de fabricación	68
Anexo 4. Ejemplos de tipo de fabricación del BTC	69
Anexo 5. Tamizado manual de la tierra	70
Anexo 6. Preparación de mezcla de suelo y cemento	71
Anexo 7. Moldeado del BTC en ilustraciones.....	72
Anexo 8. Moldeado de BTC	73
Anexo 9. Curado y almacenamiento de los BTC.....	74
Anexo 10. Máquina tipo CINVA-RAM para producción manual de los BTC.....	75
Anexo 11. Tableta de BTC.....	76
Anexo 12. Ensayo de resistencia a la compresión del BTC (1).....	77
.....	77
Anexo 13. Ensayo de transmitancia térmica al BTC	78
Anexo 14. Ensayo de compresión de muretes.....	79
Anexo 15. Falla en ensayo de compresión de murete	80
Anexo 16. Ensayo de compresión diagonal de murete	81
Anexo 17. Falla en ensayo de compresión diagonal a murete.....	82
Anexo 18. Valores calculados de transmisión térmica y valores obtenidos de otros autores	83
Anexo 19. Transmitancia térmica de muros	84
Anexo 20. Costo de mampostería con otras medidas de bloques de m2 de pared .	85

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Milagro, el crecimiento acelerado de la población y el proceso de urbanización han generado una mayor demanda de viviendas asequibles, sostenibles y adaptadas al contexto local. Sin embargo, los métodos constructivos tradicionales, como el uso de bloques de ladrillo, presentan limitaciones tanto en eficiencia energética como en costos de producción. A esto se suma el clima característico de la región, con temperaturas elevadas y alta humedad durante gran parte del año, lo que incrementa las necesidades de confort térmico en las edificaciones. Dichas condiciones han puesto en evidencia la falta de soluciones constructivas que ofrezcan un desempeño adecuado sin elevar de manera significativa los gastos de construcción y mantenimiento. Por ello, resulta indispensable investigar nuevas alternativas que puedan responder a estas necesidades con mayor eficiencia y sostenibilidad.

Dentro de estas alternativas, los bloques de tierra comprimida (BTC) se presentan como un material de gran potencial gracias a sus características físicas y térmicas. Este tipo de bloque se distingue por su capacidad para mantener temperaturas interiores más estables, debido a su baja conductividad térmica, lo que contribuye a mejorar el confort de los ocupantes. La implementación de BTC en la construcción puede reducir la dependencia de sistemas de climatización, generando un importante ahorro energético en las viviendas. Asimismo, su desempeño estructural ha demostrado ser favorable, siempre que se cumplan las condiciones adecuadas en su fabricación y diseño. Estas propiedades lo convierten en una opción idónea para enfrentar los retos de eficiencia energética en ciudades como Milagro.

Otro aspecto fundamental es el impacto ambiental y económico que implica la utilización de BTC en comparación con los bloques de ladrillo tradicionales. Su proceso de producción requiere menos energía y aprovecha materiales disponibles localmente, lo que reduce la huella de carbono y los costos asociados al transporte de insumos. A diferencia del ladrillo, que demanda procesos de cocción intensivos, el BTC se fabrica mediante compactación, lo cual disminuye las emisiones contaminantes. Además, la utilización de este material puede representar un ahorro significativo en los presupuestos de construcción, favoreciendo la accesibilidad de

viviendas sostenibles para la población. En este sentido, el BTC no solo ofrece beneficios técnicos y energéticos, sino que también contribuye a la economía circular y a la preservación del medio ambiente.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema:

Evaluación de la respuesta estructural y la eficiencia energética de viviendas construidas con bloques de tierra comprimida en Milagro.

1.2. Planteamiento del Problema:

La ciudad de Milagro, ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador, enfrenta desafíos significativos relacionados con el acceso a viviendas asequibles, sostenibles y energéticamente eficientes. La demanda de viviendas en Milagro ha aumentado debido al crecimiento poblacional y la urbanización, lo que ha llevado a un incremento en los costos de construcción y a una presión significativa sobre los recursos naturales locales. Además, el clima de la región, caracterizado por altas temperaturas y humedad durante gran parte del año, plantea retos adicionales para el confort térmico de las viviendas y la eficiencia energética. Estos factores hacen que sea esencial buscar alternativas de construcción que no solo sean más económicas, sino también más adecuadas para el clima local.

Figura 1.

Exterior de una casa construida con BTC.



Fuente: Muniz et al. (2022)

Figura 2.

Imagen interior de una casa construida con BTC.



Fuente: Muniz et al. (2022)

Los métodos de construcción tradicionales, que utilizan principalmente hormigón y ladrillos, no solo son costosos y energéticamente intensivos, sino que también contribuyen a una mayor huella de carbono. En este contexto, los BTC se presentan como una alternativa viable y sostenible. Los BTC pueden fabricarse a partir de suelos locales, reduciendo la necesidad de materiales importados y disminuyendo el impacto ambiental de la construcción. Esta técnica de construcción no solo es más ecológica, sino que también puede ser más económica y accesible para la población local. Sin embargo, se necesita una evaluación rigurosa del desempeño estructural y energético del BTC en el clima específico de Milagro para asegurar su viabilidad y promover su adopción.

Como datos se ha experimentado un crecimiento poblacional anual de aproximadamente el 2.5% en la última década, lo que ha incrementado la demanda de vivienda en un 3% anual debido a la urbanización (INEC, 2010). Este crecimiento ha ejercido una presión considerable sobre los recursos naturales y ha aumentado los costos de construcción en la región. Milagro se caracteriza por temperaturas promedio anuales de 26°C, con una humedad relativa promedio del 80% y una precipitación anual de 1200 mm. Estas condiciones climáticas plantean desafíos significativos para el confort térmico de las viviendas y la eficiencia energética, especialmente cuando se utilizan materiales de construcción tradicionales.

En términos de impacto ambiental, la producción de cemento, un componente clave en la construcción convencional, representa aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂. En comparación, la construcción con BTC puede reducir la huella de carbono en un 30-50%, lo que los convierte en una alternativa más sostenible y ambientalmente responsable.

El proceso de fabricación de BTC comienza con la selección del suelo, que debe contener una mezcla adecuada de arena, limo y arcilla. Para lograr una composición óptima, el suelo generalmente debe tener aproximadamente un 70% de arena, 20% de limo y 10% de arcilla. Una vez seleccionado, el suelo se seca y se tamiza para eliminar partículas grandes y asegurar una granulometría uniforme. Además, se puede agregar un estabilizador, como cemento o cal, en un pequeño porcentaje (5-10%) para mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia al agua. La mezcla seca de suelo y estabilizador se combina cuidadosamente con agua hasta alcanzar la humedad óptima, que generalmente está entre el 10-12% del peso total de la mezcla. Esta etapa es crucial para garantizar la cohesión y compactibilidad del material. La mezcla húmeda se coloca en un molde de compresión y se utiliza una prensa manual o mecánica para comprimir la mezcla con una presión adecuada, normalmente alrededor de 2-4 MPa.

Después de la compresión, los bloques se desmoldan con cuidado para evitar daños y se colocan en un área sombreada para el secado. Es esencial que los bloques se dejen secar al aire libre durante al menos 7-14 días para permitir que alcancen la resistencia necesaria. Durante este período, los bloques deben protegerse de la lluvia y la humedad excesiva para evitar la degradación. El proceso de curado asegura que los bloques alcancen sus propiedades óptimas de resistencia y durabilidad, preparándolos para su uso en la construcción.

Existen varias normas que regulan la fabricación y uso de BTC en el contexto internacional, como la ASTM D1633, que establece métodos estándar para pruebas de resistencia a la compresión de suelos compactados cementados, y la ISO 24378, una norma internacional para el diseño y producción de BTC. En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece los requisitos para la construcción con BTC, incluyendo especificaciones de materiales y métodos de ensayo. Además,

la Norma INEN 872 es el estándar ecuatoriano para la fabricación y uso de bloques de tierra comprimida estabilizados.

1.3. Formulación del Problema:

¿Cómo se comporta la respuesta estructural y la eficiencia energética del BTC frente a los del bloque de ladrillo tradicional en la ciudad de Milagro?

1.4. Objetivo General

Evaluar la respuesta estructural y la eficiencia energética del BTC, con relación a los bloques tradicionales determinando su viabilidad.

1.5. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades mecánicas de los bloques de tierra comprimida.
- Determinar los criterios de eficiencia energética para la evaluación del desempeño.
- Evaluar el impacto ambiental en la fabricación del BTC y los bloques tradicionales de construcción
- Comparar el costo de producción del BTC con los bloques tradicionales.

1.6. Hipótesis

El bloque de tierra comprimida (BTC) mostrará un mejor desempeño térmico y una resistencia estructural adecuada en comparación con el ladrillo tradicional, optimizando la eficiencia energética de las viviendas en la ciudad de Milagro.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

La tierra es un material que predomina en cualquier lugar; en la actualidad, su utilización se ha incrementado, debido a la conciencia ecológica, bajo costo y por ser un material reciclable y adaptable a las condiciones climáticas en donde se encuentre. Al adicionarle algún agregado, el material es moldeado para que tenga las características que se desean. La tecnificación de esta modalidad da a conocer el resurgimiento de la ingeniería y arquitectura con tierra (Arteaga et al., 2011, pág. 57).

Este enfoque reafirma la importancia de rescatar técnicas constructivas tradicionales con un enfoque técnico y sostenible. El uso de la tierra, más allá de ser una práctica ancestral, representa una oportunidad para democratizar la vivienda mediante soluciones accesibles. Considero que los avances en la ingeniería de materiales deben orientarse también a fortalecer este tipo de sistemas alternativos. En zonas rurales o con altos índices de pobreza, como algunas del Ecuador, el BTC puede convertirse en una herramienta clave para el desarrollo social. Además, su comportamiento térmico y estructural responde adecuadamente a las condiciones de climas tropicales como el de Milagro. Por tanto, integrar el BTC en procesos de construcción responsable no solo es viable, sino necesario.

La tierra está compuesta principalmente por partículas de arena, limo y arcilla, además de contener naturalmente agua y aire. Esta mezcla permite que el material sea trabajado y mejorado, especialmente si se estabiliza correctamente dentro de un rango adecuado de cohesión. La posibilidad de su uso en construcción depende en gran medida de su composición granulométrica. La elección del tipo de arcilla y su proporción se ajusta según el sistema constructivo empleado y la humedad óptima necesaria para una compactación eficiente. De este modo, el comportamiento del suelo puede adaptarse para cumplir con los requerimientos técnicos del bloque de tierra comprimida. Esta adaptabilidad lo convierte en un recurso local valioso y versátil.

Para mejorar el material tierra se realizan estabilizaciones con algunos agregados, clasificados en procesos homogéneos y heterogéneos. Los procesos homogéneos consisten en agregar el material faltante: si la tierra es poco cohesiva, arcilla, y si es muy cohesiva, arena; los materiales se incorporan en seco y deben ser semejantes al material por estabilizar. En los procesos heterogéneos ocurre incorporación de otro tipo de materiales que cumplen con la función de brindar estabilidad al material natural; este proceso se divide en estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilizantes. (Arteaga et al., 2011, págs. 57-58)

Los BTC constituyen una técnica de construcción milenaria que ha sido redescubierta y adaptada a las necesidades del siglo XXI. Esta tecnología representa no solo una alternativa sostenible en términos ambientales, sino también una solución eficiente en cuanto a consumo energético y economía en la edificación. Gracias a sus cualidades técnicas y su bajo impacto ambiental, los BTC se están consolidando como una opción viable frente a los materiales convencionales. Esta sección aborda los atributos más relevantes de los BTC, como su capacidad sostenible, comportamiento térmico, accesibilidad económica, resistencia estructural y versatilidad en diseño. Todo esto permite entender por qué su uso está creciendo en diversos proyectos contemporáneos. Además, investigaciones recientes avalan cada vez más el empleo de este material como parte de una arquitectura más responsable.

Una de las razones más destacadas para utilizar BTC es su sostenibilidad. Al fabricarse con tierra local, se minimiza considerablemente la contaminación generada por el transporte de insumos. A diferencia del ladrillo cocido o el cemento, cuya producción requiere altos niveles de energía, los BTC demandan un proceso de fabricación mucho más eficiente desde el punto de vista energético. De acuerdo con Minke (2001), la producción de un metro cúbico de BTC estabilizado con 5 % de cemento genera apenas 1/8 de las emisiones de dióxido de carbono que un metro cúbico de ladrillo cocido. Esta eficiencia no solo se traduce en menor impacto ambiental, sino también en beneficios económicos y energéticos significativos. Por tanto, se convierte en una opción coherente con los objetivos globales de sostenibilidad en el sector de la construcción.

En lo que respecta a su comportamiento térmico, el BTC presenta una inercia térmica destacada. Esta propiedad le permite absorber calor durante el día y liberarlo lentamente en la noche, regulando de manera natural la temperatura interna de las edificaciones. Esto resulta especialmente beneficioso en zonas de clima cálido, donde la necesidad de refrigeración se reduce gracias al efecto de amortiguamiento térmico. Además, estos bloques ayudan a mantener un nivel adecuado de humedad relativa en los interiores, mejorando el confort ambiental y la calidad del aire. En comparación con materiales como el hormigón o el ladrillo cocido, los BTC ofrecen un mejor desempeño térmico, reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos de climatización y promoviendo así un entorno energéticamente más eficiente (Morel et al., 2001).

Desde el punto de vista económico, los BTC representan una alternativa altamente competitiva. Su producción con recursos del entorno cercano disminuye los costos logísticos, al tiempo que estimula la economía local mediante la generación de empleo y el uso de materiales regionales. Esto tiene un impacto positivo tanto en comunidades rurales como urbanas con limitaciones económicas. Esta ventaja económica, sumada al ahorro energético posterior en el uso del inmueble, convierte a los BTC en una opción no solo ecológica, sino también rentable para proyectos de vivienda social y autoconstrucción.

A pesar de no ser tan difundidos como otros materiales, los BTC poseen una resistencia y durabilidad considerable cuando se fabrican y aplican adecuadamente. Pueden superar varias décadas de vida útil, siempre que se implementen medidas de protección contra la humedad y la erosión. Otra ventaja es su resistencia al fuego y la baja vulnerabilidad frente a insectos como las termitas, lo cual los hace aptos para diversas condiciones ambientales.

2.1.1. Historia y evolución del uso de BTC en la construcción

Los BTC tienen sus raíces en técnicas de construcción ancestrales. Desde tiempos antiguos, diversas culturas alrededor del mundo han utilizado la tierra como material de construcción. La compresión de la tierra para formar bloques fue una evolución natural, mejorando la durabilidad y la resistencia de las estructuras. Esta

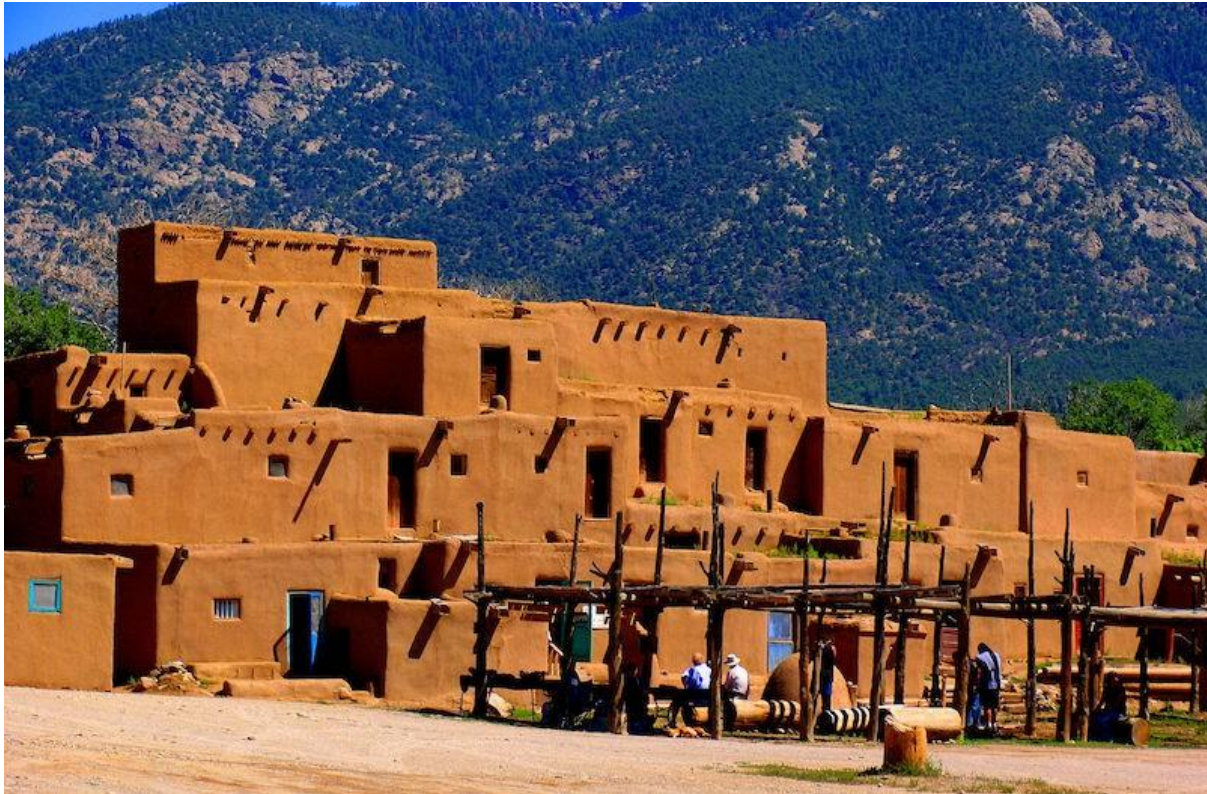
técnica tiene sus orígenes en la cultura egipcia, el término adobe, proviene del egipcio “thobe”, que fue traducido al árabe como “ottob”, esta técnica fue llevada al mediterráneo por los romanos y fue ampliamente difundida durante la invasión musulmana a Europa (Gutiérrez & Mújica, 2012, pág. 30).

Costa et al. (2018), menciona que el uso de la tierra como material de construcción es tan antiguo como la urbanización. Se han encontrado rastros de ladrillos de adobe en Mesopotamia que datan de hace más de 10 000 años, y estructuras antiguas como las pirámides de Egipto utilizaron antiguamente tierra en sus primeras etapas constructivas.

En América, el adobe se empleó inicialmente en civilizaciones andinas, siendo algunos de los primeros ejemplos los vestigios en los Andes peruanos con más de 5 100 años. También en el suroeste de EE. UU., los pueblos originarios como los Pueblo comenzaron a construir viviendas colectivas en adobe; obras como Taos Pueblo, con más de 1 000 años de antigüedad, siguen en uso. La técnica clásica del adobe consiste en mezclar tierra con agua y fibras vegetales (paja, estiércol), moldearlos manualmente y secarlos al sol durante semanas. Esta técnica fue dominante en múltiples regiones —desde el Medio Oriente, África, hasta América y Europa— gracias a la simplicidad de producción y los recursos locales. Sin embargo, la producción artesanal resultaba laboriosa y los resultados eran variables (Park, 2024).

Figura 3.

Taos Pueblo en 2017.



Fuente: Castro (2025)

En las últimas décadas, el uso de BTC ha evolucionado significativamente. La modernización de las técnicas de producción y la investigación en el campo de los materiales de construcción han permitido mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los BTC.

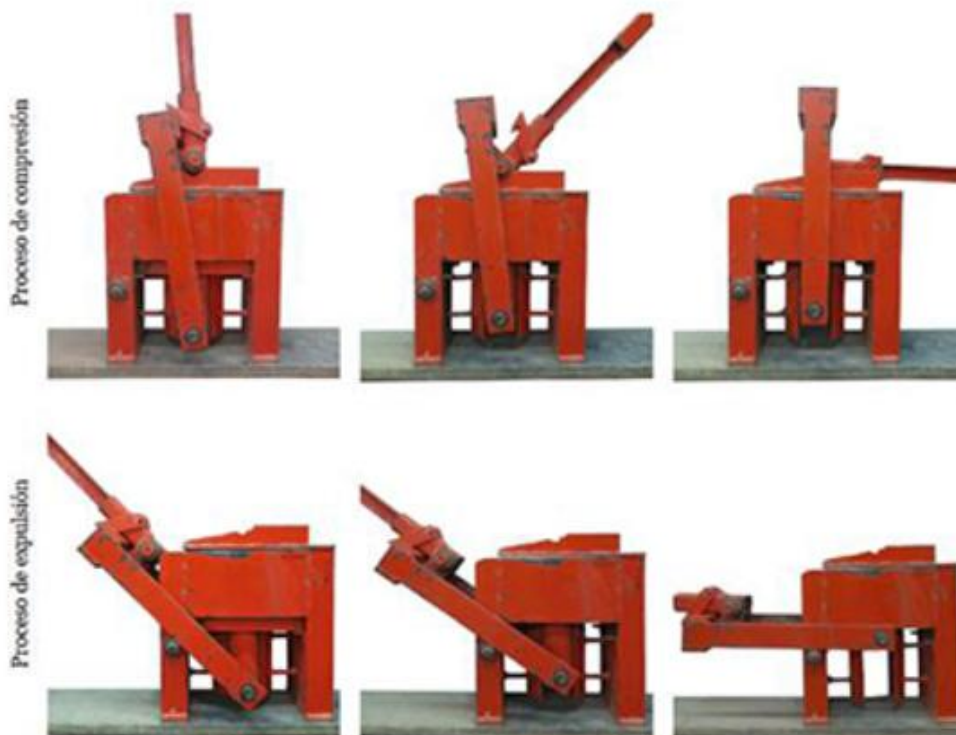
Desde los orígenes de la humanidad, el ser humano ha buscado formas de resguardarse de las condiciones climáticas utilizando los recursos disponibles en su entorno. En regiones donde abundaban las piedras, estas se usaban como base constructiva, unidas con barro para formar refugios. No obstante, en zonas donde no había acceso a materiales pétreos, se optó por moldear tierra húmeda en forma de bloques, los cuales eran dejados secar al sol para adquirir resistencia. Esta práctica dio origen a una de las primeras técnicas de construcción con tierra cruda, sentando las bases de lo que hoy conocemos como adobe. Gutiérrez & Mújica (2012) mencionan lo siguiente:

Existen dos formas de fabricar los adobes: una es haciendo una pasta con tierra muy plástica, la cual se coloca en los moldes para formar los bñc, y la otra es la utilización de tierra con una humedad adecuada para posteriormente compactarla por medios semi-mecánicos o mecánicos. Actualmente es esta última la técnica más difundida y la que más aportaciones tecnológicas ha tenido. La forma tradicional continúa utilizándose principalmente en las zonas rurales, mientras que en las zonas urbanas se han desarrollado tecnologías que utilizan máquinas de prensado hidráulico o semi-mecánicos (Cinva-ram), así como adiciones de materiales que mejoren la característica de durabilidad. (pág. 30)

En la Figura 4 se presenta un tipo de máquina que hace los bloques por medio de la compactación a un molde.

Figura 4.

Máquina de fabricación de ladrillos.



Fuente: Cabrera et al. (2024)

La falta de regulación técnica en el uso de materiales de tierra representa una limitación significativa, especialmente considerando que actualmente existen

numerosas edificaciones construidas con este recurso, y su uso continúa en aumento. La ausencia de un adecuado conocimiento sobre sus propiedades mecánicas, sumado a una aplicación deficiente en obra, ha provocado deterioro prematuro en los componentes estructurales, una rápida descomposición del material y un mal desempeño frente a movimientos sísmicos.

En Ecuador, el desarrollo de normas específicas para construcción con tierra es aún incipiente. Aunque la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) contempla criterios de mampostería estructural y eficiencia energética, no existen normativas específicas para regulaciones con tierra cruda o BTC. En años recientes, universidades como la Escuela Politécnica del Ejército (ESPE) y la Universidad de Cuenca han impulsado investigaciones y consensos técnicos, pero este campo aún necesita regulación formal.

2.1.2. *Prototipos de casas construidas con BTC*

Durante los ensayos iniciales de construcción con BTC, los prototipos de vivienda tuvieron un papel fundamental, no solo para validar la resistencia de los bloques y su estabilidad estructural, sino también para evidenciar su comportamiento frente a factores ambientales como la humedad, la radiación solar y el desgaste por uso cotidiano. Estos primeros proyectos piloto funcionaron como laboratorios a escala real, permitiendo identificar fortalezas y debilidades en el diseño de los bloques, así como en la mano de obra utilizada en su producción y colocación.

Según Díaz et al. (2023), para 1957 en el CINVA se tenía como único antecedente en cuanto a vivienda experimental construida con BTC la que se había hecho un año atrás en el municipio colombiano de San Jerónimo bajo la supervisión de Ernesto Vautier y con el trabajo auxiliar de siete becarios y cuatro profesores rurales patrocinados por el Ministerio de Educación. Sin embargo, aquí los bloques se habían compactado con pisones manuales gracias a la participación de mano de obra local no remunerada, lo que contribuyó a lograr una edificación de 75 m² con un costo total de USD 6,09/m² (31). Pero una vez se pudo contar con un prototipo preliminar de la máquina Cinva-Ram, de nuevo Vautier asumió la dirección de un plan de entrenamiento en vivienda rural correspondiente al curso regular de

ese año, situado en la vereda Chambimbal del municipio de Buga (Valle del Cauca), en donde contó con la asesoría de Jo-sephina Albano y Orlando Fals Borda, así como con la parti-cipación de ocho becarios originarios de Colombia, Panamá, Costa Rica, Venezuela y Brasil.

Uno de los principales aprendizajes de esta etapa fue la necesidad de estandarizar las dimensiones y proporciones de los bloques, pues la ausencia de uniformidad generaba complicaciones en la alineación de muros y acabados. Asimismo, se observó que el BTC, cuando no estaba adecuadamente estabilizado, presentaba riesgos de fisuración o deterioro por contacto directo con el agua, lo que impulsó la investigación sobre aditivos y técnicas de compactación más efectivas. Estos hallazgos marcaron un precedente en el desarrollo de normativas posteriores para mejorar la calidad y durabilidad de los bloques.

Además, los prototipos sirvieron como un medio de difusión social y cultural, ya que las comunidades involucradas en su construcción pudieron apreciar de primera mano las ventajas de este material frente a alternativas más costosas y menos sostenibles. Las viviendas experimentales mostraron que el BTC podía reducir los costos de edificación y aprovechar recursos locales sin comprometer la funcionalidad. De esta manera, los prototipos no solo representaron un ensayo técnico, sino también una estrategia de aceptación social que contribuyó a legitimar al BTC como material viable dentro de programas de vivienda social y autoconstrucción.

Figura 5.

Labores constructivas de la vivienda experimental en Buga, 1957



Fuente: Díaz et al. (2023)

2.1.3. Viviendas sociales

Las viviendas sociales representan un pilar fundamental en las políticas de desarrollo urbano, ya que buscan garantizar condiciones dignas de habitabilidad a sectores de la población que carecen de acceso a soluciones habitacionales adecuadas. Más allá de su función básica como refugio, estas viviendas constituyen un espacio donde se promueve la inclusión, la equidad y la cohesión social, por eso:

La vivienda es un derecho fundamental reconocido universalmente desde hace más de un cuarto de siglo. Ella es un lugar permanente y seguro que merece toda persona, donde pueda recogerse junto a su familia, recuperarse física y emocionalmente del trabajo diario y salir cotidianamente rehabilitado para ganarse el sostén de los suyos y de sí mismo. Es un refugio familiar donde se obtiene comprensión, energía, aliento, optimismo para vivir y entregarse positivamente a la sociedad a que se pertenece. Es una pequeña porción de territorio donde se reconoce exclusividad de uso. En afán de equidad, la

sociedad debe adoptar el compromiso de asegurar que cada ciudadano tenga acceso a lo menos a un sitio con protección climática e higiene. Ella ha sido objeto de una creciente preocupación social e institucional en nuestro país, manifestada con una profusa legislación y una muy variada experiencia habitacional. (Sepúlveda, 1986, pág. 4)

La aplicación del bloque de tierra comprimida en la vivienda social representa una alternativa viable frente a la problemática habitacional que enfrentan muchas ciudades intermedias y rurales en Ecuador. Al ser un material de bajo costo, fabricado principalmente con suelos locales y en algunos casos estabilizados con pequeñas proporciones de cemento o cal, el BTC contribuye a reducir significativamente la inversión necesaria para la construcción de viviendas dignas. Este aspecto físico resulta fundamental en contextos donde los recursos económicos son limitados, ya que posibilita la producción de soluciones habitacionales más accesibles, sin sacrificar la seguridad estructural ni el confort térmico.

2.1.3.1. Aspectos físicos. Según Sepúlveda (1986):

La vivienda es la manifestación física del espacio requerido por el hombre para vivir junto con su familia. Cuando ella se concibe como una necesidad básica de la vida, cuya materialización demanda la inversión de recursos que son escasos, obliga a un esfuerzo lo más racional posible, donde se logre el mayor rendimiento, eficiencia y economía. (pág. 4)

En cuanto a los aspectos físicos, el BTC ofrece ventajas considerables para la vivienda social. Su masa térmica permite mantener temperaturas interiores más estables, reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos de climatización. Este comportamiento es especialmente relevante en zonas de climas cálidos, como Milagro, donde el sobrecalentamiento en viviendas convencionales suele ser un problema recurrente. Adicionalmente, la resistencia mecánica de los bloques, cuando son correctamente compactados y estabilizados, garantiza una vida útil prolongada y un menor requerimiento de mantenimiento, lo que se traduce en ahorro para las familias beneficiarias.

Desde el punto de vista social y cultural, el uso del BTC también fortalece el sentido de pertenencia de las comunidades. La producción local de bloques involucra directamente a los habitantes, quienes pueden participar en talleres de capacitación para la fabricación y construcción con este material. Este proceso no solo genera empleo, sino que además promueve la autoconstrucción asistida, empoderando a las familias en la mejora de su entorno habitacional. Asimismo, el BTC refleja un retorno hacia técnicas tradicionales adaptadas a la modernidad, lo que favorece la preservación de saberes ancestrales vinculados al trabajo con la tierra.

2.1.3.2. Aspectos social y cultural. El mismo autor Sepúlveda (1986), enfatiza que:

A razón primera y más fundamental es la escasez de recursos que obliga a trabajar con estándares bajos de habitabilidad y sólo contemplando las necesidades más básicas del poblador medio. Frente a ello, el programador y el diseñador sólo contemplan para cada actividad y función, el espacio y el equipo mínimo, por no decir elemental, que bordea los límites de la precariedad; ante cuya realidad no sorprende que el usuario agregue elementos a la vivienda para adecuarla a su particular nivel de vida. (pág. 11)

Por otra parte, la implementación del BTC en proyectos de vivienda social contribuye a un modelo de urbanización más sostenible. Al reducir la huella ecológica asociada a materiales de alto consumo energético como el hormigón o el ladrillo cocido, se fomenta un crecimiento urbano más respetuoso con el medio ambiente. En consecuencia, el BTC no solo es un material constructivo, sino también una herramienta de transformación social que impacta positivamente en la calidad de vida y en la integración urbana de los sectores más vulnerables.

2.1.4. Maquinarias utilizadas para el BTC

La fabricación de BTC requiere de ciertos equipos especializados que permiten compactar la mezcla de tierra y estabilizantes con una presión adecuada, obteniendo así piezas uniformes, resistentes y de alta calidad. Estas maquinarias pueden ser de

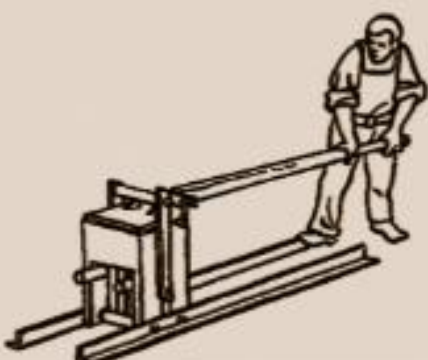
tipo manual, semi-automático o completamente automatizado, dependiendo de la escala del proyecto, la disponibilidad tecnológica y el presupuesto disponible.

Uno de los equipos más comunes es la prensa manual, también conocida como prensa tipo Cinva-Ram, desarrollada en Colombia en la década de 1950. Este tipo de máquina permite fabricar bloques con una presión aplicada mediante una palanca, siendo ideal para proyectos pequeños o en zonas rurales con acceso limitado a electricidad o combustibles. A pesar de su bajo costo y sencillez, estas prensas requieren de un gran esfuerzo físico y tienen una capacidad de producción limitada, lo que restringe su uso en construcciones de gran escala.

Entre las prensas automatizadas más reconocidas a nivel internacional se encuentra la Hydraform, de origen sudafricano, que permite la fabricación de BTC intertrabados, reduciendo el uso de mortero en obra. Estas máquinas tienen sistemas integrados para mezclar y prensar los materiales, e incluso pueden funcionar con motores diésel, lo que las hace útiles en zonas sin acceso a electricidad. Para proyectos más avanzados o de carácter industrial, también se pueden utilizar cintas transportadoras, tolvas de almacenamiento, silos para cemento y sistemas de dosificación automatizada, lo que agiliza el proceso de producción en serie y mejora la calidad final del producto.

Figura 6.

Ejemplos de prensas mecanizadas.

Tipos de prensas	Peso	Producción 29.5x14x8cm bloques por día	
Manual liviana	50 - 150 Kg.	300 a 500	
Manual pesada	150 - 250 Kg.	700 a 1500	
A Motor	700 - 2000 Kg.	1000 a 5000	
Unidad móvil	1500 - 6000 Kg.	1500 a 4000	
Unidad fija	2000 - 30000 Kg.	2000 a 10000	

Fuente: Peñafiel (2024)

2.1.5. Ventajas y desventajas de los BTC

Como ventaja se tiene:

- Sostenibilidad

Los BTC se fabrican a partir de tierra disponible localmente, lo que reduce la necesidad de transporte de materiales y, por ende, las emisiones de carbono asociadas. Comparados con los ladrillos convencionales y el cemento, los BTC requieren menos energía para su producción, lo que disminuye la huella de carbono.

- Eficiencia Energética

Los BTC tienen una alta capacidad de inercia térmica, lo que ayuda a mantener temperaturas interiores estables y reduce la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración. Proporcionan un buen aislamiento acústico y térmico, mejorando el confort dentro de las edificaciones.

- Costo

La utilización de materiales disponibles localmente y la menor necesidad de transporte reducen significativamente los costos de construcción. Los BTC son duraderos y requieren menos mantenimiento en comparación con otros materiales de construcción, lo que reduce los costos a largo plazo.

- Durabilidad y Resistencia

Si se fabrican y mantienen adecuadamente, los BTC pueden durar muchos años, ofreciendo resistencia comparable a los ladrillos de arcilla. Son resistentes al fuego y no son susceptibles a plagas como termitas.

- Flexibilidad de Diseño

Los BTC pueden ser moldeados en diferentes formas y tamaños, lo que permite una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico. Proporcionan una apariencia rústica y natural, que puede ser estéticamente agradable en muchos contextos arquitectónicos.

Como desventaja se tiene:

- Normativas y Estándares

En muchas regiones, la falta de normativas estandarizadas puede limitar la adopción de BTC en proyectos de construcción formales. Algunos reguladores y profesionales de la construcción pueden ser reacios a adoptar BTC debido a la falta de familiaridad o confianza en el material.

- Condiciones Climáticas

Los BTC pueden ser susceptibles a daños por agua si no se protegen adecuadamente, especialmente en climas húmedos. En regiones con altas precipitaciones, los BTC requieren revestimientos o tratamientos adicionales para protegerlos de la humedad y la erosión.

- Durabilidad Variable

La durabilidad de los BTC puede variar dependiendo de la calidad de la tierra utilizada y el proceso de fabricación. Aunque los costos de mantenimiento son generalmente bajos, los BTC pueden necesitar inspecciones y reparaciones periódicas para asegurar su integridad estructural.

- Resistencia Mecánica

Aunque son adecuados para muchas aplicaciones, los BTC no alcanzan la resistencia mecánica del hormigón armado, lo que limita su uso en estructuras de gran altura o con cargas extremas.

- Capacitación y Conocimiento

La implementación exitosa de BTC requiere conocimientos técnicos específicos que pueden no estar disponibles en todas las regiones. Es necesario capacitar a los trabajadores y profesionales de la construcción en el uso adecuado de BTC, lo que puede implicar costos adicionales y tiempo.

2.1.6. Comparación con materiales de construcción convencionales

Los BTC utilizan tierra local, reduciendo la necesidad de transporte y la huella de carbono. Su producción requiere menos energía que los ladrillos de arcilla cocida y el cemento, generando menos emisiones de CO₂. En contraste, la producción de ladrillos de arcilla implica la cocción en hornos a altas temperaturas, consumiendo mucha energía y emitiendo CO₂. El cemento es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones globales de CO₂, y el hormigón tiene una alta energía embebida debido a sus componentes y procesos de producción.

La comparación de estos materiales se puede analizar con los siguientes puntos: costo, eficiencia energética, durabilidad y accesibilidad.

a) Costo

Los BTC son económicos, especialmente donde la tierra adecuada está disponible localmente. Los costos de transporte y producción son menores gracias al uso de materiales locales y procesos energéticamente eficientes. Por otro lado, los ladrillos tienen costos más altos debido a la necesidad de materias primas específicas

y procesos intensivos. Aunque el hormigón es duradero, su producción es costosa en términos de componentes y energía.

b) Eficiencia Energética

El BTC ofrece una alta capacidad de inercia térmica, manteniendo temperaturas interiores estables y reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración. Además, regulan naturalmente la humedad interior. En comparación, los ladrillos y el cemento requieren aislamiento adicional para mejorar la eficiencia energética. El hormigón tiene buena capacidad térmica, pero necesita ser combinado con materiales aislantes para una eficiencia óptima.

c) Durabilidad

Si se fabrican y mantienen adecuadamente, los BTC pueden durar muchos años, aunque son susceptibles a la erosión por agua sin protección adecuada. Son comparables a los ladrillos de arcilla en durabilidad, pero menos resistentes que el hormigón armado. Los ladrillos de arcilla son muy duraderos y resistentes a la intemperie, mientras que el hormigón es extremadamente duradero y resistente a diversas condiciones climáticas y de alta resistencia estructural.

d) Aplicabilidad

Los BTC permiten una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico debido a su capacidad para ser moldeados en diferentes formas y tamaños. No obstante, pueden no ser adecuados para todas las aplicaciones estructurales, especialmente en edificios de gran altura o estructuras que requieren alta resistencia mecánica. Los ladrillos de arcilla y el cemento tienen una amplia aplicabilidad en diversas estructuras, desde viviendas hasta edificios comerciales e industriales. El hormigón es ideal para aplicaciones estructurales de alta resistencia y durabilidad, como puentes, rascacielos y presas.

2.1.7. Composición y propiedades de los BTC

Los BTC se componen principalmente de suelo local. La proporción adecuada de estos componentes es crucial para obtener bloques de alta calidad: generalmente, la mezcla consiste en arena, limo, arcilla y cemento. Vázquez et al. (2015)

La resistencia a la compresión de los bloques prensados supera en alrededor del 500% a los adobes tradicionales. En el caso de los adobes tradicionales, no se han realizado ensayos de absorción debido a que distintos autores mencionan que la pieza tradicional fracasa antes de terminar dicha prueba. La resistencia a la humedad entre los adobes tradicionales y los propuestos en la investigación demuestran un incremento significativo en este orden, la razón, el prensado reduce la cantidad de poros, consiguiéndose menor absorción. (págs. 7-8)

Los BTC poseen propiedades físicas y mecánicas que los hacen atractivos para la construcción sostenible. Tienen una alta densidad, lo que les confiere excelente capacidad de carga y resistencia a la compresión, comparable a la de los ladrillos de arcilla cocida. Además, los BTC cuentan con una masa térmica significativa, permitiendo que absorban y liberen calor lentamente, lo cual ayuda a mantener temperaturas interiores estables y mejora la eficiencia energética de los edificios.

La adición de estabilizadores como cemento, cal o asfalto mejora significativamente las propiedades de los BTC. El cemento es el estabilizador más común y puede aumentar la resistencia a la compresión del bloque hasta en un 200%, además de mejorar su resistencia al agua y a la intemperie:

En términos de resistencia y durabilidad, la adición de una mayor cantidad de cemento mejoraría el desempeño de los bloques de tierra, sin embargo, el costo de construcción aumentará. Este factor ha obligado a encontrar una alternativa para reducir la cantidad de cemento en la preparación de bloques de tierra. En este escenario se ha probado el uso de fibras naturales locales, especialmente en países en desarrollo. (Cabrera & Tello, 2025, pág. 9)

La cal ofrece beneficios adicionales en términos de flexibilidad y resistencia a los ataques de sales solubles, mientras que el asfalto puede proporcionar una mayor impermeabilidad. Estos estabilizadores también reducen la contracción y expansión causadas por cambios de humedad, minimizando el riesgo de grietas. El uso de estabilizadores permite que los BTC sean adecuados para una variedad más amplia de aplicaciones, incluyendo climas húmedos y condiciones de carga más exigentes. En resumen, los estabilizadores aumentan la durabilidad y versatilidad de los BTC, haciéndolos comparables a otros materiales de construcción convencionales.

2.1.7.1. Materiales y mezcla adecuada para BTC. Neves & Borges (2011) señalan que:

Para seleccionar el suelo más adecuado, entre los que están disponibles en el sitio de construcción, es necesario obtener muestras representativas de estos suelos y en cantidades suficientes como para realizar todas las pruebas y ensayos. Para componer una muestra de suelo deben ser recogidas porciones en diversos puntos del terreno. Luego, las partes recogidas deben ser mezcladas, homogeneizadas y cuarteadas para obtener la muestra en estudio. (pág. 14)

El proceso de fabricación de los BTC implica mezclar cuidadosamente estos componentes y luego comprimirlos en moldes utilizando prensas manuales o mecánicas. La compresión es un paso crítico, ya que produce bloques uniformes y densos que son adecuados para su uso en la construcción. Este proceso no solo asegura la homogeneidad del producto final, sino que también maximiza las propiedades estructurales y de durabilidad del bloque. Una mezcla equilibrada y bien compactada resulta en bloques que son robustos y duraderos. La calidad de la compresión es crucial para garantizar la longevidad y la resistencia del bloque.

2.1.7.2. Propiedades físicas de mecánicas de los BTC. Según Arteaga et al. (2011), menciona que el BTC “Se obtienen a partir de la mezcla de tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%), para luego ser compactada”. La incorporación de cemento en los BTC mejora significativamente sus propiedades mecánicas, aumentando la resistencia a la compresión y la durabilidad frente a condiciones ambientales adversas.”

Al aumentar el contenido de cemento en la mezcla, se incrementa la resistencia a la compresión de los BTC, lo que permite su aplicación en estructuras con mayores exigencias mecánicas. Este aumento en la resistencia mecánica no solo mejora la capacidad estructural de los bloques, sino que también contribuye a su longevidad y resistencia al desgaste por factores ambientales. La adición de estabilizadores como el cemento es crucial para asegurar la integridad estructural y la durabilidad de los BTC.

Los bloques presentan diversas características según su elaboración, ya que la máquina facilita el empleo de moldes; pueden ser perforados, lo cual los hace más ligeros, teniendo la posibilidad de reforzarlos; también pueden presentar curvaturas, para ser utilizados estructural y arquitectónicamente (Arteaga et al., 2011).

Dabakuyo et al. (2022), explica que los BTC también ofrecen ventajas térmicas significativas debido a su alta masa térmica, lo que les permite absorber y liberar calor lentamente. Esta característica térmica ayuda a mantener temperaturas interiores más estables, reduciendo la dependencia de sistemas de climatización y mejorando la eficiencia energética de las edificaciones. Los bloques estabilizados con cemento presentan mejoras adicionales en la eficiencia energética y en la resistencia al agua, haciendo que sean más adecuados para climas húmedos.

Figura 7.

Bloques de tierra perforados.



Fuente: Arteaga et al. (2011)

Tabla 1.

Características de los BTC.

Propiedades	Unidad	Clase A	Clase B
Resistencia A Compresión A Los 28 Días	N/mm ²	5-7	2-5
Resistencia A Tracción A Los 28 Días	N/mm ²	1-2	0,5-1
Resistencia A Flexión A Los 28 Días	N/mm ²	1-2	0,5-1
Resistencia A Cortante A Los 28 Días	N/mm ²	1-2	0,5-1
Módulo De Young	N/mm ²	700-1000	200-600
Densidad Aparente	Kg/m ³	1900-2200	1700-2000
Coeficiente De Expansividad Térmica	mm/m°C	0,010-0,015	0,015-0,02
Hinchamiento Tras Inmersión 24 Horas	mm/m°C	0,5-1	1-2
Retracción Por Secado	mm/m°C	0,2-1	0,2-1
Permeabilidad	mm/sec	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁵
Absorción De Agua Total	% del peso	5 - 10	10 - 20
Calor Específico	KJ/kg	0,85	0,65-0,85
Coeficiente De Conductividad Térmica	W/m°C	0,46-0,81	0,81-0,93
Coeficiente De Transmisión De Vapor	%	5-10	10-30
Desfase Térmico	horas	10-16	6-10
Aislamiento Acústico Muros De 40 Cm	dB	50	40

Fuente: Pinos (2015)

En cuanto a sus propiedades acústicas, los BTC proporcionan un excelente aislamiento contra el ruido exterior, creando ambientes interiores más silenciosos y confortables. La estructura porosa y la alta densidad de los bloques contribuyen a estas propiedades acústicas, que son particularmente valiosas en entornos urbanos. En conjunto, estas características hacen que los BTC sean una opción versátil y sostenible para diversas aplicaciones de construcción.

2.1.7.3. Influencia de los estabilizadores en los BTC. Según Reyes & Peralta (2014) el término estabilizador se refiere a una sustancia o proceso capaz de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, lo cual conlleva una modificación en su granulometría, límites de consistencia y densidades de compactación. Los BTC mejoran significativamente en resistencia y durabilidad con la adición de estabilizadores como cemento, cal y otros aditivos naturales. El cemento es uno de los estabilizadores más utilizados, y su incorporación puede aumentar la resistencia a la compresión de los BTC.

Los estabilizadores también juegan un papel crucial en la reducción de la contracción y expansión causadas por cambios en la humedad, lo que minimiza el riesgo de grietas y deformaciones en los BTC. Esta característica es vital para mantener la integridad estructural de los bloques a lo largo del tiempo, especialmente en climas variables. Estudios han demostrado que los BTC estabilizados con una combinación de cemento y cenizas volantes no solo alcanzan una alta resistencia mecánica, sino que también presentan mejoras en la durabilidad y resistencia al agua:

Cemento portland es un conglomerante que endurece al mezclarse con agua, se obtiene de la mezcla y posterior cocción de roca caliza y arcilla, luego se le agrega yeso para disminuir el tiempo de fraguado. No es efectivo en suelos muy plásticos y arcillosos, además de que el mezclado con estos es más difícil. Es preferible su uso en suelos arenosos. Es recomendable probar bloques con varios porcentajes para comparar resistencias. Ha de esperarse una mayor resistencia con una mayor cantidad de cemento sin embargo, conforme aumenta el porcentaje de cemento el aumento de resistencia a compresión será menor. (Reyes & Peralta, 2014, pág. 33)

En la investigación de Nagaraj et al. (2014), se evalúa el papel de la cal combinada con el cemento en la mejora de la resistencia a largo plazo de los BTC. Los resultados muestran que esta combinación no solo aumenta la resistencia mecánica inicial, sino que también mejora la durabilidad del bloque frente a los cambios ambientales. La inclusión de cal y cemento en la mezcla de BTC ofrece un equilibrio entre resistencia, durabilidad y sostenibilidad, lo que la convierte en una opción atractiva para construcciones duraderas.

2.1.8. Proceso de fabricación de BTC

2.1.8.1. Selección del suelo. Uno de los problemas a resolver es la expansión y retracción de la arcilla al entrar en contacto con el agua. Según Minke (2001):

Las fisuras de retracción en superficies de barro expuestas a la lluvia deben evitarse debido a la creciente erosión. La retracción durante el secado depende del contenido de agua, del tipo y cantidad de minerales arcillosos y de la distribución granulométrica de los agregados. (pág. 47)

Se conoce que, “el suelo ideal para la construcción es aquel que tenga bajo contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, ya que con la absorción y secado del agua la arcilla expansiva altera su volumen y no lo recupera.” (Arteaga et al., 2011, pág. 47)

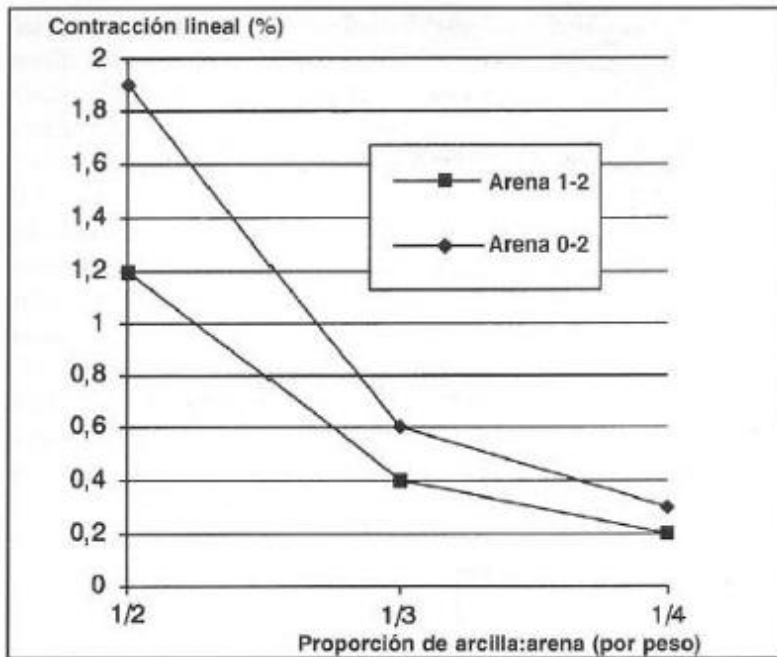
Es importante que el suelo tenga una buena plasticidad y capacidad de compresión. La estabilización con cemento puede ser útil, añadiendo aproximadamente un 15% de cemento al contenido del suelo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC. Se recomienda utilizar suelos que contengan un equilibrio adecuado de arcilla y arena para la fabricación de BTC:

En cuanto a la composición granulométrica, se dice que la tierra tiene arena, limo y arcilla, y su composición general incluye agua y aire; por esta composición es posible su uso, ya que puede ser estabilizada adecuadamente,

de acuerdo con el rango de cohesión, para ser mejorado. Dependiendo del sistema constructivo que se emplee, se tiene en cuenta qué tipo de arcilla se puede usar, según la humedad óptima de compactación. (Arteaga et al., 2011, pág. 57)

Figura 8.

Reducción de retracción añadiendo arena a un suelo arcillo-limoso.



Fuente: Minke (2001)

2.1.8.2. Estabilizadores de suelos. La estabilización de suelos es un proceso que busca modificar las características físicas, químicas o biológicas de un suelo para mejorar sus propiedades, como aumentar su resistencia, reducir la permeabilidad y la compresibilidad. Este proceso es especialmente útil para suelos arcillosos que pueden ser problemáticos en la construcción y otras aplicaciones. Pueden ser procesos homogéneos y procesos heterogéneos; este proceso está compuesto por estabilizantes por consolidación, fricción e impermeabilizantes.

Figura 9.

Suelo mejorado con cemento



Fuente: Piqueras (2025)

- **Estabilizantes por consolidación**

Según Minke (2001), los estabilizantes por consolidación en suelos son sustancias que se aplican para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, aumentando su resistencia y reduciendo la posibilidad de asentamientos bajo cargas. Estos estabilizantes, al penetrar en el suelo y desecarse, generan una adhesión que contribuye a estabilizar la estructura de este a lo largo del tiempo. Sin embargo, la resistencia a la compresión puede también decrecer con esos aditivos especialmente cuando su cantidad es menor al 5%. Esto se debe a que la cal y el cemento interfieren con la cohesión de los minerales de arcilla. Mientras mayor sea el contenido de arcilla mayor debe ser la cantidad de cal o cemento a adicionar.

- **Estabilizantes por fricción**

Los estabilizantes por fricción en suelos son aditivos químicos o materiales que se utilizan para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, como su resistencia y estabilidad, al aumentar la fricción entre las partículas del suelo. Esto se logra mediante la incorporación de materiales como cal o polímeros que ayudan a reducir la plasticidad y mejorar la cohesión del suelo, lo que permite un manejo más eficaz en construcción y obras civiles.

Según los estudios de doctorado de Jan Ruzicka sobre los BTC, llega a la conclusión de:

Cuando es baja la presión (2,0 Mpa, similar a la registrada cuando se procesa el adobe a mano) aplicada en la producción de los bloques, la adición de 5% de cemento o cal sí mejora la resistencia a presión del bloque. Al contrario, cuando se emplea el doble de presión (4,0 Mpa) la diferencia es más pequeña; y cuando es de 8,0 Mpa (ca. 80 kg por cm²) los bloques sin adición realmente logran las mismas resistencias de los que llevan cemento y dejan atrás a los hechos con cal. (Pinos, 2015, pág. 16)

- **Impermeabilizantes**

Es un método eficiente y económico para mejorar las características de los suelos. Este aditivo reduce la capacidad de los suelos para adsorber agua y aumenta su densificación, lo que mejora la capacidad portante y la estabilidad del terreno.

2.1.8.3. Compresión y formación de bloques. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 no tiene normativas específicas para los Bloques de Tierra Comprimida, pero se encontró el diseño de mampostería confinada y el criterio de aceptación a unidades de arcilla cocida.

La Norma dice que:

Las unidades que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener al menos las resistencias mínimas que se proporcionan en la Tabla 2. La resistencia especificada corresponde a la fuerza de rotura dividida entre el área bruta de bloque ó ladrillo. (MIDUVI, 2023, pág. 64)

Tabla 2.

Tabla de resistencias mínimas f'_{cu}

Tipo de Unidad	f'_{cu} (MPa)
Ladrillo Macizo	2
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de hormigón o de arcilla	3

Fuente: MIDUVI (2023)

2.1.8.4. Secado y curado de BTC. Para el periodo de secado una vez que la tierra esté comprimida, el ladrillo de tierra empezará a secarse y perder la humedad poco a poco hasta el momento en el que alcance su equilibrio con el medio ambiente; este intervalo de tiempo se lo puede determinar como su período de secado. Según Minke (2001), dice que mientras mayor la humedad mayor la cantidad de agua absorbida por el material. Si la humedad del aire reduce, el material devolverá agua.

El periodo de secado del bloque de tierra comprimida generalmente oscila entre 14 y 30 días. Durante este tiempo, se aplica un proceso de secado a temperatura ambiente para asegurar que los bloques tengan la consistencia adecuada para su uso en obras. Es aconsejable verificar esta información con fuentes específicas según el contexto de construcción.

En cambio, para el periodo de curado se tiene muy poca información sobre los BTC, pero se recomienda que se seque en la sombra para evitar la pérdida de humedad y posibles retracciones del material arcilloso.

El ladrillo BTC al ser una mezcla de tierra con cemento, es de importancia determinar las acciones positivas sobre la resistencia a compresión de los elementos, como referencia sabemos que las probetas de hormigón son curadas por inmersión total de agua durante 28 días, haciendo que el elemento esté hidratado, pero en este caso no puede ser aplicado de la misma manera a los BTC.

Se debe evitar que el elemento pierda agua por evaporación por eso se tomó la decisión de “curar los ladrillos de BTC en sombra” utilizando un plástico que sirve para guardar alimentos, este plástico tiene la cualidad de adherirse firmemente haciendo que no deje escapar el agua. Cuando “se pesa diariamente los ladrillos en una balanza digital de 2g de precisión observándose que no existe variación de peso en los 28 días de curado”. (Pinos, 2015)

2.1.9. Normativas

Numerosos países cuentan hoy con normas técnicas para la construcción con tierra como Nueva Zelanda siendo este el más relevante, ya que incluyeron en sus 3 tomos requisitos de diseño y métodos de ensayo para muros de adobe, tierra vertida y tapia.

Tabla 3.

Listado de normas y reglamentos internacionales.

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapia	Notas
Brasil	NBR 8491, 1986.	ABNT	7	X		X		BTC estabilizado con cemento específica, métodos de ensayo.
	NBR 8492, 1986.		8					Procedimiento fabricación BTC con prensa manual/hidráulica
	NBR 10832, 1989		9					
	NBR 10833, 1989		10					
	NBR 10834, 1994.		11					Especificaciones y métodos de ensayo de bloques de suelo-cemento
	NBR 10835, 1994		12					
	NBR 10836, 1994		13					
	NBR 12023, 1992		14					Métodos de ensayo para suelo-cemento
	NBR 12024, 1992		15					
	NBR 12025, 1990		16					
	NBR 13554, 1996		17					
	NBR 13555, 1996		18					
	NBR 13553, 1996		19				X	Tapia con cemento
Colombia	NTC 5324,2004	ICONTEC	20	X		X		Estabilizado con cemento
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	CID	21		X	X	X	Reglam. Estatal de Nuevo México.
EEUU	ASTM E2392 M-10	ASTM	22		X		X	
España	UNE 41410:2008	AENOR	23			X		Primera norma Europea

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapial	Notas
Francia	XP P13-901,2001	AFNOR	24			X		Norma experimental
India	IS 2110 : 1980	BIS	25	X			X	Paredes de suelo-cemento
India	IS 1725 : 1982.	BIS	26	X		X		
India	IS 13827 : 1993	BIS	27		X		X	Directrices resistencia a terremotos
Italia	Ley nº 378, 2004		28		X	X	X	Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
Italia	L.R. 2/06, 2006		29					
Kenya	KS 02-1070: 1999.	KEBS	30	X		X		
Nigeria	NIS 369:1997.	SON	31	X		X		
Nueva Zelanda	NZS 4297, 1998.	SNZ	32		X	X	X	
	NZS 4298, 1998.		33					
	NZS 4299, 1999.		34					
Perú	NTE E 0.80, 2000	SENCICO	35		X			
	NTP 331.201, 1979	INDECOPI	36		X			
	NTP 331.202, 1979		37	X				
	NTP 331.203, 1979		38					
Regional África	ARS 670, 1996	ARSO	39			X		
	ARS 671, 1996		40					
	ARS 672, 1996		41					
	ARS 673, 1996		42					
	ARS 674, 1996		43					
	ARS 675, 1996		44					
	ARS 676, 1996		45					
	ARS 677, 1996		46					
	ARS 678, 1996		47					
	ARS 679, 1996		48					
	ARS 680, 1996		49					
	ARS 681, 1996		50					
	ARS 682, 1996		51					
	ARS 683, 1996		52					
Sri Lanka	SLS 1382-1:2009	SLSI	53	X		X		Bloques de suelo comprimido estabilizados
	SLS 1382-2:2009		54					
	SLS 1382-3:2009		55					
Túnez	NT 21.33:1996	INNORPI	56			X		En francés
	NT 21.35:1996		57					En francés
Turquía	TS 537, 1985.	TSE	58	X	X			En turco

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapial	Notas
	TS 2514, 1985.		59					
	TS 2515, 1985.		60					
Zimbabwe	SAZS 724, 2001.	SAZ	61				X	

Fuente: J. Cid et al. (2011)

En Ecuador, existe una ausencia de normativa técnica aplicable al BTC. Por esto este autor no proporciona normas en las que estén relacionadas con el BTC.

En función de las normativas disponibles, podemos acotar que tanto las normativas brasileñas como la colombiana hacen referencia al cemento como elemento de estabilización de suelos, mientras que la norma española permite la utilización de otros aglomerantes de origen vegetal ensayados en laboratorio (Pacheco, 2018).

En todas las normas se observa el empleo del BTC como muros resistentes, que a su vez también se utilizan como muros no resistentes. Según Cid (2011), algunas normas limitan la altura para muros de carga a dos plantas como máximo (21) o no debiendo exceder los 6,5 m de altura desde la parte superior de la cimentación hasta la parte alta del muro de tierra (30). En algunas ocasiones se establecen categorías de edificios como en las normas NZS (32-34), categoría normal una o dos alturas cuyo requisito son unas propiedades mínimas de uso, superficie altura de muros, espesores, carga, etc. y una. Y una categoría especial que exceden todas las características de la categoría normal.

2.2. Marco Legal

2.2.1. Normas Técnicas

- **American Society for Testing and Materials – ASTM C39/C39M-21: Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón.**

Esta norma internacional fue desarrollada de conformidad con los principios internacionalmente reconocidos sobre normalización establecidos en la Decisión sobre Principios para el Desarrollo de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio (ASTM International, 2014).

- **American Society for Testing and Materials – ASTM C62-04: Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale).**

Según ASTM International (2012):

Esta especificación abarca los ladrillos destinados a mampostería estructural y no estructural, donde la apariencia externa no es un requisito. Los ladrillos son unidades prismáticas disponibles en una variedad de tamaños, formas, texturas y colores. Esta especificación no abarca los ladrillos destinados a ser utilizados como revestimientos o donde la apariencia superficial sea un requisito (véase la Especificación C 216). Esta especificación no abarca los ladrillos destinados a ser utilizados como adoquines (véase la Especificación C 902)."

- **American Society for Testing and Materials – ASTM C67/C67M-21: Métodos de prueba estándar para el muestreo y prueba de ladrillos y tejas de arcilla estructural.**

Según ASTM International (2009):

Estos métodos de ensayo abarcan los procedimientos para el muestreo y ensayo de ladrillos y tejas de arcilla estructural. Los ensayos incluyen el módulo de ruptura, la resistencia a la compresión, la absorción, el coeficiente de saturación, el efecto de la congelación y descongelación, la eflorescencia, la tasa inicial de absorción y la determinación del peso, el tamaño, la deformación, el cambio de longitud y las áreas vacías. Para estos ensayos, se

utilizarán como muestras de ensayo ladrillos, tejas o unidades de mampostería maciza de tamaño real. Deberán ser representativas del lote de unidades del que se seleccionarán en cuanto a la gama de colores, texturas y tamaños, y deberán estar libres de suciedad, barro, mortero u otros materiales extraños no asociados al proceso de fabricación, o haber sido cepillados para eliminarlos.

- **Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SE-MP: Mampostería estructural.**

Según MIDUVI (2014), esta norma regula el diseño y construcción de estructuras de mampostería, aplicable también a sistemas constructivos con bloques de tierra comprimida si cumplen con requisitos técnicos. Aunque no menciona explícitamente el BTC, los principios generales de diseño estructural son aplicables.

- **Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-HS-EE: Eficiencia energética.**

Según MIDUVI (2018), esta norma establece los criterios mínimos de eficiencia energética en edificaciones, lo cual es clave para evaluar el desempeño térmico de las viviendas construidas con BTC.

2.2.2. Leyes y Reglamentos

- **Código Orgánico del Ambiente.**

Según COA (2017), este cuerpo legal promueve el uso responsable de los recursos naturales y la implementación de tecnologías sostenibles, lo que incluye el uso de materiales alternativos como el BTC.

- **Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.**

Según COOTAD (2019), este código otorga competencias a los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) para emitir normativas sobre uso de suelo y construcción, permitiendo fomentar o regular el uso de materiales como el BTC.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos provenientes de ensayos de laboratorio. Este enfoque permite evaluar de manera objetiva las propiedades físicas y mecánicas del BTC, así como su comportamiento térmico bajo condiciones controladas.

El enfoque cuantitativo es el más adecuado debido a que la investigación busca obtener resultados concretos y medibles sobre la eficiencia energética y la resistencia estructural del BTC, apoyándose en normas técnicas y procedimientos estandarizados.

Se eligió este enfoque por la definición que le dio un autor de la Universidad de Jaén que dice lo siguiente:

La investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables y estudia las propiedades y fenómenos cuantitativos. Entre las técnicas de análisis se encuentran: análisis descriptivo, análisis exploratorio, inferencial univariable, inferencial multivariado, modelización y contrastación. (Universidad de Jaén, s. f.)

3.2. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo, ya que se enfocará en caracterizar las propiedades del BTC mediante ensayos de laboratorio, sin buscar establecer relaciones causales complejas.

Este tipo de alcance permite recopilar, organizar y analizar información técnica

sobre el desempeño del BTC, con el objetivo de describir su posible utilidad como material alternativo en la construcción de viviendas en climas cálidos como el de Milagro.

Se eligió el alcance de tipo descriptivo por la definición dicha por Galarza (2020):

En este alcance de la investigación, ya se conocen las características del fenómeno y lo que se busca, es exponer su presencia en un determinado grupo humano. En el proceso cuantitativo se aplican análisis de datos de tendencia central y dispersión. En este alcance es posible, pero no obligatorio, plantear una hipótesis que busque caracterizar el fenómeno del estudio. En la investigación con alcance descriptivo de tipo cualitativo, se busca realizar estudios de tipo fenomenológicos o narrativos constructivistas, que busquen describir las representaciones subjetivas que emergen en un grupo humano sobre un determinado fenómeno. (págs. 2-3)

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

La técnica principal utilizada para obtener los datos será el ensayo de laboratorio, el cual permite analizar de manera precisa las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del bloque de tierra comprimida.

- Ensayo de compresión simple: Se utilizará para determinar la resistencia mecánica del BTC, de acuerdo con normas técnicas nacionales e internacionales.
- Ensayo de conductividad térmica: Permitirá evaluar la capacidad aislante del material.

Estos ensayos se realizarán en laboratorios de la facultad, con bloques elaborados en condiciones controladas, siguiendo las recomendaciones técnicas establecidas para este tipo de material. Se sabe que los “ensayos de compresión utilizan máquinas para este tipo de ensayos para determinar el comportamiento del

material bajo una carga de presión en aumento constante. Los ensayos de compresión evalúan la seguridad, durabilidad e integridad de materiales y componentes.” (ZwickRoell, s. f.)

3.4. Población y muestra

La población de esta investigación está compuesta por los bloques de tierra comprimida, los cuales serán objeto de estudio en laboratorio.

Dado que no se cuenta con un registro amplio de viviendas construidas con BTC en la localidad, se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia, en el cual se elaborarán manualmente las unidades de muestra (bloques) en base a materiales y técnicas locales, para someterlos a los respectivos ensayos.

Esta muestra contará con un total de 3 bloques de tierra comprimida en donde se participarán para el ensayo de compresión, otro bloque para el ensayo de transmitancia térmica, lo que daría 4 bloques de tierra comprimida para los ensayos.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1. Presentación y análisis de resultados

4.1.1. *Ensayos de calidad para bloques y ladrillos*

Según la norma americana ASTM C62 (2012), parte esencial del control de calidad de ladrillos utilizados en construcción estructural consiste en verificar su resistencia a compresión. Esta especificación establece niveles mínimos de fuerza necesaria para que un ladrillo sea apto para obras estructurales. El cumplimiento de estos requisitos garantiza que el material pueda soportar cargas sin fallar y asegurar la seguridad del edificio.

4.1.1.1. Resistencia a la compresión. Este ensayo permite medir la máxima carga que un bloque puede soportar antes de fracturarse. De acuerdo con ASTM C62 (2012), para ladrillos clasificados como Grade SW (Severe Weathering) la resistencia mínima promedio debe alcanzar aproximadamente 20,7 MPa (3000 psi), considerando cinco muestras y sin que ninguna caiga por debajo de los 17,2 MPa (2500 psi). Este margen asegura que el ladrillo sea duradero ante condiciones climáticas adversas y uso estructural intenso.

Evaluar la resistencia a compresión permite también comparar entre diferentes materiales como el BTC y el ladrillo cocido. Aunque el BTC no esté explícitamente cubierto por ASTM C62 (2012), aplicar criterios similares en ensayos de compresión permite validar su adecuación estructural en proyectos de construcción. A continuación, se presenta los valores mínimos de resistencia a la compresión para ser considerados en la construcción en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resistencia a la compresión.

Materiales	Resistencia a la compresión (Mpa)
Ladrillo Tradicional	6.90 Aprox.
BTC (sin cemento)	6.90 Aprox.
BTC (con cemento)	10,34
BTC (cemento + cascarilla de arroz)	10,34

Fuente: Ramos y López (2019)

Los resultados obtenidos de Ramos y López (2019), revelan que los bloques fabricados únicamente con tierra comprimida mostraron una resistencia mecánica a compresión significativamente mayor que los ladrillos cocidos tradicionales, incluso duplicando su capacidad estructural. Aun así, el rendimiento fue más alto en los bloques BTC que contenían estabilizantes, tanto en los que incorporaban cemento como en los que además sumaban cascarilla de arroz. Estas variantes presentaron diferencias notorias respecto a las piezas convencionales de arcilla cocida, demostrando un comportamiento mecánico superior.

En base a los resultados de Ramos & López (2019), concluyen que los BTC estabilizados, tanto con cemento como con cascarilla de arroz, superaron con holgura los valores mínimos exigidos por la norma ASTM C62 (2012), lo que los hace apropiados para su utilización en interiores o en construcciones protegidas de condiciones climáticas severas. Por el contrario, los ladrillos tradicionales de arcilla cocida no alcanzaron los parámetros mínimos requeridos por la normativa, lo que limita su uso estructural bajo estándares técnicos.

A continuación, el ensayo de resistencia a la compresión realizado al BTC en este estudio refleja un valor relativamente bajo en comparación con los resultados reportados por otros autores. Esto se debe a que, por cuestiones de tiempo y disponibilidad de materiales, no fue posible elaborar el bloque con una tierra previamente caracterizada ni con las proporciones óptimas de estabilización recomendadas en la literatura. En consecuencia, el BTC ensayado corresponde a una muestra genérica, elaborada de manera experimental sin un control riguroso en su

composición, lo que explica que su esfuerzo a la compresión sea inferior al esperado. Sin embargo, diversos estudios demuestran que, cuando se utilizan suelos seleccionados y proporciones adecuadas de estabilizantes, los BTC alcanzan resistencias superiores a las del ladrillo artesanal y cumplen con las exigencias normativas para ser empleados en sistemas constructivos seguros y sostenibles como lo muestran los datos de los autores. Por lo tanto, el bajo desempeño obtenido en esta prueba no invalida el potencial del BTC, sino que resalta la importancia de un proceso de diseño y fabricación adecuado para optimizar sus propiedades mecánicas.

Tabla 5.

Ensayo de resistencia a la compresión de bloques

Elemento	Descripción	Carga Máxima	Esfuerzo Kg/Cm2
Muestra - 1	Bloque De Arcilla (6,0X18,0X14,0) cm.	2590	24,0

Elaborado por: Cadena (2025)

4.1.1.2. Higroscopicidad y comportamiento ante humedad. La higroscopicidad se entiende como la capacidad de un material para absorber y liberar vapor de agua en función de la humedad relativa del ambiente, sin requerir un contacto directo con agua líquida. En los BTC, esta propiedad es determinante, ya que influye directamente en su durabilidad, estabilidad dimensional, conductividad térmica y en el confort interior de las edificaciones. Bruno et al. (2020) observaron que los BTC estabilizados mostraron una menor adsorción de vapor y una mejor resistencia frente al agua en comparación con bloques no estabilizados, lo que evidencia la importancia de controlar esta propiedad para garantizar desempeño en climas húmedos.

Investigaciones previas han señalado que el uso de aditivos y fibras naturales puede mejorar el comportamiento higroscópico de los BTC, disminuyendo su sensibilidad frente a cambios bruscos de humedad. Taallah et al. (2014) concluyeron que la incorporación de fibras de palma datilera en bloques de tierra comprimida permitió regular la adsorción de humedad y mantener mejores propiedades mecánicas en ambientes húmedos.

Por lo tanto, el estudio de la higroscopicidad en el BTC resulta esencial no solo para evaluar su resistencia y durabilidad en ambientes húmedos, sino también para comprender cómo esta propiedad incide en el desempeño higrotérmico global de las edificaciones. Este aspecto enlaza directamente con la comparación frente a materiales convencionales, como el ladrillo de arcilla, que presentan menores fluctuaciones frente a la humedad, pero también menor capacidad de regulación térmica natural. En consecuencia, comprender y controlar el comportamiento higroscópico del BTC permite plantear soluciones constructivas más sostenibles y adaptadas a las condiciones climáticas de la región de estudio.

Figura 10.

Vista de un murete de ladrillo con humedad



Fuente: Soluciones Especiales (2025)

4.1.1.3. Absorción de agua. El ensayo de absorción evalúa la capacidad del ladrillo o bloque para tomar agua bajo condiciones de inmersión. Según la ASTM C67 (2009), se mide la absorción de agua fría en 24 horas y tras hervir durante cinco horas, lo que permite calcular el coeficiente de saturación, indicador de durabilidad frente a ciclos de humedad y helado. Un alto porcentaje de absorción (por ejemplo, superior al 17 %) sugiere que el material puede degradarse rápidamente, especialmente frente a cambios climáticos. Ensayos de absorción ayudan a determinar la necesidad de estabilización, impermeabilización o protección del BTC para garantizar su longevidad.

Por otro lado, los bloques que sí contenían cemento mostraron un comportamiento más estable frente a la absorción, ubicándose dentro de un rango considerado como de intemperismo moderado. En base a estos resultados afirman que estos bloques pueden emplearse en muros expuestos a condiciones externas con niveles de humedad no extremos, sin comprometer su integridad estructural.

En conclusión, la investigación resalta la importancia de incluir un material estabilizante —como cemento Portland o cascarilla de arroz— durante la fabricación de BTC. La presencia de estos elementos mejora significativamente su desempeño mecánico y resistencia al agua, garantizando su durabilidad y adecuación para uso estructural, especialmente en zonas con exposición climática moderada o elevada.

Tabla 6.

Resultados de ensayos de absorción de agua en BTC

Materiales	Absorción capilar (%)		Coeficiente de saturación	Resistencia a compresión (MPa)
	Inmersión agua fría	Inmersión agua hirviendo		
Ladrillo tradicional	23	26	0,87	3,65
BTC (sin cemento)	No apto	No apto	No apto	6,9
BTC (con cemento)	21	22	0,95	11,56

Materiales	Absorción capilar (%)		Coeficiente de saturación	Resistencia a compresión (MPa)
	Inmersión agua fría	Inmersión agua hirviendo		
BTC (cemento+cascarilla de arroz)	22	24	0,92	12,72

Fuente: Muniz et al. (2022)

4.1.1.4. Erosión y resistencia al desgaste. La erosión superficial, especialmente en ambientes con fuerte lluvia o viento cargado de partículas, puede comprometer la integridad de los bloques. Aunque la norma ASTM C62 (2012) no define un ensayo específico de erosión, se recurre al coeficiente de saturación y al test de congelación-descongelación de ASTM C67 (2009) como indicadores indirectos de durabilidad de frente a la degradación superficial. El ciclo de congelación y descongelación permite simular desgaste acelerado, midiendo la pérdida de masa tras múltiples ciclos.

4.1.2. Impacto ambiental

La fabricación de BTC se ha posicionado como una alternativa sostenible frente a otros materiales de construcción convencionales, principalmente por su bajo impacto ambiental. A diferencia del ladrillo cocido, cuya elaboración demanda altas temperaturas y un considerable consumo de combustibles fósiles, el BTC se produce mediante un proceso en frío que reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta característica lo convierte en un material ideal para proyectos comprometidos con la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono.

Uno de los factores más relevantes en términos ecológicos es el origen de las materias primas. El BTC se elabora mayoritariamente con suelos locales, lo que disminuye la necesidad de transporte y, por ende, la contaminación derivada de este. Además, cuando se incorpora cemento en proporciones controladas o se utilizan aditivos naturales como la cascarilla de arroz, es posible mantener un equilibrio entre resistencia estructural y respeto ambiental, evitando el uso excesivo de recursos

industriales. Esta combinación puede incluso valorizar residuos agroindustriales que normalmente se desechan.

Por otro lado, la reutilización de suelos y el mínimo uso de agua durante el proceso de fabricación convierten al BTC en una solución coherente con los principios de la construcción sustentable. Además, su capacidad de regular la humedad interior y permitir la transpiración de los muros promueve ambientes habitables más saludables, disminuyendo la necesidad de sistemas de climatización artificial y, por ende, el consumo energético.

A continuación, se presenta la Tabla 11 que sintetiza los principales impactos ambientales asociados a la producción del BTC en comparación con otros materiales de uso común en la construcción, permitiendo observar de forma clara sus ventajas ecológicas.

Figura 11.

Impacto ambiental por metro cuadrado de muro.



Fuente: Muniz et al. (2022)

4.1.3. Costos.

Uno de los aspectos más relevantes en la elección de materiales de construcción es su costo por metro cuadrado, ya que incide directamente en la viabilidad económica de un proyecto. En este sentido, resulta imprescindible analizar no solo el valor monetario de los materiales, sino también su rendimiento por metro cuadrado y las dimensiones que ofrecen. Estos factores permiten evaluar de manera más precisa el equilibrio entre inversión y eficiencia constructiva.

Los materiales tradicionales como el ladrillo cocido y el bloque de concreto presentan precios relativamente accesibles, sin embargo, su desempeño térmico, impacto ambiental y cantidad necesaria por metro cuadrado pueden variar significativamente respecto al BTC. Aunque este último presenta un costo unitario mayor, su mayor cantidad de bloques por metro cuadrado y sus beneficios ambientales y térmicos pueden justificar la inversión en proyectos orientados a la sostenibilidad.

Asimismo, la elección del material adecuado debe considerar no solo el costo inicial, sino también el ahorro potencial en etapas posteriores, como en la climatización de los espacios, la durabilidad del sistema constructivo y el menor requerimiento de mantenimiento. En este contexto, el BTC representa una alternativa competitiva, especialmente en climas cálidos o zonas con necesidades de construcción eficiente y de bajo impacto.

A continuación, en la Tabla 7, se presenta un resumen comparativo de los costos estimados por metro cuadrado, las medidas de cada tipo de bloque y la cantidad requerida para cubrir una superficie estándar. Esta información facilita la evaluación técnica y económica entre las opciones disponibles.

Tabla 7.

Cuadro de costo por metro cuadrado de los materiales

Material	Costo por metro cuadrado	Medidas (cm) (ancho, largo, alto)	Bloques por metro cuadrado
Ladrillo cocido	\$407 - \$703	11x24x5	37
Bloque de concreto	\$650 - \$897	19x38x19	13
BTC	\$1040 - \$1300	12,5x25x7	52

Fuente: Muniz et al. (2022)

Al comparar los materiales analizados, se observa que el BTC, a pesar de tener un costo por metro cuadrado más elevado, ofrece una mayor cantidad de unidades por superficie y dimensiones que permiten una mejor adaptabilidad constructiva. Por otro lado, el ladrillo cocido y el bloque de concreto presentan precios más bajos, pero requieren una menor cantidad de unidades, lo que podría impactar en la velocidad de ejecución y en el diseño estructural. Esta comparación evidencia que la elección del material no debe centrarse únicamente en el costo inicial, sino en un análisis integral que incluya rendimiento, características físicas y beneficios a largo plazo.

4.1.4. Evaluación del comportamiento térmico

En lo que respecta al comportamiento térmico del bloque de tierra comprimida, este dependerá principalmente de su densidad. Los BTC poseen características térmicas que los hacen destacar como una opción interesante en la construcción sostenible. Debido a su alta masa y densidad, los bloques de tierra comprimida tienen una buena capacidad de almacenamiento de calor, lo que les confiere una alta inercia térmica. Esto significa que pueden absorber calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche, lo que ayuda a mantener una temperatura interior más estable y cómoda en el interior de los edificios. Aunque los bloques de tierra comprimida no tienen el mismo nivel de aislamiento térmico que algunos materiales más modernos, como el poliestireno expandido (EPS), la lana de roca o la fibra de vidrio, pueden proporcionar un aislamiento térmico adecuado cuando se combinan con técnicas de diseño adecuadas, como el uso de paredes dobles o el agregado de materiales aislantes adicionales. En términos generales, se puede decir que la tierra es un

material que funciona bien en lo que tiene que ver con el aislamiento térmico e inercia térmica (Peñañiel, 2024).

Figura 12.

Desempeño térmico del BTC comparado con ladrillo cocido y bloque de hormigón



Fuente: Peñañiel (2024)

Los valores de Bestraten et al. (2011) en la Tabla 8, nos da a entender que aunque el comportamiento térmico de un material depende en gran medida tanto del espesor del muro como de su densidad, se ha demostrado que una densidad aproximada de 1700 kg/m³ en los bloques de tierra comprimida permite alcanzar una conductividad térmica de alrededor de 0,81 W/m·K. Este valor resulta favorable al compararlo con los niveles de conductividad térmica que presentan materiales convencionales como el ladrillo de arcilla cocida o los bloques de concreto, posicionando al BTC como una alternativa con mejor eficiencia térmica dentro de soluciones constructivas pasivas.

Tabla 8.

Conductividad en los materiales

Material	Densidad	Conductividad λ
Tapial	1.400-2.000 kg/m ³	0,6 / 1,6 W/mk
BTC	1.700 kg/m ³	0,81 W/mk
Adobe	1.200 kg/m ³	0,46 W/mk
Hormigón Armado	2.300-2.500 kg/m ³	2,3 W/mk
Hormigón En Masa In Situ	2.000-2.300 kg/m ³	1,65 W/mk
Bloque De Hormigón Convencional	860 kg/m ³	0,91 W/mk

Material	Densidad	Conductividad λ
Pared De Ladrillo Macizo	2.170 kg/m ³	1,04 W/mk
Pared De Ladrillo Hueco	670 kg/m ³	0,22 W/mk

Fuente: Bestraten et al. (2011)

A partir del análisis realizado, es evidente que BTC representa una alternativa prometedora frente a los materiales convencionales, tanto en términos de sostenibilidad como de desempeño térmico. Su capacidad de almacenar y liberar calor de forma gradual permite generar ambientes interiores más confortables y estables, lo que es clave en climas cálidos como el de Milagro. Esto no solo contribuye al bienestar de los usuarios, sino que también reduce la dependencia de sistemas de climatización artificial, lo que se traduce en un menor consumo energético.

4.1.5. Eficiencia energética

En la actualidad, uno de los principales desafíos del sector de la construcción es desarrollar soluciones constructivas que permitan reducir el consumo energético en las edificaciones, sin comprometer el confort térmico de los ocupantes. La eficiencia energética en la arquitectura no solo se traduce en una menor demanda de energía para climatización, sino también en una reducción significativa de emisiones de gases contaminantes, contribuyendo así a mitigar el impacto ambiental asociado al uso intensivo de recursos no renovables.

Los materiales de construcción desempeñan un papel fundamental en el comportamiento térmico de una edificación. Su capacidad para regular el paso del calor influye directamente en la necesidad de utilizar sistemas activos de calefacción o refrigeración. En este contexto, los BTC representan una alternativa interesante frente a los materiales convencionales, debido a su masa térmica, baja conductividad y origen natural. Estas propiedades favorecen la estabilidad de la temperatura interior y contribuyen al ahorro energético a lo largo del tiempo.

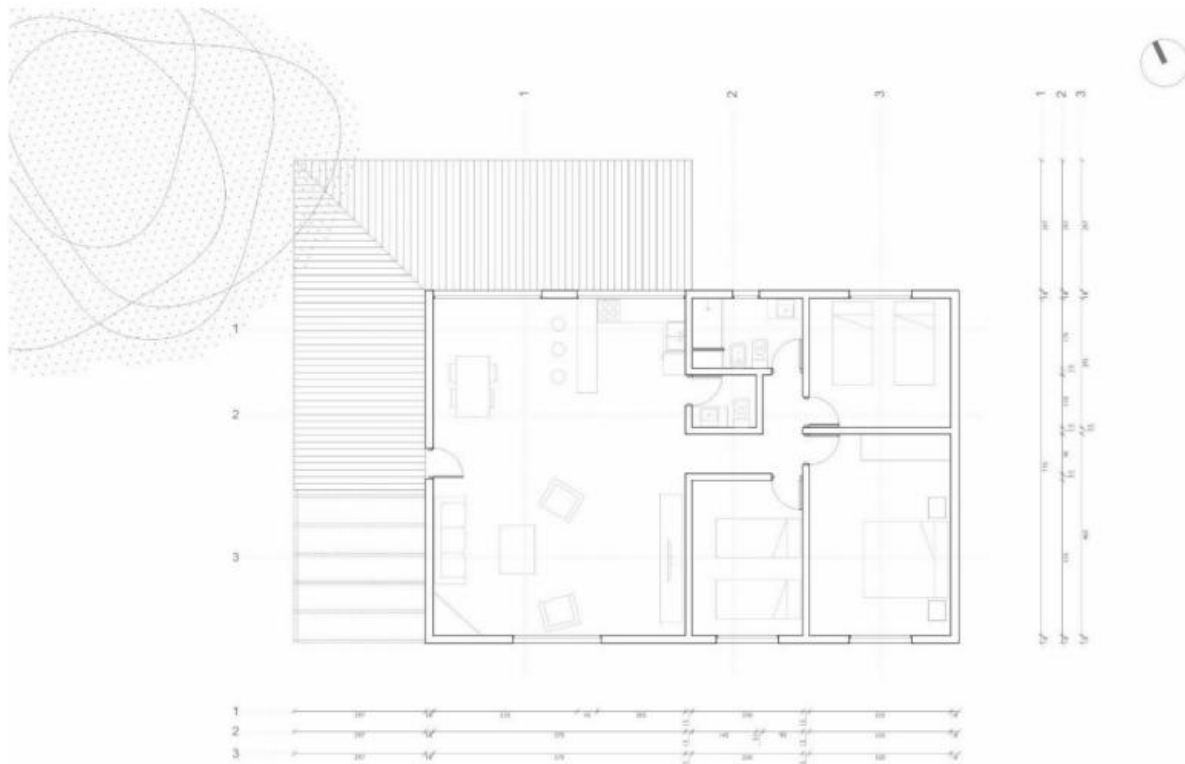
Es por ello que, para evaluar el verdadero aporte del BTC en términos de eficiencia energética, se hace indispensable realizar simulaciones térmicas comparativas. Estas simulaciones permiten analizar el comportamiento de este

material frente a otros sistemas constructivos más comunes como el ladrillo cocido o el bloque de concreto, bajo condiciones climáticas reales. A continuación, se presentan los resultados de dichas simulaciones, que buscan evidenciar el potencial del BTC como solución constructiva sostenible y energéticamente eficiente.

Mediante una simulación realizada por Zubeldía (2019) donde comparaba el consumo energético de un muro simple de ladrillo de espesor 30cm con otro muro simple de Adobe de espesor 30cm en el que, para poder calcular el consumo energético en períodos fríos y períodos calurosos, tomó una vivienda unifamiliar de 100m² como se muestra en la Figura 13.

Figura 13.

Planta modelo elaborada para simulaciones de consumo energético.



Fuente: Zubeldía (2019)

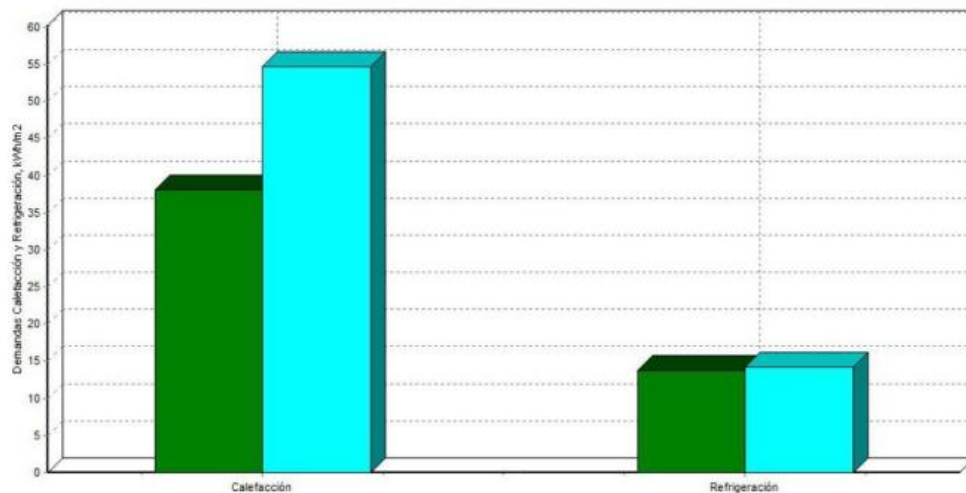
Previamente se ingresaron valores de superficies y orientaciones de cada cerramiento de la envolvente así como su factor de huecos para el modelo de la vivienda ubicada en Montevideo. De igual manera se ingresó el valor Transmitancia térmica (U) de cada cerramiento, para los muros de construcción tradicional se calculó a partir del dato de conductividad térmica aportado por HTERM 3.0 ($\lambda=0.79\text{W/m.k}$ y

$U=2.63\text{W/m}^2\text{k}$) y para el caso de los adobes se calculó la Transmitancia en base a la conductividad térmica resultante de los ensayos (Zubeldía, 2019). Los resultados se observan en la Figura 14 y Figura 15.

Figura 14.

Resultado de la simulación en EDEE con muro tradicional de espesor 30cm

Demandas energéticas de calefacción y refrigeración
 Demanda cal 38,13 kWh/m²-año; Dcal,lim 54,78 kWh/m²-año; CUMPLE
 Demanda ref 13,77 kWh/m²-año; Dref,lim 14,26 kWh/m²-año; CUMPLE

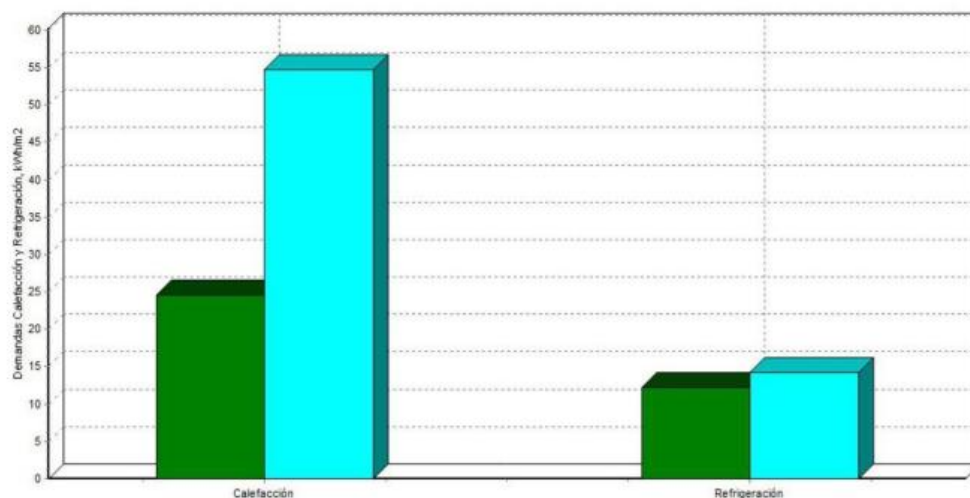


Fuente: Zubeldía (2019)

Figura 15.

Resultado de la simulación en EDEE con muro de adobe de espesor 30cm

Demandas energéticas de calefacción y refrigeración
 Demanda cal 24,58 kWh/m²-año; Dcal,lim 54,78 kWh/m²-año; CUMPLE
 Demanda ref 12,22 kWh/m²-año; Dref,lim 14,26 kWh/m²-año; CUMPLE



Fuente: Zubeldía (2019)

Agrega que “resultaron favorables las simulaciones de consumo energético e higrotérmico, en las cuales los consumos energéticos en los períodos frío y caluroso fueron menores con muros de adobe así como el riesgo de condensación de agua dentro de los mismos.” (Zubeldía, 2019)

La presente investigación buscó evaluar de manera experimental la transmitancia térmica del BTC, con el fin de determinar su capacidad de aislamiento frente a condiciones de temperatura elevada y verificar su eficiencia como material constructivo sostenible. Para el análisis se aplicó la norma ISO 8302 como referencia metodológica, aunque el procedimiento se adaptó a las condiciones del estudio. El ensayo consistió en someter una plancha de BTC a una temperatura constante de 300 ± 10 °C, partiendo de una temperatura inicial de 28,8 °C. Durante el proceso, se registraron variaciones de temperatura en intervalos de cinco minutos, lo que permitió identificar el comportamiento progresivo del material frente a un flujo térmico continuo. Los datos obtenidos reflejan la respuesta del BTC en estas condiciones controladas y se presentan en la siguiente tabla, donde se evidencia su capacidad de resistencia y adaptación térmica.

Tabla 9.

Ensayo de transmitancia térmica al BTC

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
5	32
10	35
15	37,5
20	39,5
25	41,3
30	42,7
35	44
40	45,9
45	46,7
50	49,9
55	50,9
60	52,3

Tiempo (min)	Temperatura (°C)
65	54,4
70	56
75	57,1
80	58,5
85	59,9
90	59,6
95	57,3
100	57,7

Elaborado por: Cadena (2025)

Como resultado podemos ver que el BTC alcanzó un equilibrio térmico aproximadamente a los 59 °C, lo que indica que la muestra ya no continuó absorbiendo calor de manera apreciable. Este comportamiento confirma la capacidad aislante del material, pues retardó la transferencia de calor hasta estabilizarse. Para determinar la conductividad térmica (k) del BTC, se debe aplicar la ecuación de Fourier en estado estacionario:

$$k = \frac{q \times e}{A \times \Delta T}$$

Donde:

q = flujo de calor (W) que atraviesa la muestra

e = espesor del bloque (m)

A = área expuesta (m²)

ΔT = diferencia de temperatura entre la cara caliente y la cara fría (°C)

Con los valores de la Tabla 9, el sistema alcanzó estado estacionario alrededor de 59,6 °C en la cara fría, por lo que se procedió a calcular las propiedades térmicas en régimen permanente. La conductividad del BTC se determinó con la ecuación de Fourier y la transmitancia como $U = \frac{P}{(A \times \Delta T)}$. Para el conjunto de dimensiones y gradiente térmico del ensayo ($e = 0,05m$; $A = 0,70m^2$; $\Delta T = 240,4K$), las expresiones quedan $k=0,000297P$ y $U=0,00594P$. El valor numérico final depende del flujo de calor efectivo

que atravesó la muestra; por ello, en futuras réplicas se recomienda instrumentar la placa con wattímetro, aislamiento perimetral o, alternativamente, emplear un medidor de flujo de calor (ISO 8301) para registrar P y así reportar k y U con incertidumbre trazable.

Estos resultados corroboran la eficiencia del adobe como material de construcción en climas donde se busca mantener un confort térmico sin una alta dependencia de sistemas mecánicos de climatización. Además, se destaca que ambos materiales cumplen con los límites establecidos en cuanto a demanda energética anual, sin embargo, el adobe sobresale al reducir más eficazmente el consumo energético general, lo que lo convierte en una opción más sostenible y eficiente a largo plazo.

4.2. Propuesta

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación comparativa entre el BTC y los materiales tradicionales de construcción, se propone el uso del BTC como una solución viable y sostenible para la construcción de viviendas en el cantón Milagro. Esta propuesta busca optimizar el desempeño térmico y energético de las edificaciones, a la vez que se promueve el uso de materiales ecológicos, accesibles y de bajo impacto ambiental.

4.2.1. Uso del BTC como material constructivo principal

Se plantea sustituir progresivamente los sistemas tradicionales de muros portantes de ladrillo de arcilla cocida y bloque de hormigón por muros construidos con BTC, con espesores entre 25 y 30 cm, lo que garantiza una mejora en la inercia térmica y una reducción significativa de la demanda energética de climatización.

Este material, al tener una menor conductividad térmica en comparación con los materiales convencionales, favorece un ambiente interior más confortable, disminuyendo las ganancias térmicas durante el día y conservando mejor el calor durante la noche. Esto reduce el uso de sistemas activos de ventilación o refrigeración, generando así un ahorro energético y económico a largo plazo.

CONCLUSIONES

El BTC demuestra un desempeño mecánico adecuado para construcciones de viviendas de una planta, cumpliendo con los parámetros de resistencia a compresión establecidos en la normativa ecuatoriana y comparándose favorablemente con materiales tradicionales como el bloque de hormigón y ladrillo artesanal, especialmente en contextos donde no se requieren altas exigencias estructurales.

En términos de eficiencia energética, el BTC presenta una transmitancia térmica significativamente menor que los materiales convencionales, lo que contribuye a un mejor aislamiento térmico y a la reducción de la carga térmica en climas cálidos como el de Milagro. Las simulaciones realizadas demostraron que las viviendas construidas con BTC mantienen temperaturas interiores más estables, lo cual reduce la necesidad de ventilación mecánica o sistemas de climatización.

La evaluación ambiental evidencia que la fabricación del BTC tiene un menor impacto ecológico que los bloques tradicionales, debido al uso de materiales locales, bajo consumo energético durante su elaboración y ausencia de procesos de cocción. Esto lo convierte en una alternativa sostenible alineada con los principios de la construcción verde y la economía circular.

El análisis de costos revela que el BTC es competitivo frente a los sistemas tradicionales. Aunque requiere una inversión inicial en moldes y maquinaria básica, su bajo costo de materia prima y su posibilidad de producción in situ lo hacen económicamente viable, especialmente en zonas rurales o urbanas de expansión en donde se busca reducir costos de construcción.

El uso del BTC junto con estrategias de diseño bioclimático mejora significativamente el confort térmico interior, y representa una solución integral para la construcción sostenible en zonas con climas cálidos, como Milagro, promoviendo un modelo habitacional más eficiente, económico y ambientalmente responsable.

La tierra es un recurso ampliamente disponible, económico y con un bajo impacto ambiental. Su extracción y uso no requieren procesos complejos, lo que la convierte en una opción accesible para muchos. Sin embargo, esta misma simplicidad suele generar cierto rechazo en la industria de la construcción moderna, que suele inclinarse por materiales más industrializados y sistemas productivos que priorizan la rentabilidad sobre la sostenibilidad.

RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar el rendimiento del bloque de tierra comprimida en comparación con otros materiales de construcción, es indispensable continuar con estudios que profundicen en sus propiedades.

La información disponible sobre propiedades térmicas es limitada en la bibliografía, y en el contexto nacional no se dispone de datos específicos. Por ello, estos valores representan una base inicial para calcular otros parámetros, como la transmitancia térmica en sistemas constructivos que incorporen bloques de tierra comprimida.

De ser requerido se puede profundizar en el estudio de aditivos y estabilizantes aplicables al bloque de tierra comprimida, ya que su incorporación puede mejorar significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, optimizando así los resultados en los distintos ensayos de resistencia y desempeño térmico.

Es recomendable realizar un estudio geotécnico del suelo disponible en la parcela o terreno destinado a la construcción, con el fin de evaluar su idoneidad para la fabricación de bloques de tierra comprimida. Un suelo con características óptimas puede mejorar considerablemente el desempeño del BTC y, al mismo tiempo, representar un ahorro significativo en el presupuesto al reducir la necesidad de tratamientos o materiales complementarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga, K., Medina, Ó., & Gutiérrez, Ó. (2011). Bloque de tierra comprimida como material constructivo. *Facultad de Ingeniería*, 20(31), 55-68. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940770005.pdf>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Supremo 983 de 12 de abril de 2017*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Registro Oficial No. 303*. Obtenido de <https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>
- ASTM International. (2009). *ASTM C67. Métodos de prueba estándar para el muestreo y prueba de ladrillos y tejas de arcilla estructural*. Obtenido de https://store.astm.org/c0067_c0067m-21.html
- ASTM International. (2012). *ASTM C62. Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)*. Obtenido de <https://store.astm.org/c0062-04.html>
- ASTM International. (2014). *ASTM C39-14. Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de hormigón*. Obtenido de https://store.astm.org/c0039_c0039m-21.html
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes De La Construcción*, 63(523), 5-20. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Bruno, A., Scott, B., & D'Offay-Mancienne, Y. (01 de Diciembre de 2020). Recyclability, durability and water vapour adsorption of unstabilised and stabilised compressed earth bricks. *Mater Struct*, 53(149), 15. doi:<https://doi.org/10.1617/s11527-020-01585-7>
- Cabrera, M. M., & Tello, J. D. (2025). Mejora de las propiedades mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) reforzados con cemento y fibra natural. *[Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Académico UPC. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/654614>
- Cabrera, S., Darras, G., & Losa, N. (2024). Evaluación del proceso de prensado en la fabricación de bloques de tierra comprimida. *Informes De La Construcción*, 76(574), 11. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.6524>
- Cabrera, S., González, A., & Rotondaro, R. (2020). Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo. Obtenido de

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6023/7344>

- Castro, M. F. (2025). *La arquitectura de adobe del pueblo de Taos (EEUU)*. RedHistoria. Obtenido de <https://redhistoria.com/la-arquitectura-de-adobe-del-pueblo-de-taos-eeuu/>
- Cid, J., Mazarrón, F., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.10.011>
- Costa, C., Cerqueira, A., Rocha, F., & Velosa, A. (2018). The sustainability of adobe construction: past to future. *International Journal of Architectural Heritage*, 13(5), 639-647. doi:<https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1459954>
- Dabakuyo, I., Mutuku, R., & Onchiri, R. (2022). Mechanical Properties of Compressed Earth Block Stabilized with Sugarcane Molasses and Metakaolin-Based Geopolymer. *Civil Engineering Journal*, 8(4), 780-795. doi:<https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-04-012>
- Galindo, J., Escorcía, O., & González, A. J. (2023). El Centro Interamericano de Vivienda - CINVA y los orígenes de la experimentación con bloques de tierra comprimida (BTC) en la vivienda social (1953-1957). *Informes de la Construcción*, 75(570), 1953-1957. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.6183>
- Gutiérrez, R. S., & Mújica, J. A. (2012). *Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. Plaza y Valdés. doi:<https://riuat.uat.edu.mx/bitstream/123456789/1500/1/1500.pdf>
- INEC. (2010). *Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010: Datos de Milagro*. Milagro. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/search/censo+2010/>
- MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Seguridad Estructural: Mampostería Estructural (NEC-SE-MP)*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/10.-NEC-SE-MP-Mamposteria-Estructural.pdf>
- MIDUVI. (2018). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Habitabilidad y Salud: Eficiencia Energética (NEC-HS-EE)*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>
- MIDUVI. (2023). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Seguridad Estructural: Vivienda (NEC-SE-VIVIENDA)*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/13.-NEC-SE-VIVIENDA-parte-2.pdf>
- Minke, G. (2001). *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Fin de Siglo. Obtenido de <https://d1.capsf.ar/wp->

content/uploads/sites/3/2021/10/Manual_de_construccion_en_tierra_-_Gernot_Minke_-1.pdf

- Morel, J., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (Diciembre de 2001). Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119-1126. doi:[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)
- Muniz, M., Ibarra, V., Herbon, N., & Rossi, N. (2022). La viabilidad del uso del bloque de tierra comprimida para las cooperativas de construcción por ayuda mutua en Uruguay. (pág. 16). Brasil: Arquisur 2022: Porto Alegre (Sesión temática ST3 – Políticas públicas, habitação e cidade). doi:https://www.sisgeenco.com.br/anais/arquisur/2022/arquivos/GT3_COM_164_347_20220801165233.pdf
- Nagaraj, H., Sravan, M., Arun, T., & Jagadish, K. (Junio de 2014). Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. *Revista Internacional de Entorno Construido Sostenible*, 3(1), 54-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.03.001>
- Neves, C., & Borges, O. (2011). *Técnicas de Construcción de Tierra*. Red Iberoamericana Proterra. Obtenido de https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf
- Pacheco, P. J. (2018). Bloques de tierra comprimida con agregados de residuos de construcción y demolición como sustitución de los agregados tradicionales en la ciudad de Saraguro, Loja, Ecuador. *[Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29382>
- Park, M. Y. (2024). What Is an Adobe House? *Architecture + Design*. Obtenido de <https://www.architecturaldigest.com/story/what-is-an-adobe-house?>
- Peñafiel, J. C. (30 de Abril de 2024). Diseño De Tabiques Modulares Sostenibles Con Bloques De Tierra Comprimida Para Espacios Interiores. *DAYA*. Obtenido de <https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/16/ARTICULO7/>
- Pinos, A. V. (Mayo de 2015). Evaluación estructural del efecto del mortero de pega sobre probetas de muro de ladrillo de tierra compactada bajo esfuerzos de compresión axial. *[Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21772/1/Tesis.pdf>
- Piqueras, V. Y. (2025). *La estabilización de suelos*. Universitat Politècnica de València. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/23/la-estabilizacion-de-suelos/>
- Ramos, B. M., & López, J. C. (30 de Diciembre de 2019). El ladrillo de bloque de tierra comprimida: una alternativa para reducir la carga ambiental. *Innovare*

- Revista*, 8(2), 88-93. Obtenido de <https://revistas.unitec.edu/innovare/article/view/87>
- Ramos, C. (21 de Octubre de 2020). Los alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1-6. doi:<http://orcid.org/0000-0001-5614-1994>
- Reyes, C. W., & Peralta, J. R. (2014). *Análisis De Resistencia a Compresión De Tierra Comprimida Estabilizada Para La Fabricación de Bloques Estructurales*. Repositorio UNPHU. Obtenido de <https://repositorio.unphu.edu.do/bitstream/handle/123456789/749/Ana%cc%81lisis%20de%20resistencia%20a%20compresio%cc%81n%20de%20tierra%20comprimida%20estabilizada%20para%20la%20fabricacio%cc%81n%20de%20bloques%20estructurales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sepúlveda, O. (1986). El espacio en la vivienda social y calidad de vida. *Revista INVI*, 1(2), 10-34. doi:<https://doi.org/10.5354/0718-8358.1986.61937>
- Soluciones Especiales. (Octubre de 2025). *La cura de la humedad. Las etapas a seguir*. Obtenido de <https://www.solucionesespeciales.net/la-cura-de-la-humedad-las-etapas-a-seguir/>
- Taallah, B., Guettala, A., Guettala, S., & Kriker, A. (30 de Mayo de 2014). Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 59, 161-168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.058>
- Universidad de Jaén. (s. f.). *Metodología cuantitativa*. Obtenido de UJA: https://web.ujaen.es/investiga/tics_tfg/enfo_cuanti.html
- Vázquez, M., Guzman, D. S., & Iñiguez, J. M. (2015). Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. *En 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT), Cuenca, Ecuador, 9-13 de noviembre de 2015*. Universidad de Cuenca.
- Zubeldía, G. (2019). *Muros de tierra y eficiencia energética*. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República (UDELAR). Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/35384>
- ZwickRoell. (s. f.). *Ensayo de compresión y máquinas de ensayos de compresión*. Obtenido de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-compresion/#:~:text=Los%20ensayos%20de%20compresi%C3%B3n%20utilizan,integridad%20de%20materiales%20y%20componentes>.

ANEXOS

Anexo 1.

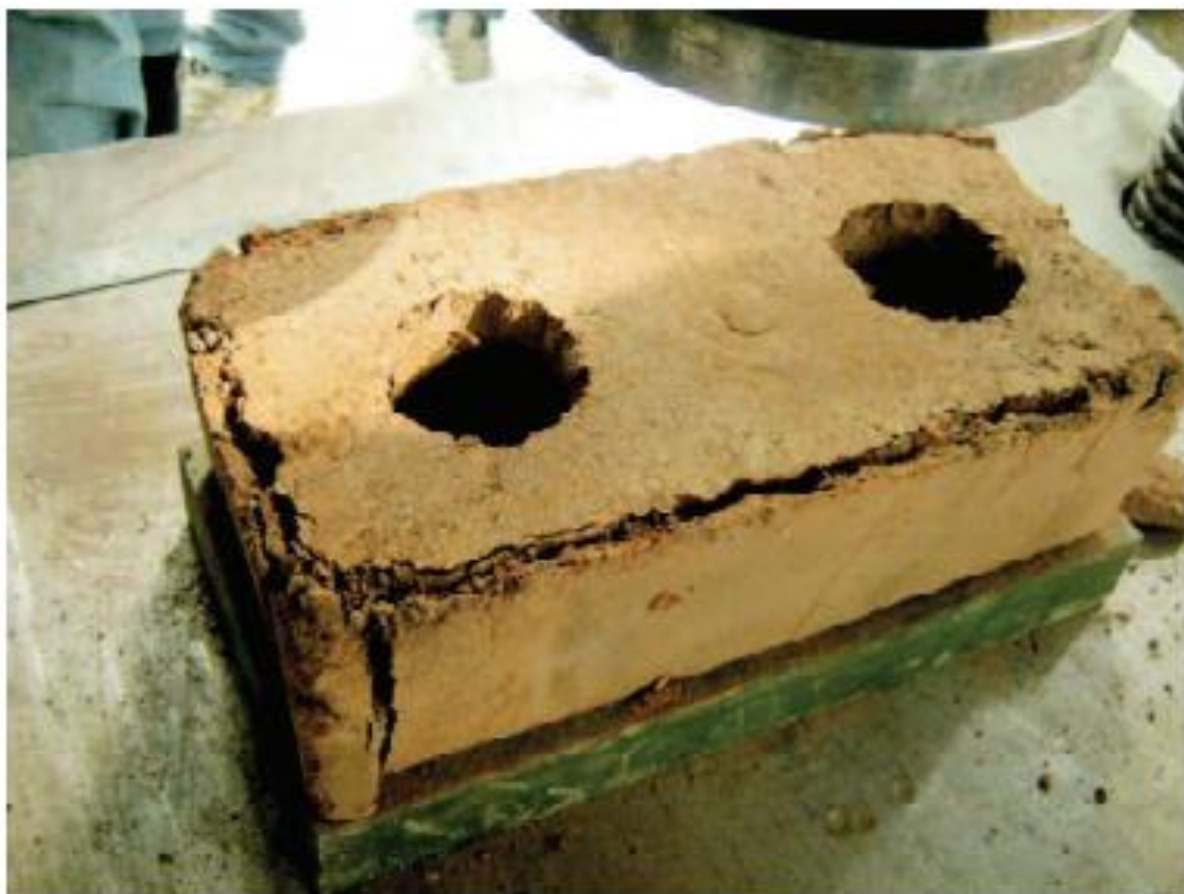
Normas internacionales de ensayos a compresión en BTC.

Norma	País	Año	Probeta de ensayo	Resistencia solicitada (MPa)		Encabezado
				Seco	Saturado	
AFNOR XP P 13-901	Francia	2017	BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material).	2.0 4.0 6.0	1.0 2.0 3.0	Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear neopreno.
NMX C 508	México	2015	BTC entero, en posición horizontal.	3.0 6.0 9.0	-	Sólo si es necesario; empleando un mortero de azufre de 35 Mpa de resistencia.
ABNT NBR 8491	Brasil	2012	BTC partido en 2, asentado con junta de pasta de cemento de 3 mm de espesor.	-	2.0	Remover imperfecciones "raspando" las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.
NMAC 14.7.8	EE UU	2009	BTC entero, en posición horizontal.	2.1	2.1	No se especifica.
UNE 41410	España	2008	BTC entero o medio BTC, en posición horizontal.	1.3 3.0 5.0	-	Remover imperfecciones "raspando" las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.
NTC 5324	Colombia	2004	BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material).	2.0 4.0 6.0	1.0 2.0 3.0	Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear Neopreno.
IS 1795	India	2002	BTC entero, en posición horizontal.	-	2.0 3.5	Placas de madera contrachapada tricapa de 3 mm; o placas de yeso.
NZS 4298	Nueva Zelanda	1998	BTC entero, en posición horizontal y vertical	2.0	-	No se especifica.
RILEM TC 164-EBM	Francia	1997	BTC partido en 2, asentado con junta de mortero cementiceo de 1 cm de espesor.	-	-	Placas de neopreno.
KS 02-1070	Kenia	1993	BTC entero, en posición horizontal y vertical.	2.5	1.5	Madera contrachapada tricapa de 3 mm de espesor.

Fuente: Cabrera et al. (2020)

Anexo 2.

Ensayo de compresión al BTC



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 3.

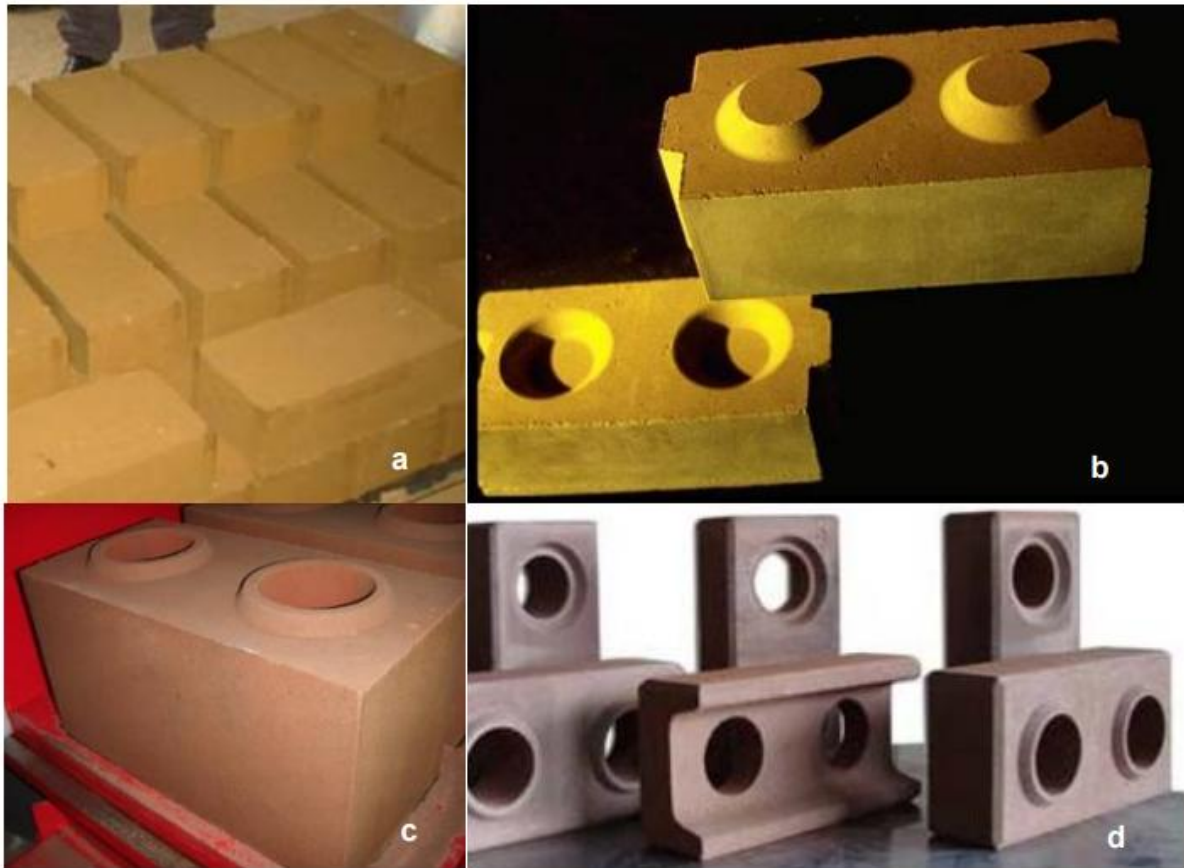
Dosificación al BTC, empleada por empresas de fabricación

Materia prima	Fábrica		
	1	2	3
Tierra Arcillosa (CL)	72 %	31 %	45 %
Tierra Arenosa (SM)	0 %	0 %	45 %
Arcilla (CH)	0 %	24 %	0 %
Arena (SP)	16 %	31 %	0 %
Cemento CPC 40	8 %	10 %	10 %
Cal hidráulica	4 %	5 %	0 %

Fuente: Cabrera et al. (2020)

Anexo 4.

Ejemplos de tipo de fabricación del BTC: a) Macizo con superficie lisa; b) Macizo -con encajes “Bloco Mattone”; c) Con huecos; d) Con huecos y encajes



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 5.

Tamizado manual de la tierra



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 6.

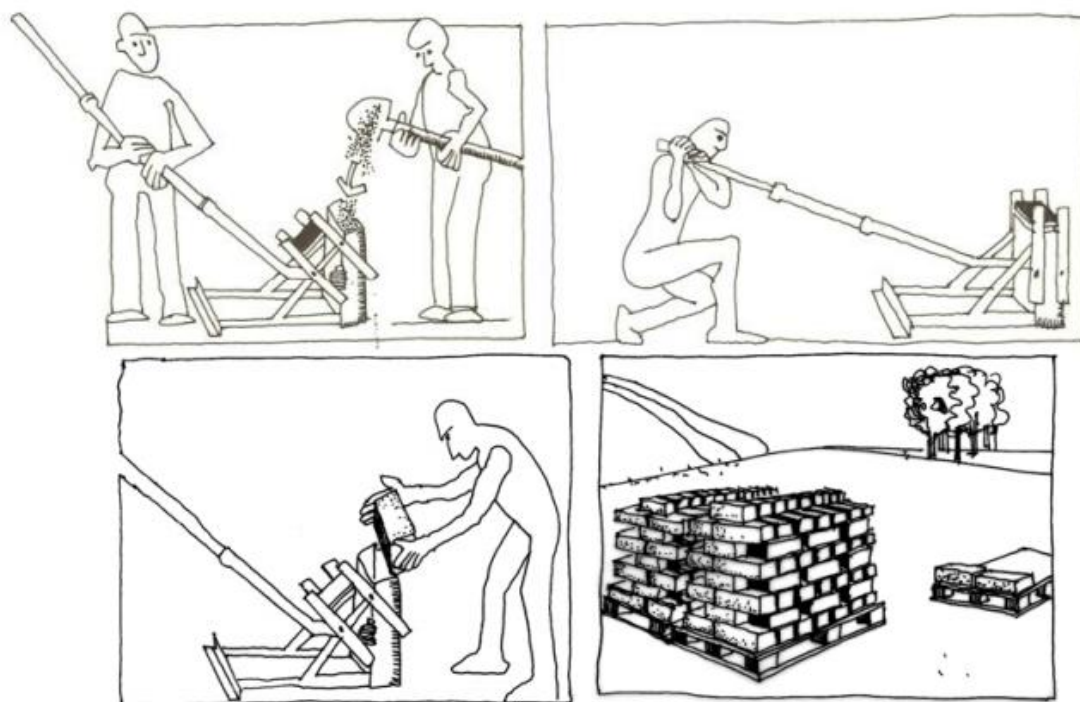
Preparación de mezcla de suelo y cemento



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 7.

Moldeado del BTC en ilustraciones



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 8.

Moldeado de BTC



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 9.

Curado y almacenamiento de los BTC



Fuente: Neves & Borges Faria (2011)

Anexo 10.

Máquina tipo CINVA-RAM para producción manual de los BTC



Fuente: Vásquez (2019)

Anexo 11.

Tableta de BTC



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 12.

Ensayos de resistencia a la compresión del BTC



FREDY H. BANEGAS BUSTAMANTE

ING. CIVIL REG. PROF. 09-5230
URBANDIAZ MZ. L1-V. 38; TELF. 23315971- 0994340172



**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE BLOQUES
ASTM C 140**

SOLICITA:

UBICACIÓN:

FECHA: AGOSTO DE 2025

AREA DE CONTACTO: 108 cm²

NOMENCLATURA DE BLOQUE:

Elemento	DESCRIPCIÓN	Carga Máxima	Esfuerzo Kg/cm ²
MUESTRA - 1	BLOQUE DE ARCILLA (6,0 X18,0 X14,0) cm.	2590	24,0

Elemento	DESCRIPCIÓN	Carga Máxima	Esfuerzo Kg/cm ²
MUESTRA - 2	BLOQUE DE ARCILLA (6,0 X18,0 X14,0) cm.	1950	18,1

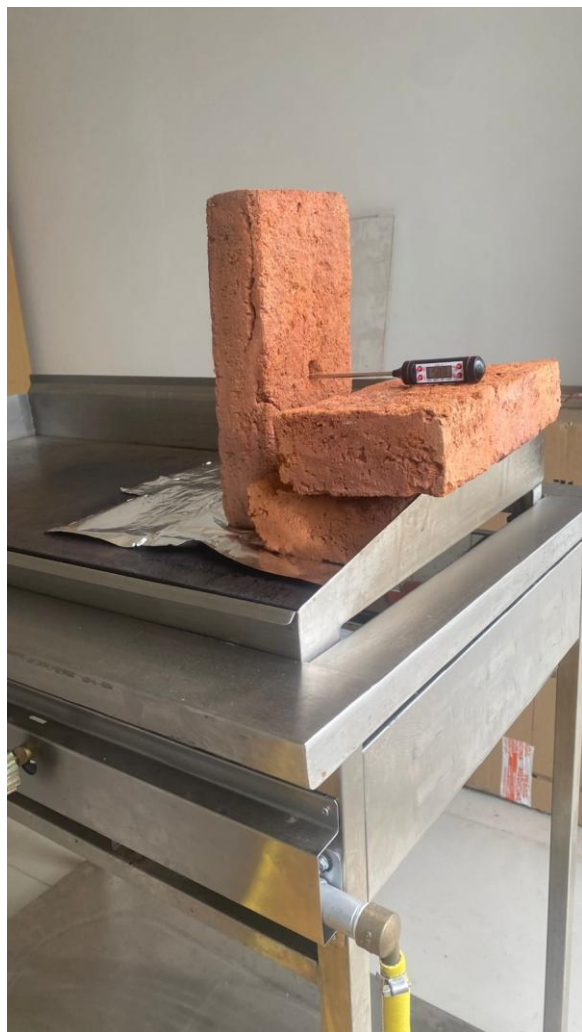
Elemento	DESCRIPCIÓN	Carga Máxima	Esfuerzo Kg/cm ²
MUESTRA - 3	BLOQUE DE ARCILLA (6,0 X18,0 X14,0) cm.	2431	22,5

LOS ESPECIMENES FUERON TRAIDOS POR EL INTERESADO

ING. FREDY BANEGAS BUSTAMANTE
REG. PROF. 09-5230

Anexo 13.

Ensayo de transmitancia térmica al BTC



Anexo 14.

Ensayo de compresión de muretes



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 15.

Falla en ensayo de compresión de murete



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 16.

Ensayo de compresión diagonal de murete



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 17.

Falla en ensayo de compresión diagonal a murete



Fuente: Medina et al. (2011)

Anexo 18.

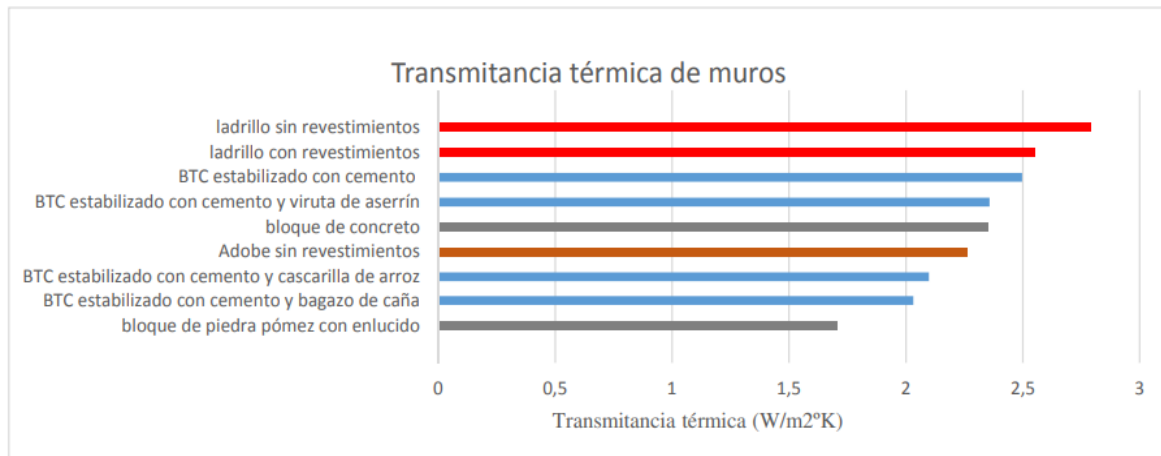
Valores calculados de transmisión térmica y valores obtenidos de otros autores

Nombre		espesor (mm)	Conductividad Térmica (W/m ² K)	Transmitancia térmica (U) (W/m ² °K)	Fuente
BTC estabilizado con cemento	TC10	14	0,35	2,50	1
BTC estabilizado con cemento y cascarilla	TCR2	14	0,29	2,10	1
BTC estabilizado con cemento y bagazo de caña	TCB2	14	0,28	2,03	1
BTC estabilizado con cemento y viruta de madera	TCA2	14	0,33	2,36	1
Adobe sin revestimientos	Adobe	30	0,76	2,26	2
ladrillo sin revestimientos	ladrillo	15	0,72	2,79	2
bloque de piedra pómez con enlucido	enlucido	20	0,465	1,71	3
	bloque de pómez	90	0,273		
	enlucido	20	0,465		
ladrillo con revestimientos	enlucido exterior	1	0,50	2,55	2
	ladrillo	15	0,72		
	enlucido interior	1	0,72		
bloque de concreto	enlucido exterior	1	0,50	2,35	2
	bloque de concreto	15	0,62		
	enlucido interior	1	0,72		

Fuente: Vásquez (2019)

Anexo 19.

Transmitancia térmica de muros



Fuente: Vásquez (2019)

Anexo 20.

Costo de mampostería con otras medidas de bloques por m2 de pared

COSTO DE MAMPOSTERIA					
Tipo de ladrillo	Medidas	Costo /u	No. ladrillos por m2	Costo/m2 solo material	
Panelón	13x27x7	0.21	44.6	9.366	97%
Esquinero 3huecos	13x29x9	0.24	33.3	7.992	68%
Esquinero 2 huecos	13x29x9	0.24	33.3	7.992	68%
Bloque H 10cm	40x20x10	0.48	11.6	5.568	17%
Bloque H 15cm	40x20x15	0.58	11.6	6.728	41%
BTC	14x29x9	0.143	33.3	4.7619	

Fuente: Coronel (2015)