

Diseño De Tabiques Modulares
Sostenibles Con Bloques De Tierra
Comprimida Para Espacios Interiores

Design Of Sustainable Modular
Partitions With Compressed Earth Blocks
For Interior Spaces



Juan Carlos Calderón Peñafiel
Universidad del Azuay
Ecuador

jccalderon@uazuay.edu.ec / arq.juancarloscalderon@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-1475-4239>

Fecha de recepción: 11 de marzo de 2024. Aceptación: 30 de abril de 2024.

Resumen

La actual crisis medioambiental ha provocado una urgente necesidad de replantear las formas en las que se ha abordado la arquitectura y la construcción hasta hoy. La academia, donde se incluyen disciplinas como la arquitectura y el diseño, suma esfuerzos en la búsqueda de soluciones sostenibles que puedan reemplazar las prácticas convencionales. Este estudio, que forma parte de un proyecto de investigación impulsado por la Universidad del Azuay, está enfocado en la investigación de una alternativa sostenible a los elementos divisorios de espacios interiores, mediante la utilización de dos materiales tradicionales: la tierra y la madera. Así, luego de realizar el abordaje del estado de los bloques de tierra comprimida (BTC), mediante la aplicación de la tecnología del BTC y la tecnología actual de la madera, se afronta el objetivo de diseñar tabiques modulares sostenibles para espacios interiores, desde una perspectiva estética y funcional actual. El estudio concluye con el diseño de un prototipo de tabique sostenible que, en comparación con tabiques convencionales como aquellos de ladrillo cerámico y el bloque de hormigón, presenta características favorables en aspectos de sostenibilidad, comportamiento térmico, comportamiento acústico y comportamiento mecánico. A diferencia de la mayoría de investigaciones que abordan el BTC, este artículo de investigación original evidencia las posibilidades formales y estéticas de la combinación de los bloques de tierra comprimida y los entramados de madera. Adicionalmente, demuestra que, mediante la utilización de tecnologías actuales, la tierra y la madera son materiales capaces de cumplir las demandas de la arquitectura actual desde un enfoque sostenible.

Palabras clave: diseño de tabiques, tabiques modulares, tabiques sostenibles, tabiques con bloques de tierra comprimida, bloques de tierra comprimida, BTC, construcción con tierra.

Abstract

The current environmental crisis has prompted an urgent need to rethink how architecture and construction have been approached until now. The academia, including disciplines such as architecture and design, is pooling efforts in the quest for sustainable solutions that can replace conventional practices. This study, part of a research project driven by the University of Azuay, investigates a sustainable alternative to interior space-dividing elements, utilizing two traditional materials: earth and wood. Thus, after addressing the state of compressed earth blocks (CEB) by applying CEB technology and current wood technology, the objective of designing sustainable modular partitions for interior spaces is addressed from a current aesthetic and functional perspective. The study concludes with the design of a sustainable partition prototype that, compared to conventional partitions such as ceramic brick and concrete block, exhibits favorable characteristics regarding sustainability, thermal behavior, acoustic performance, and mechanical behavior. Unlike most research addressing CEB, this original article highlights the formal and aesthetic possibilities of combining compressed earth blocks and timber frameworks. Additionally, it demonstrates that through the utilization of current technologies, earth and wood are materials capable of meeting the demands of contemporary architecture from a sustainable standpoint.

Keywords: partition design, modular partitions, sustainable partitions, partitions with compressed earth blocks, compressed earth blocks, CEB, earth construction.

Introducción

En las últimas décadas, a partir de la concientización sobre el importante rol que juega la arquitectura y la construcción en la problemática medioambiental, social y económica, la academia ha venido sumando esfuerzos para la producción de respuestas arquitectónicas y constructivas más coherentes. En este contexto, la implementación de materiales tradicionales, como la tierra, en la configuración de elementos constructivos actuales juega un papel crucial, debido a la baja energía incorporada que estos presentan, en comparación con los materiales procesados, comúnmente utilizados en el siglo XX, como es el caso del hormigón armado, el acero, los mampuestos cerámicos, los materiales compuestos, entre otros.

Los tabiques están presentes en la gran mayoría de construcciones modernas y representan elementos que, en la actualidad, no necesitan ser responsables del sostén estructural del edificio. Más bien, gracias a los nuevos sistemas constructivos modernos, en los cuales se propone una estructura independiente, los elementos de cierre y los tabiques divisorios de ambientes quedan exentos de las cargas principales y únicamente son responsables de la estructura inherente a su propia estabilidad.

Como lo señala Bayon (1982):

El tabique tiene por misión esencial la distribución de locales en el interior del espacio limitado por los forjados, los muros exteriores y los muros de carga interiores. No se le atribuye ningún papel de sustentación ni de absorción de esfuerzos de viento en la construcción, y por lo tanto puede ser instalado, en principio, en cualquier lugar del forjado con la condición de que no le aporte una sobrecarga excesiva (p.7).

Para el diseño de sistemas constructivos sostenibles y modulares de tabiquería, se han escogido dos técnicas: una de mampuestos y otra de entramados, que trabajan conjuntamente en un solo elemento modular, lo que conforma un sistema prefabricado de elementos divisorios verticales interiores, pensados para un fácil montaje y desmontaje. Como mampuesto, se han seleccionado los bloques de tierra comprimida (BTC), colocados mediante aparejos simples y/o compuestos, lo que hace que estos trabajen principalmente a esfuerzos de compresión. Como entramado estructural de los tabiques, que sirve para el confinamiento de los bloques de tierra comprimida (BTC), se utiliza un conjunto de piezas de madera prefabricadas unidas mediante ensambles y fijación mecánica, dispuestas unas con otras para trabajar a esfuerzos de flexotracción, cortante y esfuerzos dinámicos (en el caso de ser necesario). Las dos técnicas se reúnen en un sistema a base de módulos, útil para su utilización en tabiquerías sostenibles que cumplan con los requerimientos arquitectónicos actuales.

Si bien existen muchos estudios que demuestran las características de los bloques de tierra comprimida (BTC) desde una perspectiva técnica, en los cuales se estudian las propiedades mecánicas (Calderón, 2021), térmicas (Ben *et al.*, 2016), acústicas (Ouma *et al.*, 2023), de durabilidad (Cid-Falceto *et al.*, 2012), entre otras, poco se ha hecho en cuanto a la aplicación de principios de diseño desde una perspectiva estética y formal. Este estudio aborda el estado del arte de los bloques de tierra comprimida y, a partir de este, plantea una propuesta de diseño de tabiques modulares sostenibles, con la utilización de bloques de tierra comprimida, para su aplicación como elementos verticales divisorios para la fragmentación de espacios interiores.

La tierra es un material de construcción actual, debido a que es un recurso abundante y asequible en todos los lugares del mundo y, adicionalmente, es sostenible desde el punto de vista ambiental, social y económico (Fernandes *et al.*, 2019). La tierra, mediante la aplicación de técnicas constructivas tradicionales, continúa formando parte de hogares de más de la mitad de la población global (Avrami *et al.*, 2008) y, a pesar de la creencia popular, la arquitectura que incorpora elementos constructivos de tierra puede perdurar en el

tiempo, al prestar servicios durante siglos. Como evidencia, se puede mencionar un estudio de la UNESCO, que señala que el 10% de edificaciones del patrimonio mundial arquitectónico está construido con este material (Eloundou y Joffroy, 2013).

Desde el punto de vista estructural, los mampuestos de tierra son útiles frente a los esfuerzos mecánicos de compresión mas, sin consideraciones especiales, no son recomendables ante otros esfuerzos como flexotracción, cortante y esfuerzos dinámicos (Lan et al., 2023). En lo referente a las características térmicas y acústicas, la tierra exhibe índices muy favorables (Hema et al., 2021). Adicionalmente, como es bien conocido, sus características higroscópicas y de porosidad ayudan al balance de la humedad de los espacios interiores que son, en la mayoría de casos, un material beneficioso para la salud (Houben y Guillaud, 1994).

La tierra, como material de construcción, vuelve a tomar protagonismo gracias a que la tecnología actual hace posible el diseño de sistemas arquitectónicos constructivos que trabajan en sinergia con otros materiales, en soluciones sostenibles y confortables. Así, las diferentes técnicas de construcción con tierra se han transformado gradualmente desde sistemas artesanales hacia sistemas industrializados. Por citar algunos ejemplos, se puede mencionar que del adobe tradicional se ha pasado al uso del bloque de tierra comprimida, del bahareque tradicional se ha mutado a modernos entramados de madera con revoques de materiales a base de arcilla y, del mismo modo, en lo referente a la configuración de elementos monolíticos, del tapial tradicional se ha pasado al uso de elementos prefabricados de tierra apisonada.

Por otra parte, la madera es un material de construcción de origen natural capaz de capturar dióxido de carbono durante toda su vida. Desde el punto de vista estructural, no solo trabaja a compresión, sino también a múltiples esfuerzos, lo que incluye esfuerzos dinámicos, como el caso de movimientos sísmicos presentes en varios países que adolecen terremotos.

Si bien se puede decir que la madera ha estado presente en la arquitectura desde los albores de la humanidad, en la actualidad, el uso y el desarrollo de la tecnología de la madera han sido impulsados por la imperante necesidad de presentar respuestas sostenibles a la crisis medioambiental. Los adelantos de la ciencia y la tecnología, sumado al uso de herramientas modernas, han facilitado los trabajos de selección, tratamiento, modulación, coordinación dimensional, corte, ensamblado y fijación de elementos de madera, lo que optimiza, en gran medida, los procesos de producción y construcción de elementos arquitectónicos que emplean este material. En los países desarrollados, por otra parte, la madera laminada se presenta como un recurso, con nuevas respuestas a las demandas actuales, que abre nuevos horizontes a la construcción y a la arquitectura.

Bloques de tierra comprimida (BTC)

El bloque de tierra comprimida (BTC, o CEB - *Compressed Earth Block*, por sus siglas en inglés) es una pieza comúnmente utilizada para fábrica de albañilería, generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de la tierra; es decir, de arcilla como conglomerante, con agregados como limos, partículas

de arena y, en algunos casos, de grava u otras adiciones y/o aditivos. La técnica de bloques de tierra comprimida (BTC) hace posible un desmolde inmediato y el manejo instantáneo de los mampuestos, para el trabajo de aparejo en tabiques (Figura 1).

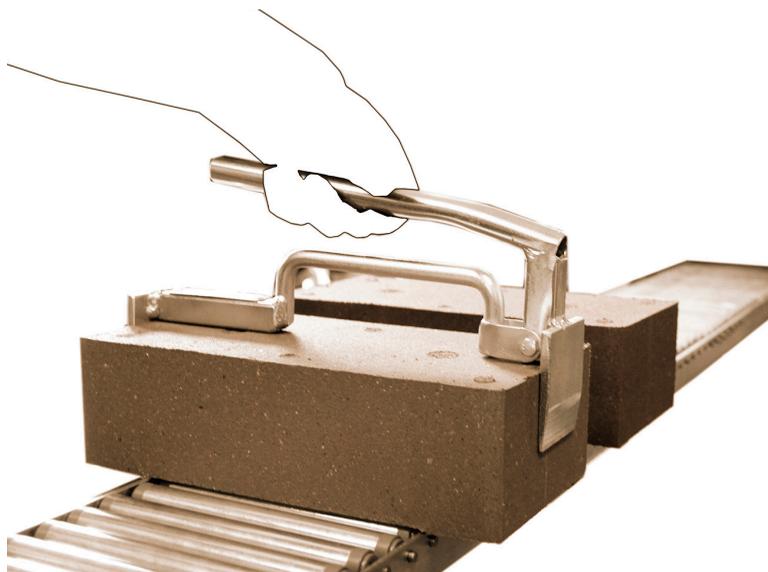
Figura 1
Bloque de tierra comprimida - BTC



Además de su resistencia a la compresión, una de las características que diferencia al bloque de tierra comprimida (BTC) del bloque de adobe, es su tamaño. Al poseer mayor dureza derivada de la compresión de las partículas de tierra, es posible

fabricar bloques con acabados uniformes de dimensiones semejantes a las de los ladrillos de arcilla cocida convencionales, así como también bloques más grandes y pequeños (Figura 2).

Figura 2
Acabados uniformes - BTC



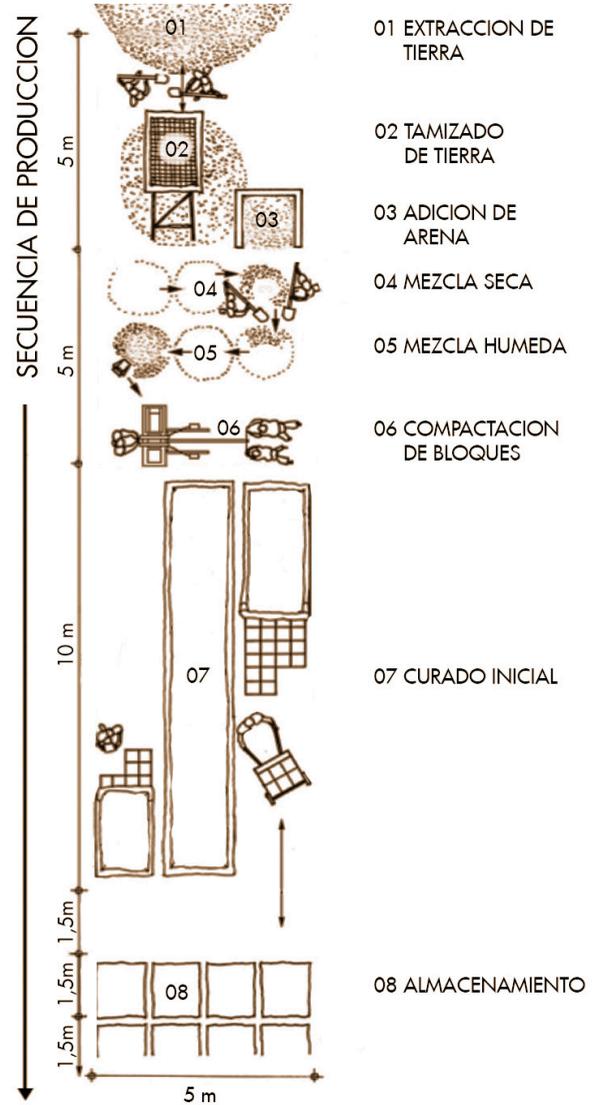
Generalmente, aunque no es una regla, la mezcla de barro utilizada para la fabricación de BTC contiene estabilizantes, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del bloque, como por ejemplo su resistencia a la compresión, a la acción erosionante del viento y el agua y a los problemas derivados de la contracción, debido a los cambios de temperatura o humedad. La adición de estabilizantes dependerá de los resultados que queramos obtener. Los estabilizantes más utilizados, hasta ahora, son el cemento, pese a que la literatura actual desaconseja su uso (Van Damme y Houben, 2017) y la cal.

Sin embargo, existe una amplia variedad de aditivos tradicionales y modernos, como aquellos que incorporan cenizas volantes (Elavarasan *et al.*, 2021), subproductos de la industria agropecuaria (Valenzuela *et al.*, 2024), activación alcalina y puzolanas naturales (Laguna-Torres *et al.*, 2024), áridos finos de hormigón reciclado (Ramsin *et al.*, 2024), entre otros.

Para la elaboración de bloques de tierra comprimida, se pueden usar pequeñas prensas manuales (Figura 3), que pueden ser operadas por una sola persona, y prensas mecánicas de gran envergadura, con procesos automatizados. La ventaja de la maquinaria portátil es que se pueden producir los bloques en el mismo terreno del que extraemos el material y, en muchos casos, en el mismo terreno en que se construye; mientras que, por otro lado, permite la posibilidad de producción industrializada mediante la utilización de máquinas en fábricas y talleres, lo que garantiza los procesos de calidad y el volumen de producción, sin que las condiciones meteorológicas sean un impedimento.

Figura 3

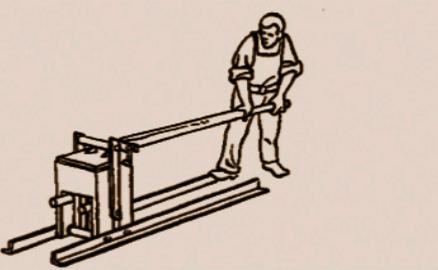
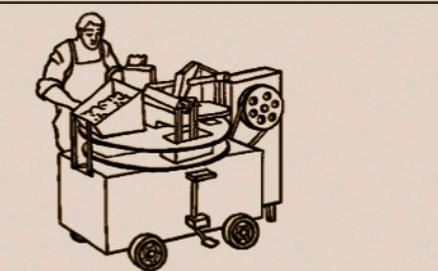
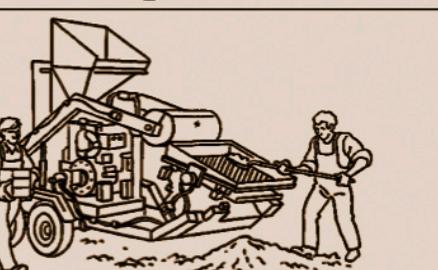
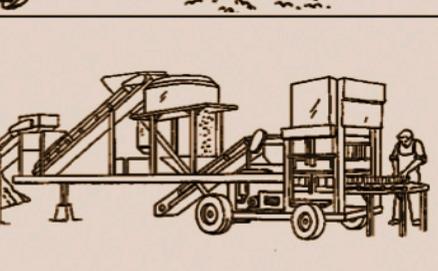
Secuencia de elaboración de BTC mediante una prensa manual



Actualmente, existen muchas opciones en cuanto a maquinaria; entre ellas están las unidades de producción móviles, como la prensa CINVA-RAM y maquinaria de producción industrial, que incluyen el pulverizador de suelos, tamizadora, mezcladora, dosificada, prensa, amoladora y otros accesorios (Figura 4). Adicionalmente, la producción de bloques de tierra comprimida puede vincularse a la creación de procedimientos de control de calidad,

mediante la satisfacción de requisitos, las normas de fabricación y construcción. En este aspecto, aunque aún queda mucho por hacer en la regulación y normativa para la fabricación y construcción con BTC en muchas regiones (como es el caso de Ecuador), en varios países del mundo existen normativas que regulan la producción y construcción con este material (Cid *et al.*, 2011).

Figura 4
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	
Unidad móvil	1500 - 6000 Kg.	1500 a 4000	
Unidad fija	2000 - 30000 Kg.	2000 a 10000	

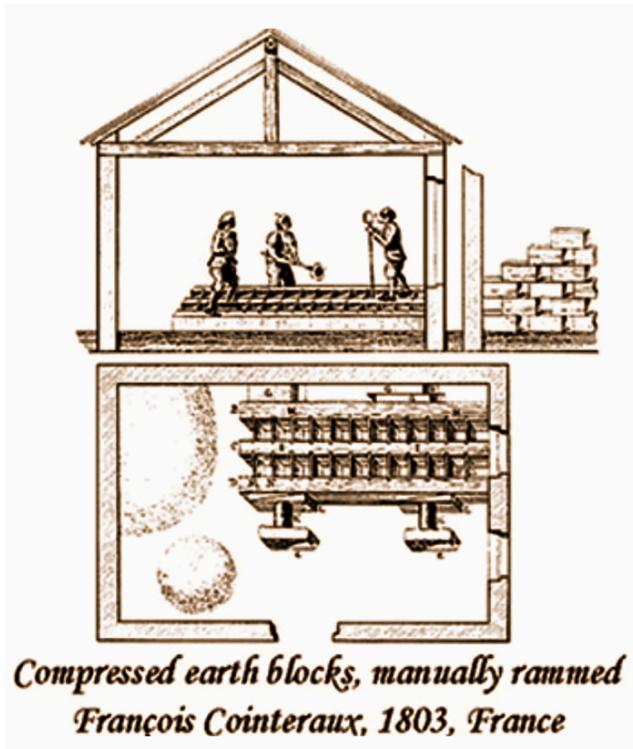
Reseña histórica

Para explorar la historia del bloque de tierra comprimida, es fundamental hacer referencia al adobe. Su formato estaba determinado por el arquitecto o el fabricante, lo que facilitaba su manipulación en la obra. Aunque no se conoce con certeza la fecha exacta del surgimiento del bloque de tierra cruda (adobe) como un elemento diseñado por el ser humano para la construcción, debido a que su origen se halla en la prehistoria, se han localizado vestigios con más de 10.000 años de antigüedad. Uno de los primeros registros del uso de adobe se encuentra en Palestina, específicamente en la muralla de Jericó, donde se utilizaban bloques de tierra secados al sol hace más de 9000 años (López-Arce *et al.*, 2012).

A finales del siglo XVIII y principios del XIX, hubo una serie de arquitectos interesados en desarrollar un modelo de uso correcto de la tierra como un material arquitectónico. Entre ellos se destaca el francés François Cointeraux (1740 - 1830), quien se preocupó en los procedimientos para estabilizar la tierra. Con sus métodos, se construyeron fábricas, escuelas y edificios públicos durante décadas, en los cinco continentes. Cointeraux ideó un dispositivo para producir elementos de tierra compactada, al adaptar una prensa inicialmente utilizada en la elaboración de vino, al que denominó *crésise* (Figura 5). Sin embargo, fue en los albores del siglo XX cuando surgieron las primeras prensas mecánicas con tapas pesadas que ejercían presión dentro de un molde. Algunas de estas prensas incluso contaban con motor. En paralelo, en la industria del ladrillo cocido, se empezaron a emplear prensas de compresión estática, donde la tierra era compactada entre dos placas convergentes (Calderón, 2013).

Figura 5

François Cointeraux - Bloques de tierra comprimida, 1803

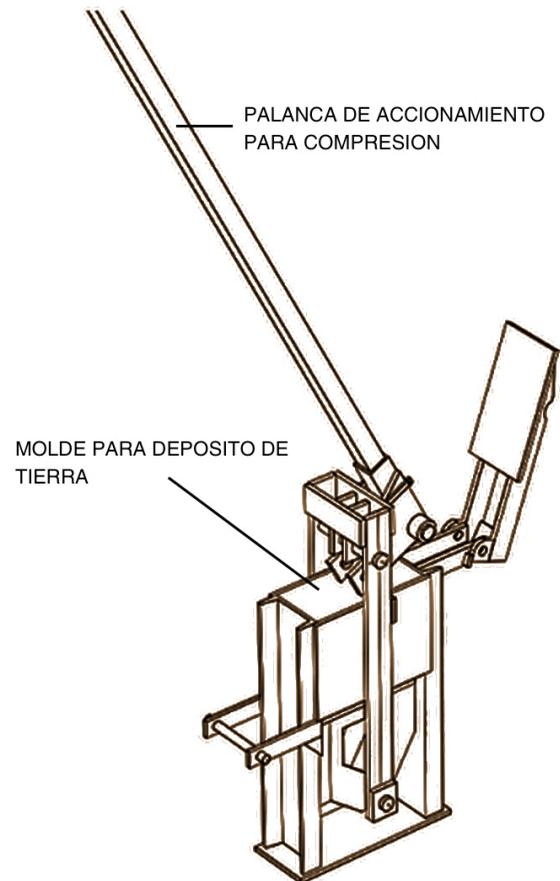


A pesar de que la tierra seguía siendo el material más importante y abundante en muchas regiones del mundo, y muchos arquitectos trabajaban en la producción de arquitectura en adobe, en el siglo XX el mercado de la construcción industrializada desplazó a las técnicas tradicionales de construcción con tierra y al material en sí, a un plano de desuso. De todos modos, en Europa, las dos guerras mundiales dieron como resultado periodos en que hubo un renacimiento de los proyectos arquitectónicos a partir de la tierra y, en esta misma época, algunos arquitectos de renombre siguieron interesados en el uso de elementos arquitectónicos de tierra, como por ejemplo Frank Lloyd Wright (1867 - 1959) y Le Corbusier (1887-1965). En la misma época, el belga Michel Luyckx construyó, en Adrar-Argelia, un hospital; así mismo, el egipcio Hasan Fathy promovió en su país la construcción con tierra (Calderón, 2013).

El punto de inflexión en el uso de prensas y en la forma en que se empleaban los bloques de tierra comprimida para la construcción se produjo a partir de 1952, tras la invención de la famosa y compacta prensa CINVA-RAM, diseñada por el ingeniero Raúl Ramírez en el centro CINVA en Bogotá, Colombia (Figura 6). Esta prensa comenzó a utilizarse en todo el mundo, lo que marcó una clara diferencia en la manera de producir bloques de tierra comprimida. En las décadas de los setenta y ochenta, surgió una nueva generación de prensas manuales, mecánicas y motorizadas, lo que ha generado un floreciente mercado para la producción y aplicación de bloques de tierra comprimida en la actualidad (Rigassi, 1985).

Figura 6

Prensa de bloques de tierra comprimida CINVA RAM



La investigación en el Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) sobre bloques de tierra comprimida (BTC) se aplicó a la construcción de edificaciones en varios países de América Latina como Brasil, Colombia, Argentina, Uruguay, Venezuela, Brasil, Bolivia y Chile. La investigación y difusión de los BTC en el CINVA se vieron respaldadas por su carácter multinacional. No solo contaba con el apoyo de la Organización de los Estados Americanos (OEA) y numerosas instituciones públicas y privadas asociadas, sino que también tenía una política de difusión activa a través de publicaciones (Figura 7). A pesar de este impulso inicial y del éxito obtenido en comunidades rurales, donde los bloques de tierra comprimida (BTC) fueron bien acogidos, su aplicación en entornos urbanos enfrentaba desafíos significativos. En esos contextos, se preferían métodos de construcción más convencionales, como aquellos que se derivan de la prefabricación e industrialización y que se consideraban más adecuados para abordar las necesidades de vivienda en áreas urbanas (Galindo-Díaz *et al.*, 2023).

Figura 7

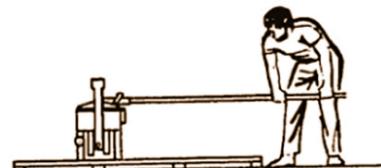
Proceso de prensado mediante máquina CINVA RAM



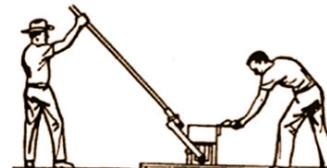
1. COLOCACION DE MATERIAL EN EL DEPOSITO



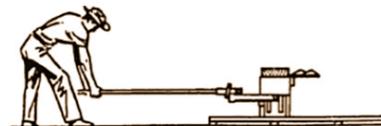
2. AJUSTE DE LA TAPA SUPERIOR DE LA PRENSA



3. ACCION DE FUERZA EN LA PALANCA DE PRENSA



4. REMOCION DE LA TAPA SUPERIOR DE LA PRENSA



5. DESMOLDE MEDIANTE ACCION DE PALANCA

Hoy en día, la tierra, especialmente la mampostería de tierra cruda con bloques de tierra comprimida (BTC), está experimentando un resurgimiento en países como Australia, Estados Unidos, Alemania, España, Austria, China, Japón, Francia, entre otros. Además, existen instituciones académicas y científicas que participan en el debate sobre la reutilización de la tierra como material de construcción, como la *École d'Architecture* de Grenoble y el CRAterre en Francia, Inter-Acción en España, la Fundación Getty en los Estados Unidos, el Auroville *Earth Institute* en India, entre otros (Calderón, 2013).

Por otra parte, la industria actualmente oferta una gran cantidad de maquinaria capaz de producir bloques de tierra comprimida que controla los diferentes parámetros y características establecidas por las normativas. Según cada máquina, es posible automatizar todo el proceso de fabricación de los BTC y aumentar notablemente la calidad y cantidad de producción de unidades (Figura 8). En diferentes países industrializados, empiezan a aparecer plantas de producción de bloques de tierra comprimida que, cada vez con más frecuencia, empiezan a comercializar BTC, gracias a la demanda de una nueva generación de consumidores más conscientes de la importancia de la sostenibilidad de los materiales que utilizan para la producción de arquitectura.

Figura 8

Proceso de producción industrializado de BTC



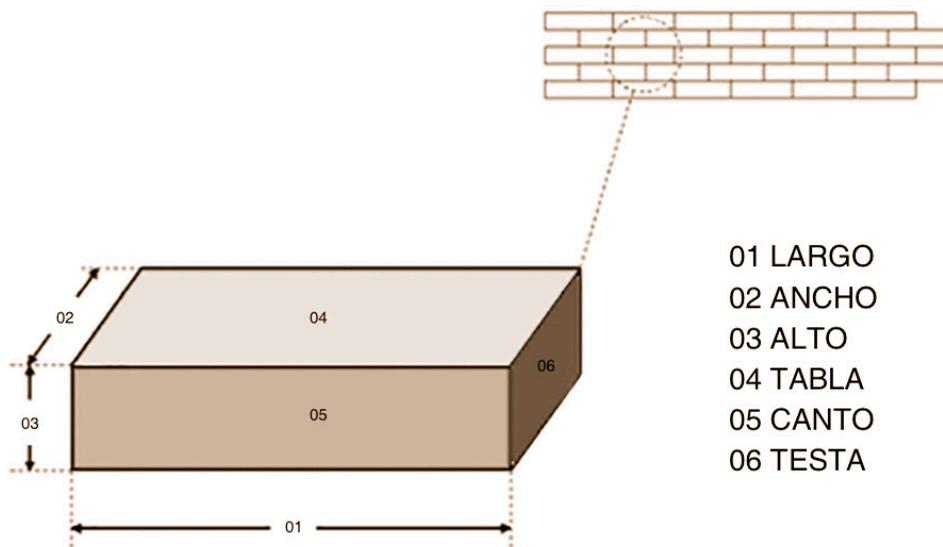
Existen oportunidades reales para un gran avance futuro en el campo de la construcción con bloques de tierra comprimida (BTC), pero el primer desafío para promover esta arquitectura es abordar un problema de mentalidad. Para ello, profesionales, universidades, organizaciones no gubernamentales, fundaciones e institutos dedicados a la construcción con tierra están trabajando para crear una sólida conciencia sobre las ventajas que ofrece la tierra en el contexto postindustrial de la construcción sostenible (Yuste, 2010).

Tipos de bloques de tierra comprimida (BTC)

Existen diferentes tipos de bloques de tierra comprimida que pueden variar en tamaño y forma. Los bloques estabilizados, que normalmente alcanzan entre 2 y 5 N/mm² de resistencia a compresión, pueden incluir perforaciones y geometrías que permiten el ensamble de bloques en seco. Para designar las dimensiones de los bloques con forma uniforme, se debe especificar la longitud (soga), la anchura (tizón) y la altura (grueso) (Figura 9). Las medidas reales de un bloque no deben desviarse más de 5 mm de las medidas esperadas hacia arriba, ni más de 2 mm hacia abajo (UNE Normalización Española, 2023).

Figura 9

Nomenclatura habitualmente utilizada para designar las partes de los BTC según la norma UNE UNE 41410:2023

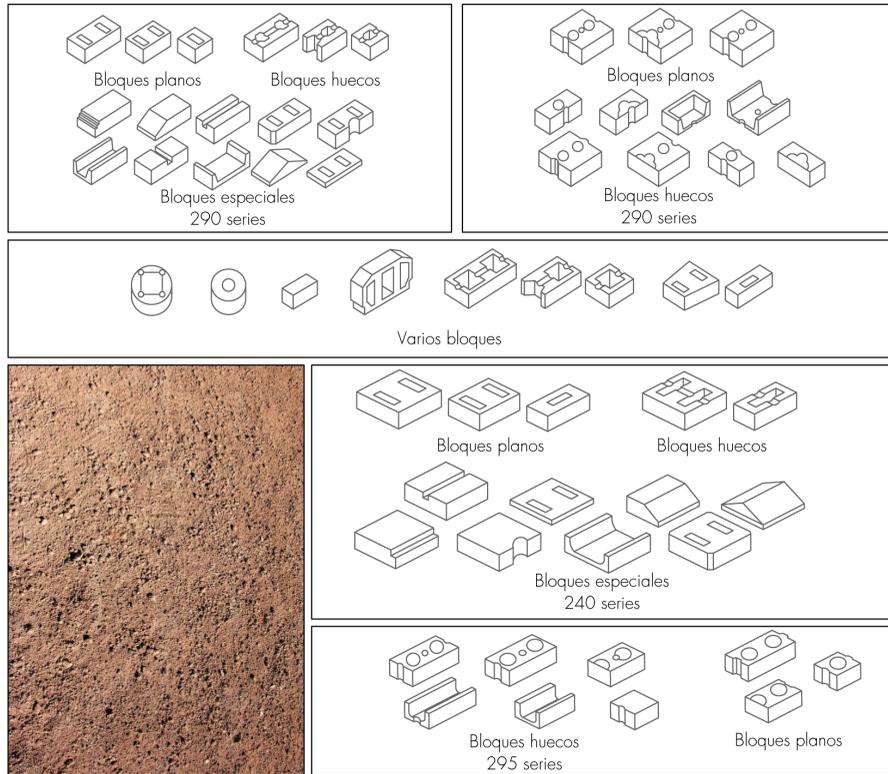


Los bloques de tierra articulados representan una innovación en sistemas constructivos, diseñados como elementos fundamentales para tabiques, sin necesidad de utilizar mortero (Figura 10). Este enfoque ha surgido como resultado de diversas investigaciones que se han llevado a cabo en varios países, lo que abre camino a nuevas posibilidades en el ámbito de la construcción. Un ejemplo desta-

cado de este tipo de sistema es el conocido como Lamars, el cual se ha concebido inicialmente con el propósito de mejorar la construcción de viviendas de interés social. Este sistema ha sido desarrollado a partir de investigaciones realizadas en el Centro Regional de Investigaciones de Tierra Cruda (CRIATiC) (Calderón, 2013).

Figura 10

Ejemplos de diferentes tipos de bloques de tierra comprimida articulados y bloques accesorio



El sistema Lamars se ha centrado, en una primera fase, en resolver los desplazamientos verticales estructurales, especialmente en muros portantes. Para lograrlo, se ha introducido un componente clave denominado BaSC, que consiste en bloques articulados de suelo-cemento. Estos bloques están diseñados para ser incorporados en los muros sin necesidad de mortero entre ellos, lo que genera un patrón de construcción con hiladas discontinuas que mejora significativamente la estabilidad estructural y la resistencia del sistema. Además, este método reduce tanto la cantidad de materiales como la mano de obra necesaria, en comparación con los sistemas tradicionales de construcción con mampostería. Su costo de producción es también inferior y, al no requerir habilidades especializadas para su fabricación ni instalación, resulta adecuado para programas de autoconstrucción (Calderón, 2013).

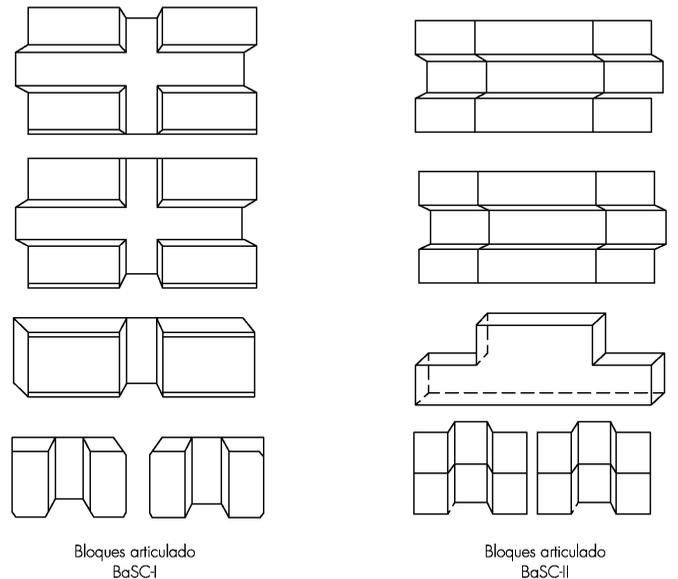
El BaSC es un bloque compactado de tierra estabilizada que se coloca en seco en el tabique. La estabilidad del conjunto se logra mediante un sistema de encajes horizontales y verticales que se entrelazan, lo que asegura la estabilidad y uniformidad de la mampostería. La versatilidad de estos bloques permite la resolución de esquinas, encuentros y cruces de tabiques sin necesidad de realizar cortes, además de permitir la inclusión de contrafuertes para reforzar la estructura, lo que eventualmente puede eliminar la necesidad de una estructura sismo resistente adicional. Los materiales utilizados incluyen tierra clasificada y estabilizada con cemento Portland o cal, lo que depende de las propiedades de la tierra disponible. Las mezclas se dosifican cuidadosamente y se preparan para garantizar la máxima calidad y resistencia, ya que se someten a pruebas de laboratorio para verificar su idoneidad (Calderón, 2013).

La producción de los bloques articulados se realiza con una prensa mecánica simple y manual que comprime la mezcla con la presión adecuada. Esta prensa es liviana, fácilmente transportable y no genera residuos contaminantes. El sistema contempla dos tipos básicos de bloques (BaSC - I y BaSC II) que cubren todas las necesidades de trabas y terminaciones en los extremos de los tabiques. Además, existe un tipo de bloque, BaSC III, que incluye perforaciones y facilita la colocación de estructuras sismo

resistentes verticales. Este presenta una morfología especial para una terminación estética (Figura 11). En términos de resistencia, las mamposterías conformadas por el BaSC II muestran una mayor capacidad para absorber fuerzas de corte, en comparación con las mamposterías tradicionales, gracias al sistema de trabas que responde a las tensiones mecánicas del bloque, independientemente de las tensiones de adherencia del mortero (Calderón, 2013).

Figura 11

Ejemplo de bloques articulados: sistema de bloques Lamars



Bloque Articulado BaSC-III

Existen diversas posibilidades en cuanto al tamaño y la geometría de los bloques de tierra comprimida (BTC), que pueden adaptarse según las necesidades específicas de diseño y construcción (Figura 12). Se aprovechan las propiedades plásticas

del material y la flexibilidad para dar forma a los bloques mediante moldes específicos utilizados en el proceso de prensado. Así, se pueden crear una variedad de diseños que optimicen tanto la funcionalidad como la eficiencia en la construcción de tabiques.

Figura 12

Ejemplo de una geometría apta para ensamblaje en seco de BTC



Estas variaciones pueden incluir la incorporación de perforaciones, cambios en la geometría y ajustes en las dimensiones, todo ello sin comprometer la resistencia mecánica del bloque. Por ejemplo, los bloques pueden diseñarse con perforaciones para permitir el paso de instalaciones eléctricas, de refuerzos estructurales o de instalaciones de fontanería, lo que facilita el proceso de instalación y reduce la necesidad de realizar cortes adicionales en el material. Además, la flexibilidad en la geometría de los bloques permite adaptarlos a diferentes configuraciones estructurales y estéticas, lo que brinda mayores opciones de diseño arquitectónico en tabiques. La versatilidad en el tamaño y la geometría de los bloques de tierra comprimida ofrece una amplia gama de posibilidades para optimizar el proceso de construcción y satisfacer los requisitos específicos de cada proyecto.

Características de la tierra como material para BTC

Actualmente, los mecanismos de caracterización más eficientes de un suelo son análisis modernos como el Análisis por difracción de rayos X (DRX), Fluorescencia de rayos X (FRX), Análisis granulométrico mediante difracción láser (ADL), Análisis por microscopía electrónica de barrido (SEM), Análisis termogravimétrico (ATG), entre otros. Generalmente, estos análisis permiten una identificación bastante precisa del material en lo referente a las características mineralógicas, características químicas, características granulométricas, etc.

Si se considera que muchos de los análisis antes mencionados no están disponibles en países en vías de desarrollo, para la caracterización de la tierra que se utiliza en la fabricación de BTC es recomendable realizar una serie de ensayos básicos de laboratorio y de campo como, por ejemplo, el análisis granulométrico (Figura 13), la evaluación de la humedad del suelo, el análisis del límite líquido, el análisis del límite plástico (Figura 14), el ensayo de olfato, el ensayo de mordedura, el ensayo de lavado, el ensayo de corte, el ensayo de sedimentación, el ensayo de impacto, el ensayo de consistencia, el ensayo de cohesión, el ensayo con ácido clorhídrico, entre otros (Minke, 2006).

Figura 13

Granulometría de tierras recomendada para fabricación de BTC

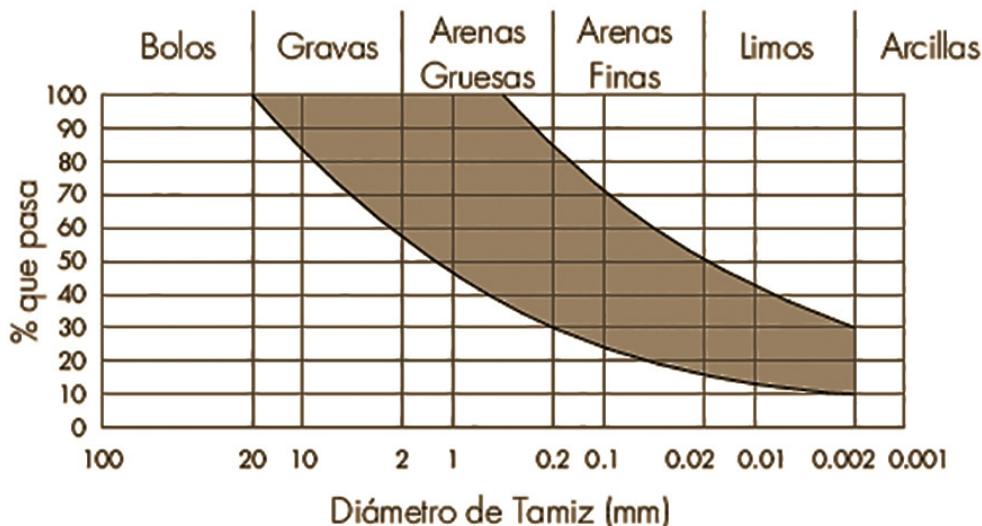
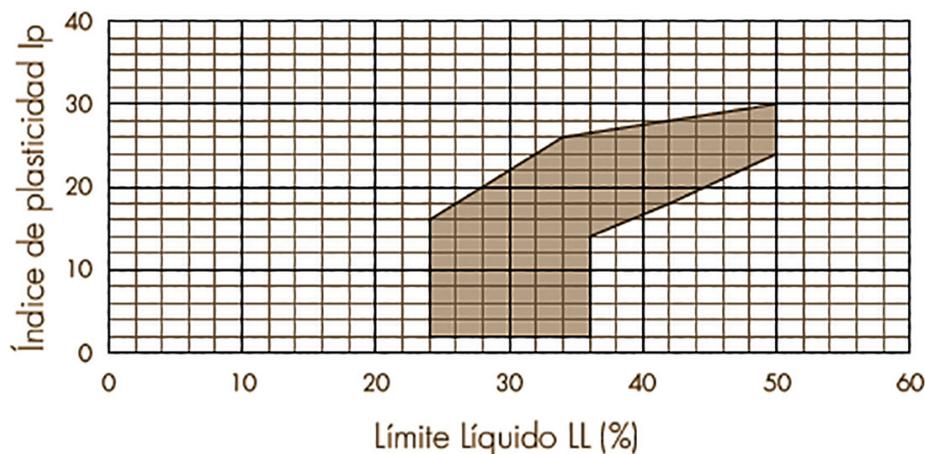


Figura 14

Zona recomendada en el diagrama de plasticidad de tierras para fabricación de BTC



La correcta caracterización de un suelo nos permitirá optimizar su comportamiento, ya sea mediante la mezcla con arcilla o arena adicional, o con estabilizantes de diferente índole.

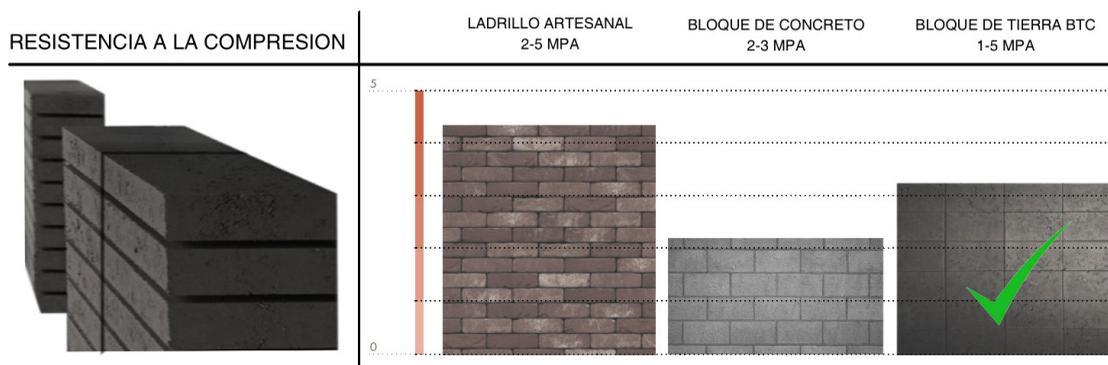
Otra característica importante es la resistencia a la compresión final del bloque de tierra comprimida (Figura 15). La característica resistente del blo-

que generalmente viene de la mano de su densidad y sus composición. La norma española de bloques de tierra comprimida (UNE 41410:2023), establece que se debe cumplir una resistencia mínima según el tipo de bloque de tierra comprimida (BTC). El BTC tipo 1 debe alcanzar 1,3 N/mm², el tipo 2 debe alcanzar 3 N/mm² y el tipo 3 debe alcanzar 5 N/mm². En

comparación con materiales convencionales como el ladrillo artesanal de arcilla cocida, que normalmente alcanza resistencias que varían entre 2 y 5 N/mm², y el bloque tradicional de concreto, que normalmente alcanza resistencias que varían entre 2 y 4 N/mm², el bloque de tierra comprimida (BTC), tanto estabilizado como sin estabilizar, puede considerarse un mampuesto apto para la construcción de tabiquerías, gracias a su resistencia que varía entre 2 y 5 N/mm² (Bestraten *et al.*, 2011).

Figura 15

Comparación de la resistencia a compresión entre diferentes materiales convencionales y el BTC



En lo que respecta al comportamiento térmico del bloque de tierra comprimida, este dependerá principalmente de su densidad. Los bloques de tierra comprimida (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 po-

liestireno 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 (Figura 16). Si bien, el comportamiento térmico dependerá del ancho de los tabiques y de la densidad del material, con una densidad de 1700 kg/m³ es posible obtener un factor de conductividad de 0,81 W/mk que, en comparación con la conductividad del ladrillo artesanal de arcilla cocida y del bloque tradicional de concreto, presenta un buen desempeño (Bestraten *et al.*, 2011).

Figura 16

Comparación del comportamiento térmico entre diferentes materiales convencionales y el BTC

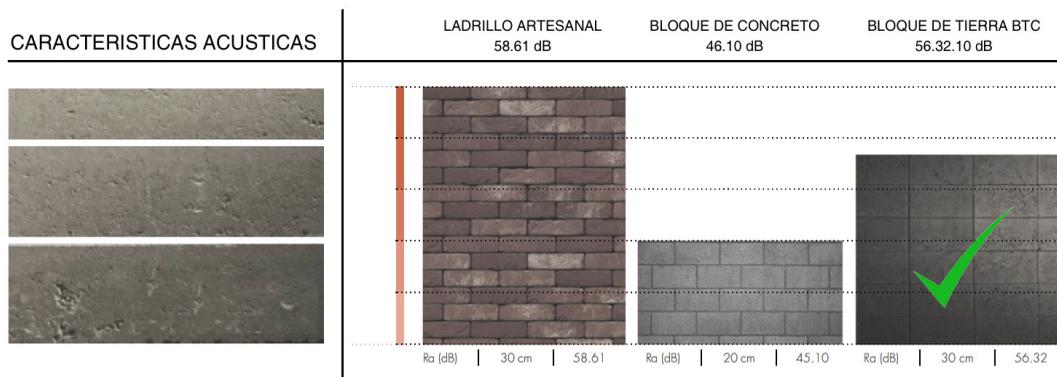


Los bloques de tierra comprimida (BTC) tienen propiedades acústicas que varían de acuerdo a varios factores como la composición del suelo, el método de fabricación y el diseño del bloque. En general, se ha observado que los bloques de tierra comprimida ofrecen una buena capacidad para reducir el ruido debido a su masa y densidad (Figura 17). Los bloques de tierra comprimida tienen una masa considerable, lo que les permite absorber y bloquear el sonido de manera efectiva. Esto significa que pueden ayudar a reducir la transmisión de ruido entre espacios, lo que los hace útiles en la construcción de paredes divisorias entre habitaciones o edifi-

cios. La textura porosa de los bloques de tierra comprimida puede contribuir a reducir la reverberación del sonido en un espacio interior. Esto puede ser beneficioso en entornos donde se desea una mejor calidad de sonido, como salas de música o teatros. Por otra parte, los bloques de tierra comprimida son compatibles con materiales de aislamiento acústico adicionales, como paneles de espuma acústica o materiales aislantes tradicionales. Esto permite mejorar aún más las propiedades acústicas de una estructura construida con bloques de tierra comprimida (Bestraten *et al.*, 2011).

Figura 17

Comparación del comportamiento acústico entre diferentes materiales convencionales y el BTC



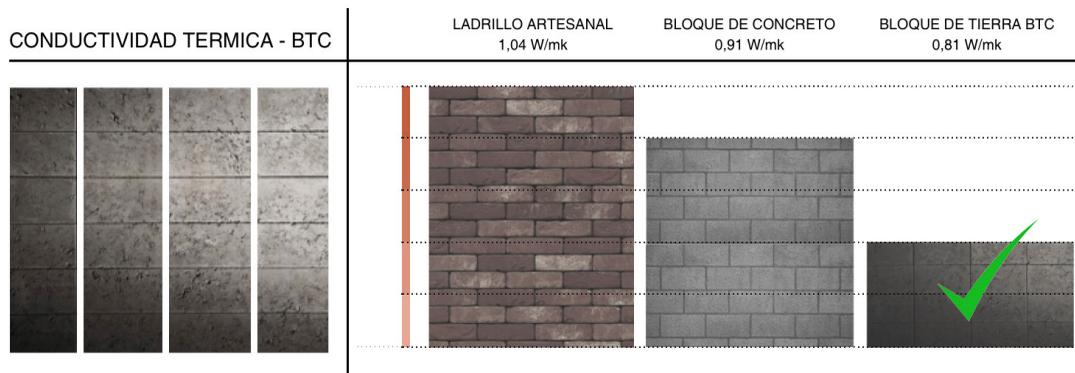
Otra característica importante de los bloques de tierra comprimida (BTC) tiene que ver con sus características higroscópicas. Los bloques de tierra comprimida tienen una capacidad natural para regular la humedad en el interior de los edificios. Pueden absorber y liberar humedad según las condiciones ambientales, lo que contribuye a mantener un ambiente interior saludable y confortable (Houben y Guillaud, 1994).

Finalmente, se puede decir que las características de sostenibilidad del bloque de tierra comprimida (BTC) son excelentes en comparación a la mayoría de materiales convencionales, debido a una serie de características que los hacen respetuosos con el medio ambiente y socialmente responsables (Figura 18). Los bloques de tierra comprimida se fabrican principalmente a partir de tierra cruda, que es un recurso abundante y disponible localmente en la mayor parte de regiones del mundo. Esto reduce la necesidad de transportar materiales a largas

distancias, lo que disminuye la huella de carbono asociada con la construcción. El proceso de fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) requiere significativamente menos energía, en comparación con materiales como el ladrillo de arcilla cocida, el hormigón o el acero. No hay necesidad de someter la tierra a altas temperaturas, como en la fabricación de ladrillos de arcilla cocida, lo que conlleva un menor consumo de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero. Los bloques de tierra comprimida (BTC) son reciclables y biodegradables. Si se demuelen o se desmontan, los bloques pueden ser fácilmente reutilizados en nuevas construcciones o devueltos a la tierra sin causar daños ambientales significativos. Desde el punto de vista social y económico, la construcción con bloques de tierra comprimida puede involucrar a comunidades locales en el proceso de fabricación, lo que promueve la creación de empleo y el desarrollo económico en áreas rurales o desfavorecidas (Bestraten *et al.*, 2011).

Figura 18

Comparación de las características sostenibles entre diferentes materiales convencionales y el BTC



Diseño de tabiques

Por lo mencionado anteriormente como justificación para la utilización de bloques de tierra comprimida (BTC) para el diseño de sistemas constructivos sostenibles y modulares de tabiquería para espacios interiores, se optó por emplear elementos prefabricados de madera para el diseño de estructuras entramadas que confinen y garanticen la estabilidad de los bloques en los tabiques propuestos.

La madera seleccionada para el diseño de los prototipos puede variar de acuerdo a la localidad y disponibilidad de materiales. Sin embargo, para este ejercicio se propone la utilización de pino. La madera de pino ha sido históricamente un material de construcción ampliamente estudiado y utilizado debido a su disponibilidad, facilidad de trabajo y propiedades mecánicas favorables. La estructura celular de la madera de pino confiere resistencia y rigidez al tabique. Además, su densidad y porosidad controlada le otorgan propiedades de aislamiento térmico y acústico, lo que la convierte en una opción atractiva para aplicaciones de construcción sostenible y eficiente energéticamente.

La madera de pino también presenta limitaciones, como su susceptibilidad a la degradación por agentes bióticos como insectos y hongos, así como su sensibilidad a los cambios de humedad y temperatura. Esto requiere un adecuado tratamiento y mantenimiento para garantizar su durabilidad y longevidad en aplicaciones arquitectónicas. Estos tratamientos implican la impregnación de la madera con productos químicos protectores, como sales de cobre o compuestos de zinc, que penetran en la estructura celular y crean una barrera contra agentes bióticos, lo que prolonga su vida útil y mantiene sus propiedades mecánicas indefinidamente.

En este contexto, mediante el uso del bloque de tierra comprimida (BTC) y madera, se ha diseñado un sistema constructivo que incluye diferentes elementos que han sido pensados bajo los siguientes criterios de partida de diseño: modulación, coordinación dimensional, prefabricación, fácil montaje y posibilidad de desmontaje.

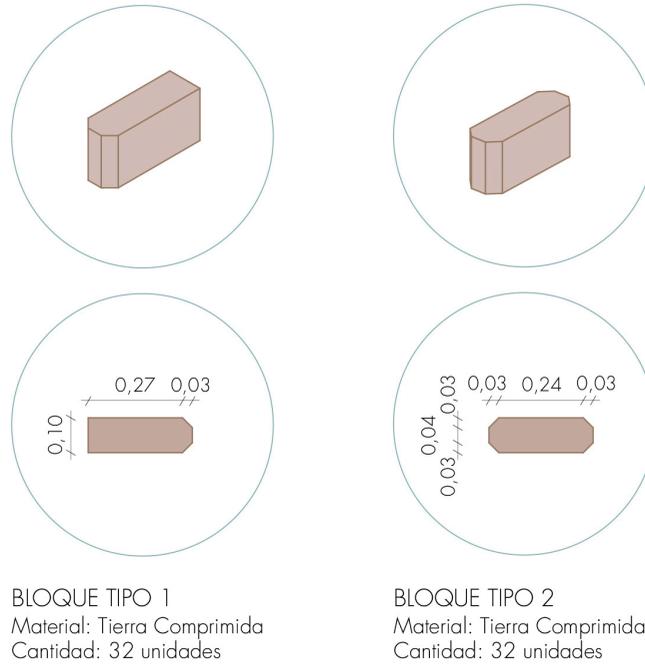
La versatilidad que confiere la utilización de diferentes tipos de moldes a una prensa para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) hace posible diseñar diferentes tipos de bloques, adaptables a diferentes tipos de aparejos. La prefabricación de estos elementos en un taller o en una fábrica permiten garantizar las propiedades y características del elemento. Si se considera lo expuesto anteriormente, el primer módulo que se diseña y con el que se cuenta en cada una de los prototipos propuestos es el bloque de tierra comprimida (BTC), que trabaja en conjunto con un sistema flexible y modular de elementos prefabricados de madera.

Para garantizar la estabilidad estructural de los tabiques de bloques de tierra comprimida (BTC), se opta por diseñar un sistema de entramados con elementos prefabricados de madera, que confina los bloques y, a su vez, contribuye a optimizar el proceso de montaje y desmontaje de los tabiques. Al igual que sucede con los entramados de madera tradicionales, los elementos de madera conforman un marco estructural principal que contiene, en algunos casos, una sub estructura que sostiene parcialmente los bloques de tierra ante escuerzos horizontes y, en otros casos, directamente confina los bloques utilizados mediante un sistema de aparejos.

A continuación, se explica el diseño del prototipo de tabique modular sostenible con bloques de tierra comprimida para espacios interiores:

Diseño de elementos constructivos: bloques de tierra comprimida (Figura 19)

Figura 19
Bloques de tierra comprimida

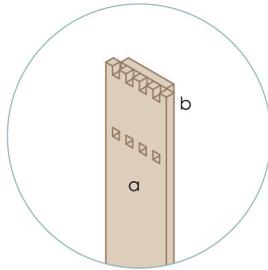


BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	30cmx15cm e:10cm
Aspecto y Superficie	Textura superficial rugosa. Aparición esporádica del árido grueso como textura de acabado.
Acabado	Visto
Densidad	2.000 Kg/m ³
Resistencia a compresión	5,0 N/mm ²
Resistencia a ciclos humedecer/secado	APTO
Resistencia a la erosión	APTO
Resistencia al impacto	> 24,6 Julios
Coefficiente de conductividad térmica	0,81 W/m·K
Reacción al fuego	A 1
Índice global de reducción acústica. R _A	45 dBA

Diseño de elementos constructivos: piezas de madera que conforman el entramado de confinamiento de los BTC (Figura 20)

Figura 20

Piezas de madera que conforman el entramado de confinamiento de BTC



TABLÓN LATERAL

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

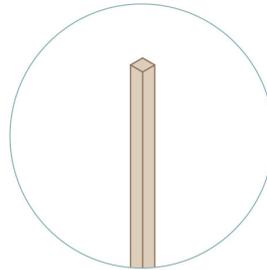
Dimensiones:

a. 20cmx240cm e:2,5cm
b. 15cmx240cm e:2,5cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



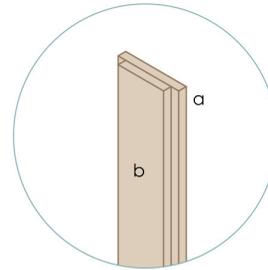
LISTÓN

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

4cmx4cmx240cm

Cantidad: 6 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

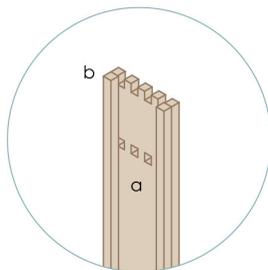
Dimensiones:

a. 20cmx240cm e:2,5cm
b. 15cmx240cm e:2,5cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 1 unidad



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

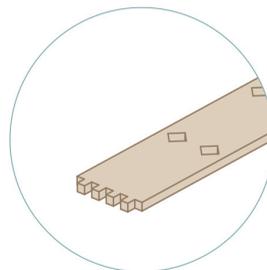
Dimensiones:

a. 20cmx240cm e:2,5cm
b. 2,5cmx2,5cmx240cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 1 unidad



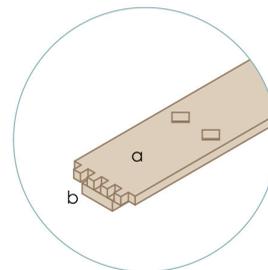
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

20cmx125cm e:2,5cm

Cantidad: 3 unidades



TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

a. 20cmx125cm e:2,5cm
b. 10cmx125cm e:2,5cm

Fijación:

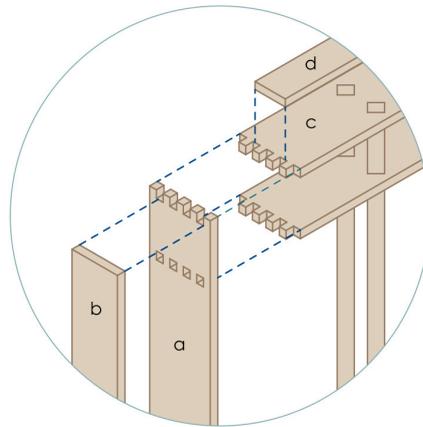
Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades

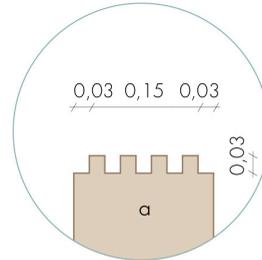
Diseño de uniones: elementos horizontales con elementos verticales (Figura 21)

Figura 21

Uniones: elementos horizontales con elementos verticales



D.01



UNIÓN, ESQUINA DE PANEL, EN ESPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino

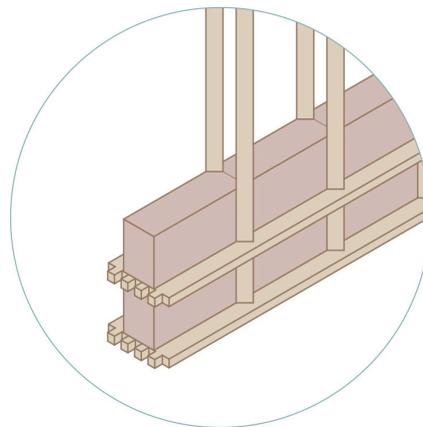
Dimensiones:

a. 20cmx240cm e:2,5cm

b. 15cmx240cm e:2,5cm

c. 20cmx125cm e:2,5cm

d. 10cmx125cm e:2,5cm



D.02

TRABADO: TABLÓN INTERMEDIO CON BLOQUE Y LISTONES

Materiales:

- Listones de madera de Pino.

Dimensiones: 4cmx4cmx 240cm.

- Bloques de tierra.

Dimensiones: 30cmx15cm e:10cm

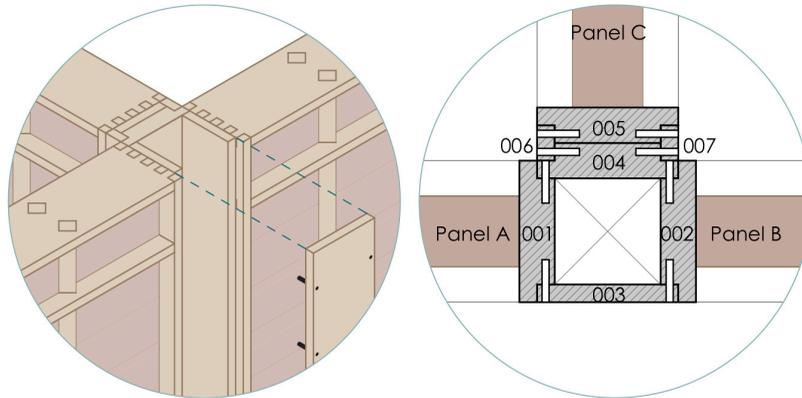
- Tablón intermedio:

Dimensiones: 20cmx125cm e:2,5cm

Diseño de uniones: uniones entre tabiques en T y uniones en esquina (Figura 22)

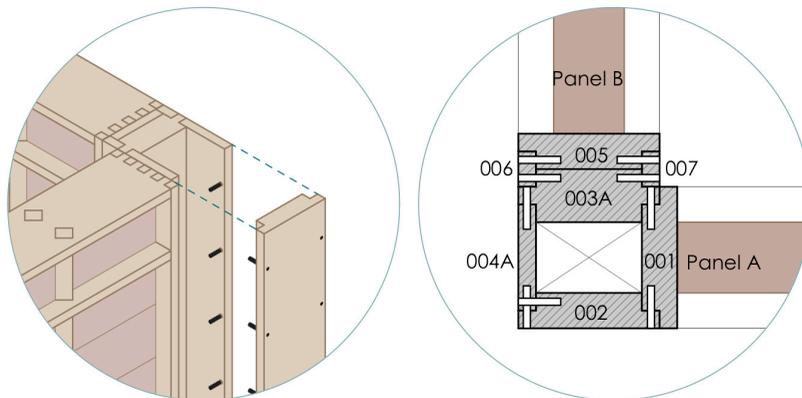
Figura 22

Uniones: uniones entre tabiques en T



Unión tipo T

Encuentro de 3 paneles compuestos por tableros laterales y tableros superiores para unión con techo.



Unión en esquina

Encuentro de 2 paneles compuestos por tableros laterales y tableros superiores para unión con techo.

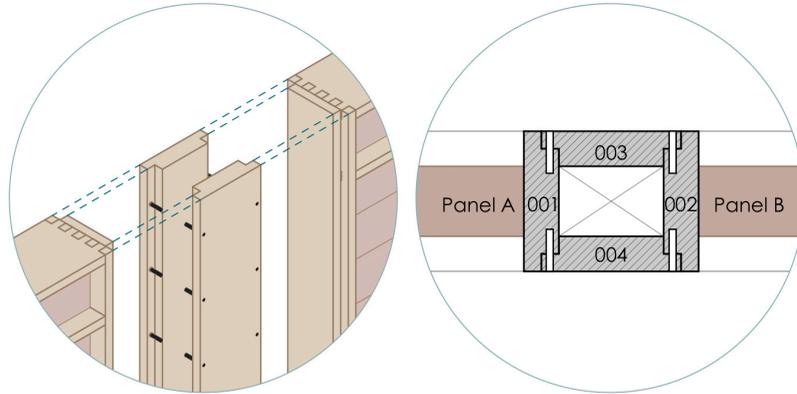
Observaciones:

- Las piezas se colocan según el orden numérico de las mismas.

**Diseño de uniones: uniones entre tabiques en pro-
longación y en cruz (Figura 23)**

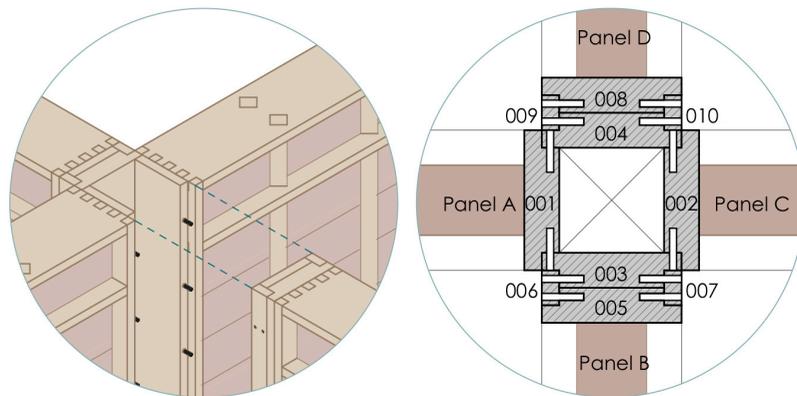
Figura 23

Uniones: uniones entre tabiques en prolongación y en cruz



Unión entre paneles

Encuentro lineal de 2 paneles compuestos por tablonces laterales y tablonces superiores para unión con techo.



Unión en cruz

Encuentro lineal de 4 paneles compuestos por tablonces laterales y tablonces superiores para unión con techo.

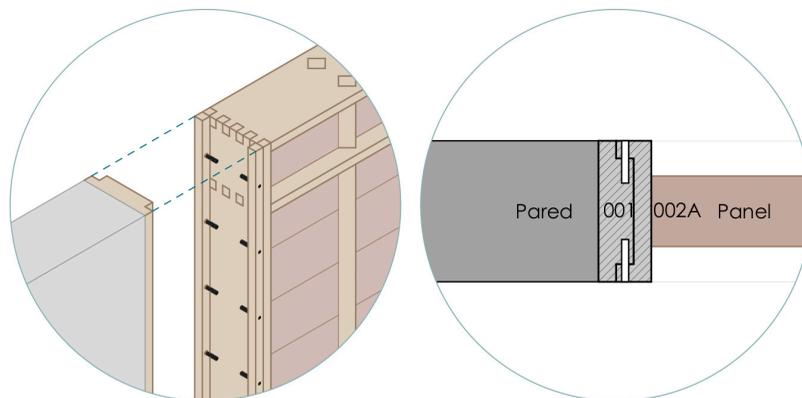
Observaciones:

- las piezas se colocan según el orden numérico de las mismas.

Diseño de uniones: uniones entre pared y tabique (Figura 24)

Figura 24

Uniones: uniones entre pared v tabique

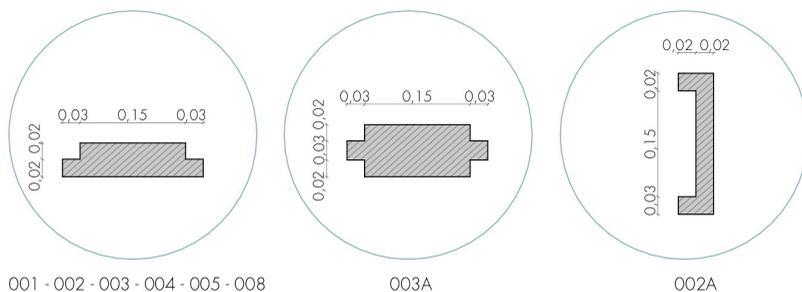


Unión Pared - Panel

Encuentro de pared con 1 panel compuesto por tabloncillos laterales para unión con pared y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

- Las piezas se colocan según el orden numérico de las mismas.



Especificaciones Técnicas

001 - 002 - 004 - 005 - 008 - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

003 - Pieza de madera de pino tratado, de 25mm de espesor y 200mm de ancho, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

003A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

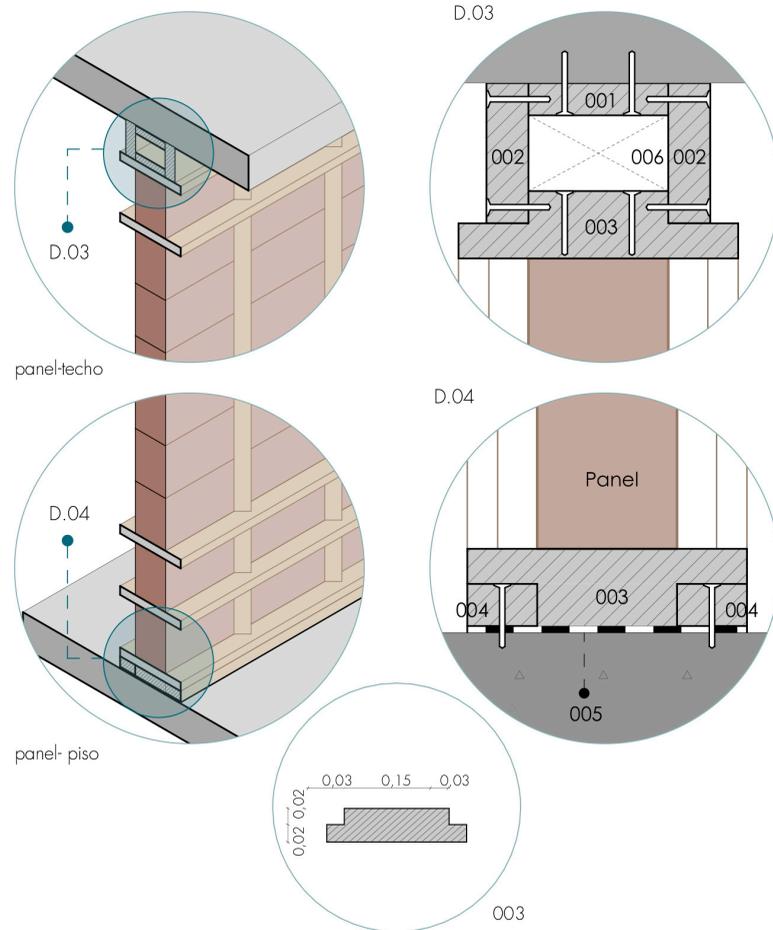
004A - Pieza de madera de pino tratado, de 25mm de espesor y 150mm de ancho, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

006 - 007 - 009 - 010 - Pieza de madera de pino tratado, de 25mm de espesor y 500mm de ancho, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

Diseño de uniones: encuentro panel piso - techo (Figura 25)

Figura 25

Uniones: encuentro panel piso - techo



Especificaciones Técnicas

001 - Pieza de madera de pino tratado, de 25mm de espesor y 100mm de ancho , fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

003 - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

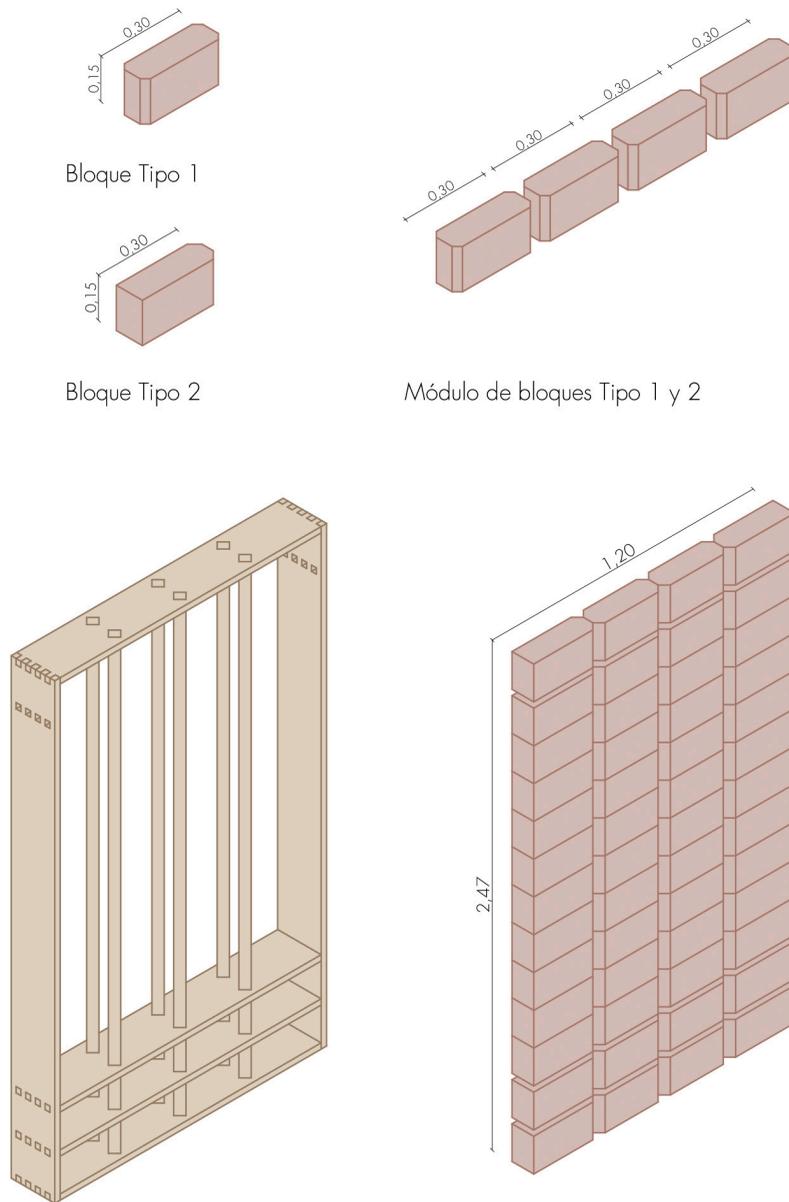
005 - Lámina impermeabilizaste asfáltica, fijada por adhesión, con juntas selladas adhesión.

006 - Ducto de 100mmx54mm.

Modulación: Bloques de tierra comprimida y elementos de madera (Figura 26)

Figura 26

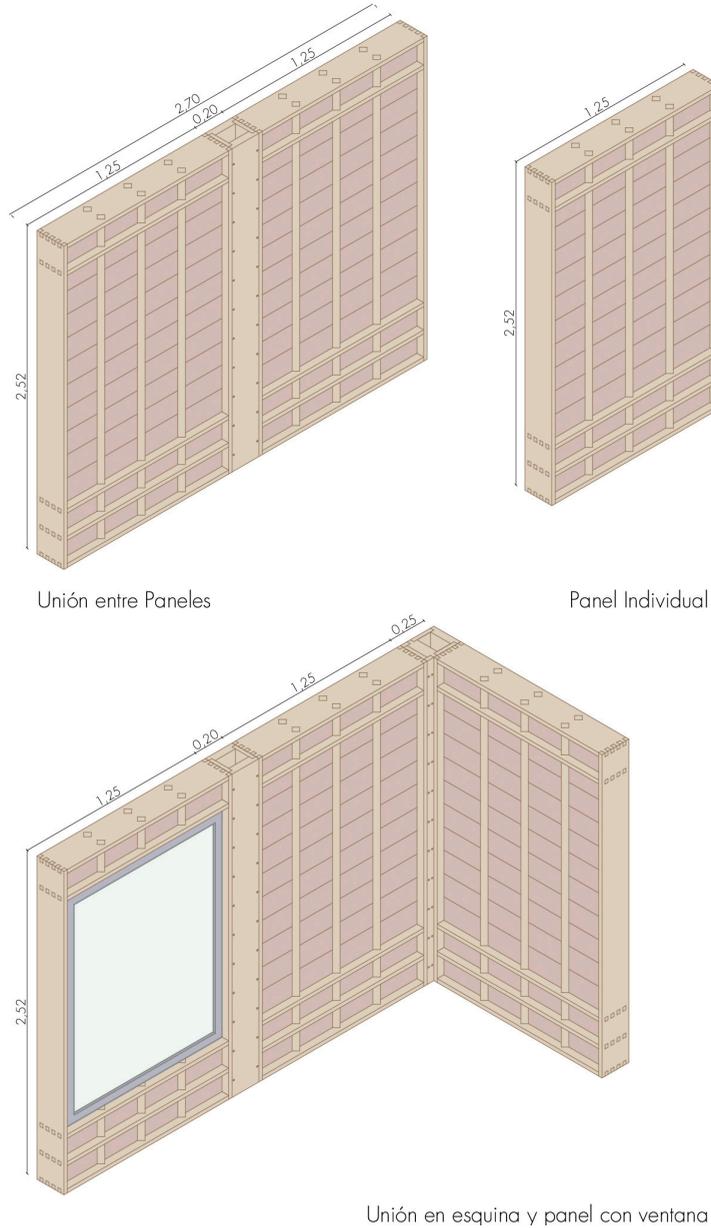
Modulación: Bloques de tierra comprimida y elementos de madera



Modulación: Posibles configuraciones entre tabiques (Figura 27)

Figura 27

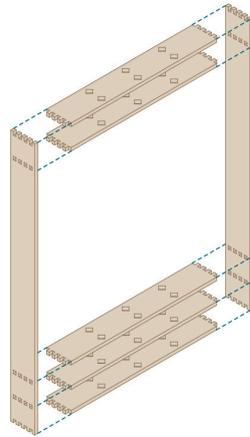
Modulación: Posibles configuraciones entre tabiques



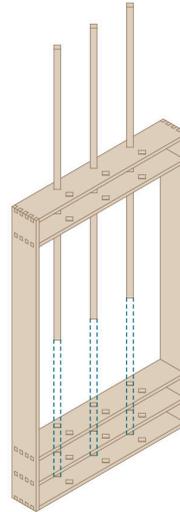
Sistema constructivo: proceso de construcción (Figura 28)

Figura 28

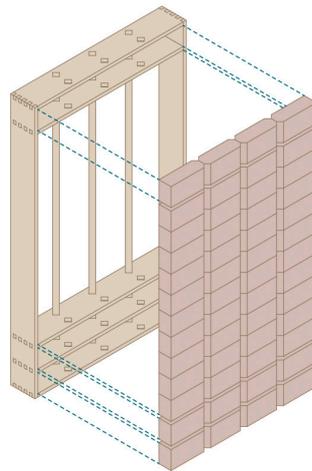
Modulación: Sistema constructivo, proceso de construcción



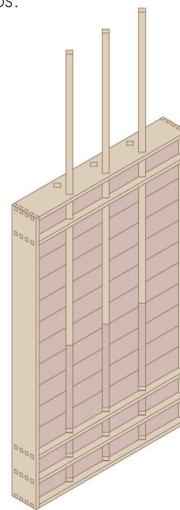
Paso 1
Tablones laterales e intermedios.



Paso 2
Listones internos.



Paso 3
Sistema de trabado: tablones intermedios, listones y bloques.

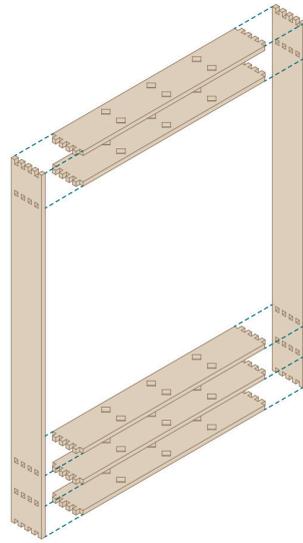


Paso 4
Sistema de trabado: listones frontales.

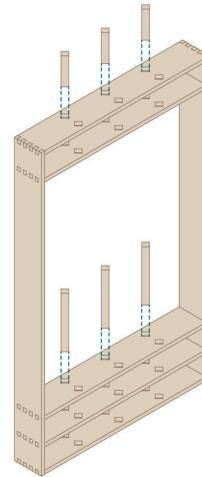
Sistema constructivo: armado de panel con ventana (Figura 29)

Figura 29

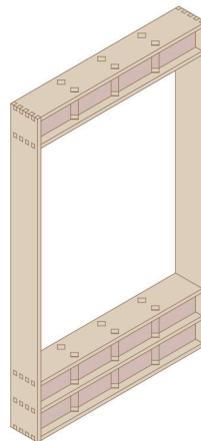
Sistema constructivo: armado de panel con ventana



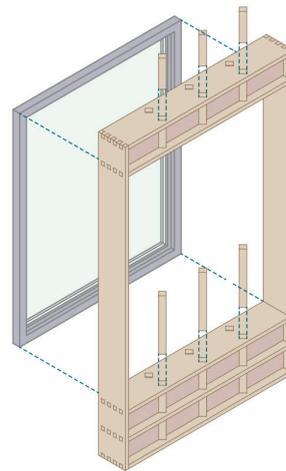
Paso 1
Tablones laterales e intermedios.



Paso 2
Listones internos.



Paso 3
Sistema de trabado: tablones intermedios, listones y bloques.



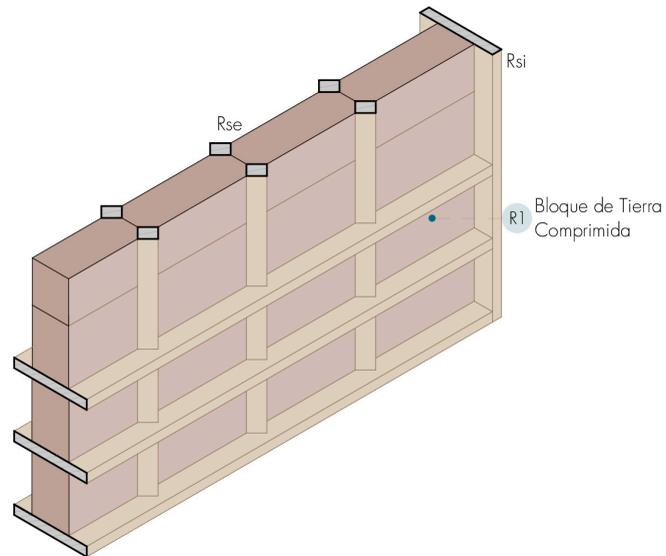
Paso 4
Ventana dentro de la estructura del panel.

Características térmicas (Figura 30)

Figura 30

Características térmicas

Cálculo Resistencia Térmica Total y Factor "U"



Nota: Realizar el cálculo del interior al exterior.

Capa	Espesor (m)	Conductividad λ W/K*m	Resistencia Térmica (m ² *K/W)
Rsi	—	—	0,13
1	0,10	0,81	0,12
Rse	—	—	0,04
		RT	0,29

$$U = 1/RT \text{ (W/m}^2\text{*k)}$$

$$U = 1/0,29 = 3,45 \text{ W/m}^2\text{*k}$$

*Este prototipo se puede implementar para tabiques interiores. Para ser usado en envolventes exteriores, se recomienda implementar: asilamiento térmico, mayor número de capas o incrementar el espesor de los bloques.

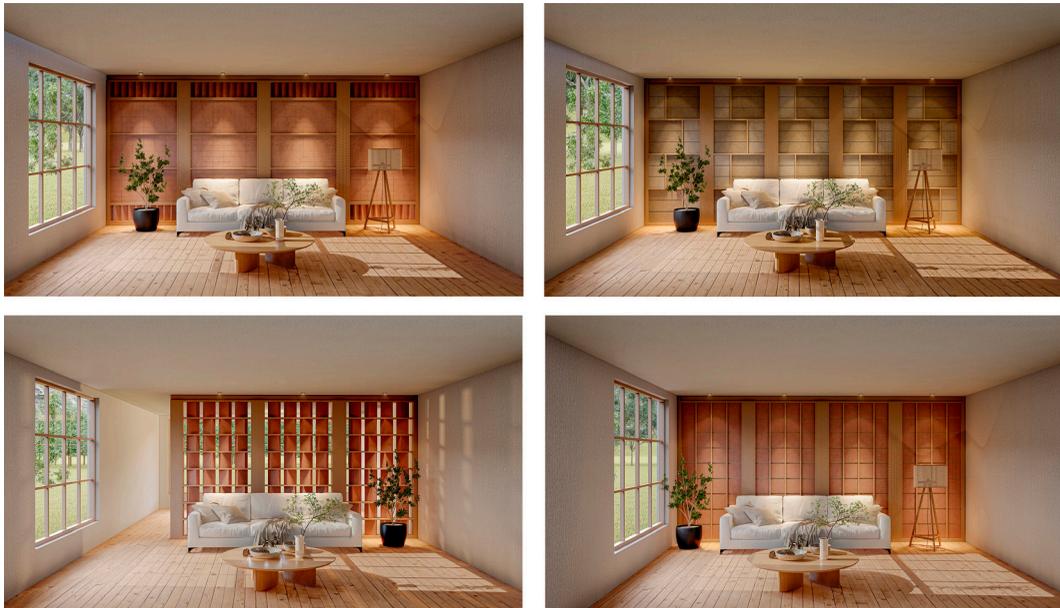
Conclusiones

El atractivo de los bloques de tierra comprimida (BTC), en el ámbito de los materiales de construcción, radica en su bajo impacto ambiental, su disponibilidad y sus propiedades. Pese a que los materiales a base de arcilla cruda han sido los más utilizados a lo largo de la historia de la humanidad, paulatinamente han sido y son reemplazados por materiales de construcción procesados e industrializados. En la actualidad, la innovación del material y las técnicas de construcción con "tierra" hacen posible su aplicación en nuevas soluciones constructivas que, en sinergia con otros materiales, como por ejemplo la madera, permiten diseñar soluciones constructivas sostenibles en comparación con técnicas industriales convencionales.

Este trabajo deja en evidencia que los bloques de tierra comprimida, gracias a sus características mecánicas, acústicas, térmicas y sostenibles, pueden utilizarse para la conformación de tabiques divisorios interiores como una alternativa a materiales industrializados convencionales que incorporan gran cantidad de energía, como una respuesta arquitectónica más amigable con el medio ambiente. Simultáneamente, la plasticidad de la tierra y la posibilidad de conferir resistencia mecánica al material mediante la utilización de prensas y moldes hacen posible el diseño de mampuestos de diferentes formatos adaptables a diferentes sistemas de aparejamiento. La versatilidad de los sistemas mixtos a base de bloques de tierra (BTC) y elementos entramados de madera también permiten generar una diversidad de respuestas arquitectónicas desde el punto de vista formal, aplicable al diseño de espacios interiores (Figura 31).

Figura 31

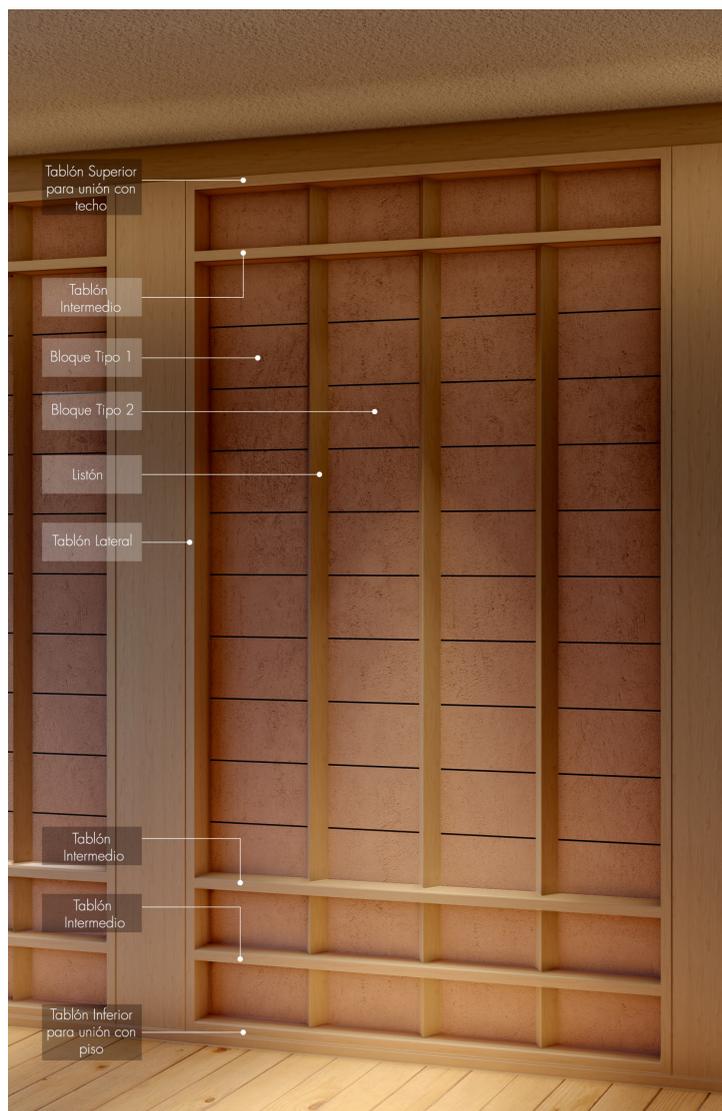
Diferentes alternativas de diseño de tabiques modulares sostenibles con bloques de tierra comprimida para espacios interiores



Como conclusión, también se destaca que la implementación de sistemas mixtos hace posible garantizar la estabilidad estructural de los tabiques divisorios a base de bloques de tierra comprimida. En este estudio, la reinterpretación de los sistemas tradicionales de entramados de madera utilizados en la construcción con bahareque o quincha sirve como punto de partida para el diseño de estructuras de entramados a base de elementos de madera, capaces de trabajar en conjunto con los bloques de tierra comprimida. Así, se convierte en un importante apoyo estructural ante los esfuerzos de flexotracción, cortante o esfuerzos dinámicos a los que puedan someterse los tabiques, dado que, por naturaleza, están exentos de la carga estructural principal del edificio y solo deben garantizar su propia estabilidad (Figura 32).

Figura 32

La implementación de sistemas mixtos hace posible garantizar la estabilidad estructural de los tabiques divisorios



Además de la utilización de bloques de tierra comprimida y elementos de madera para el diseño de sistemas mixtos para tabiquerías, este estudio indaga la posibilidad de proponer sistemas constructivos sostenibles, que hacen uso de criterios de diseño como la modulación, la coordinación dimensional, la prefabricación, el fácil montaje y la posibilidad de desmontaje, para cumplir con los requerimientos de la arquitectura moderna. Finalmente, se lo hace mediante el estudio de los materiales antes mencionados y su aplicación actual en el diseño de tabiques modulares sostenibles con bloques de tierra comprimida para espacios interiores (Figura 33). Como resultado formal del diseño de tabiques modulares sostenibles con bloques de tierra comprimida para espacios interiores propuesto, la investigación cumple el objetivo de evidenciar que existen alternativas a los métodos de construcción convencionales que incorporan gran cantidad de energía, como respuestas satisfactorias desde el punto de vista estético y funcional.

Figura 33

Resultado formal del diseño de tabiques modulares sostenibles con bloques de tierra comprimida para espacios interiores propuesto



Agradecimientos

Un profundo agradecimiento al Rector de la Universidad del Azuay, Francisco Rodrigo Salgado Arteaga, a la Vicerrectora de Investigaciones, Raffaella Ansaloni, y a la Vicerrectora Académica, Genoveva Malo Toral, por su apoyo y respaldo al proyecto de investigación del que se desprende este artículo. También extendemos nuestro agradecimiento a Ana Natalia Mosquera Maldonado, Ana Sofía Idrovo Soliz, Daniel Nicolás Santacruz Alvarado, David Eugenio Saavedra Ortega, Diego Mateo Araujo Gómez, Diana Cristina Ayora Tello, Doménica Camila Gálvez Balarezo, Nicolás Santiago Rivera Palacios, Paul Esteban Barbecho Asmal, Valeria Alejandra Carrera Lazzo, todos ellos ex estudiantes de la Universidad del Azuay, por su valiosa contribución al proyecto de investigación del que se desprende este artículo.

Referencias

- Avrami, E., Guillaud, H., Hardy, M. (2008). Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. En A. Escobar (Ed.). Institute, The Getty Conservation
- Bayon R. (1982). *Los tabiques en el edificio*. Editores Técnicos Asociados.
- Ben Mansour, M., Jelidi, A., Cherif, A. S. y Ben Jabrallah, S. (2016). Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB). *Construction and Building Materials*, 104, 44-51
- Bestraten, S., Hormías, E. y Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20.
- Calderón P., J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. (Tesis de máster). Tecnología de la Arquitectura la Edificación y el Urbanismo. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Calderón-Peñañiel, J. C. (2021). La "tierra": un material compuesto. *Diseño, arte y arquitectura*, 1(10), 167-179
- Cid-Falceto, J., Mazarrón, F. R. y Cañas, I. (2012). Assessment of compressed earth blocks made in Spain: International durability tests. *Construction and Building Materials*, 37, 738-745.
- Cid, J., Mazarrón, F. R. y Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169
- Elavarasan, S., Priya, A. K., Gurusamy, R. R., Naveeth, J. M. R. y Natesh, S. (2021). Experimental study on compressed earth block using fly-ash stabilizer. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 3597-3600.
- Eloundou, T. Joffroy. (2013). Earthen Architecture in today's World, in Proceedings of the UNESCO International Colloquium on the Conservation of World Heritage Earthen Architecture. *UNESCO Publishing*. www.whc.unesco.org/en/series/36/
- Fernandes, J., Peixoto, M., Mateus, R. y Gervásio, H. (2019). Life cycle analysis of environmental impacts of earthen materials in the Portuguese context: Rammed earth and compressed earth blocks. *Journal of Cleaner Production*, 241, 1-19.
- Galindo-Díaz, J., Escorcia-Oyola, O. y González-Calderón, 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) 1-12.
- Hema, C., Messan, A., Lawane, A., Soro, D., Nshimiyimana, P. y van Moeseke, G. (2021). Improving the thermal comfort in hot region through the design of walls made of compressed earth blocks: An experimental investigation. *Journal of Building Engineering*, 38, 21-48.
- Laguna-Torres, C. A., González-López, J. R., Guerra-Cossío, M. Á., Guerrero-Baca, L. F., Chávez-Guerrero, L., Figueroa-Torres, M. Z. y Zaldívar-Cadena, A. A. (2024). Effect of physical, chemical, and mineralogical properties for selection of soils stabilized by alkaline activation of a natural pozzolan for earth construction techniques such as compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 419, 1-19.
- Lan, G., Wang, T., Wang, Y. y Zhang, K. (2023). Seismic performance of interlocking compressed-earth block composite walls. *Composite Structures*, 308, 11-67.
- López-Arce, P., et al. (2012). Caracterización de ladrillos históricos. En La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio (pp. 75-84). *Facultad de Ciencias Geológicas IGEO: Programa Geomateriales*.
- Minke, G. (2006) *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser.
- Ouma, J., Ongwen, N., Ogam, E., Auma, M., Fellah, Z. E. A., Mageto, M., Mansour, M. B. y Oduor, A. (2023). Acoustical properties of compressed earth blocks: Effect of compaction pressure, water hyacinth ash and lime. *Case Studies in Construction Materials*, 18, 1-9.

- Ramsin Rayeesulhaq, M., Lizan Ahamed, M., Arsalan Khushnood, R. y Anis Khan, H. (2024). Optimization in recipe design of interlocking compressed earth blocks by incorporating fine recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 416, 135-167.
- Rigassi, V. (1985). *Compressed Earth Blocks: Manual of Production*. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien - GATE.
- UNE Normalización Española. (2023). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo (UNE 41410:2023). CTN 41/SC 10 - Edificación con tierra cruda.
- Valenzuela, M., Ciudad, G., Cárdenas, J. P., Medina, C., Salas, A., Oñate, A., Pincheira, G., Attia, S. y Tuninetti, V. (2024). Towards the development of performance-efficient compressed earth blocks from industrial and agro-industrial by-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 1-18.
- Van Damme, H. y Houben, H. (2018). Earth concrete: Stabilization revisited. *Cement and Concrete Research*, 114, 90-102.
- Yuste, B. (2010). *Arquitectura de tierra, Caracterización de los tipos edificatorios* (Tesis de máster). Universidad Politécnica de Cataluña, (ETSAB).