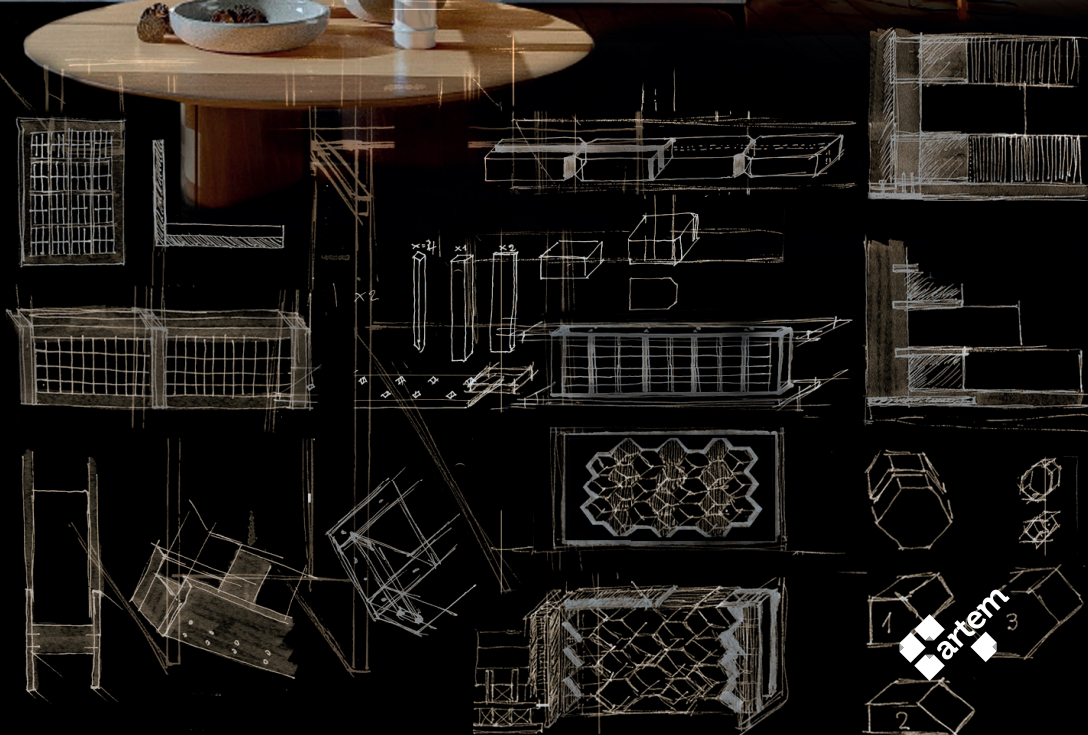


JUAN CARLOS CALDERÓN PEÑAFIEL

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON TIERRA Y MADERA:

PRINCIPIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS MIXTAS EN TABIQUES PREFABRICADOS MODULARES



CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON TIERRA Y MADERA:

PRINCIPIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS MIXTAS EN TABIQUES PREFABRICADOS MODULARES



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

Este libro recoge los resultados del proyecto titulado "Diseño de sistema constructivo sostenible y modular de tabiquerías de cierre" financiado por el Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad del Azuay e impulsado por el Grupo de Investigación en Arquitectura de la misma institución.

**CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON TIERRA Y MADERA:
PRINCIPIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS MIXTAS EN TABIQUES
PREFABRICADOS MODULARES**

© del texto completo: Juan Carlos Calderón Peñafiel, 2024

© primera edición: Universidad del Azuay. Casa Editora, 2024

ISBN: 978-9942-645-94-4

e-ISBN: 978-9942-645-95-1

Diseño, ilustraciones y diagramación:

Araujo Gómez Diego Mateo

Ayora Tello Diana Cristina

Carrera Lazzo Valeria Alejandra

Calderón Peñafiel Juan Carlos

Cuenca Palacios Eduardo Andrés

Gálvez Balarezo Doménica Camila

Idrovo Soliz Ana Sofía

Mosquera Maldonado Ana Natalia

Saavedra Ortega David Eugenio

Santacruz Alvarado Daniel Nicolás

Sanmartín Mosquera Andersson Xavier

Corrección de estilo: Sebastián Carrasco Hermida

Revisores pares: Juan Fernando Hidalgo, Alicia Rivera Rogel.

Impresión: PrintLab / Universidad del Azuay
en Cuenca del Ecuador

*Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio,
sin la autorización expresa del titular de los derechos.*

CONSEJO EDITORIAL / UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Francisco Salgado Arteaga

Rector

Genoveva Malo Toral

Vicerrectora Académica

Raffaella Ansaloni

Vicerrectora de Investigaciones

Toa Tripaldi

Directora de la Casa Editora

JUAN CARLOS CALDERÓN PEÑAFIEL (AUTOR)

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON TIERRA Y MADERA:

PRINCIPIOS DE DISEÑO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS MIXTAS EN TABIQUES PREFABRICADOS MODULARES

A los aprendientes...

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1: TABIQUES	15
1.1 Introducción	15
1.2 Definición de tabique	18
1.3 Tipos de tabiques	18
1.4 Reseña histórica	21
1.5 Conclusiones	25
CAPÍTULO 2: TABIQUES CON ARCILLA	27
2.1 Introducción	27
2.2 Tabiques tradicionales con mampuestos con barro	32
2.2.1 Tabiques con adobe	34
2.3 Tabiques tradicionales con entramados y barro	55
2.3.1 Tabiques con bahareque y quincha	60
2.4 Tabiques tradicionales con tierra compactada	81
2.4.1 Tabiques con tapial	84
2.5 Tabiques modernos con elementos prefabricados con tierra	101
2.5.1 Tabiques con btc	103
2.5.2 Tabiques con elementos compuestos con arcilla	109
2.5.3 Tabiques con bloques de gran formato con tierra compactada	113
2.5.4 Tabiques de hormigón de arcilla	118
2.5.5 Tabiques con entramados y morteros de arcilla	122
2.6 Conclusiones	129
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA	133
3.1 Introducción	133
3.2 Bloques de tierra comprimida (btc)	137
3.2.1. Reseña histórica	142

3.2.2. Tipos de bloques de tierra comprimida (btc)	146
3.2.3. Características del material	150
3.3 Entramados con elementos de madera	156
3.3.1. Reseña histórica	159
3.3.2. Tipos de piezas y uniones en entramados con madera para tabiques	163
3.3.3. Características del material	181
3.4 Conclusiones	188

CAPITULO 4: TABIQUES SOSTENIBLES Y MODULARES A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE TIERRA Y PIEZAS DE MADERA: DISEÑO DE PROTOTIPOS

4.1 Introducción	191
4.2 Prototipos	195
4.2.1 Prototipo 01	195
4.2.2 Prototipo 02	213
4.2.3 Prototipo 03	233
4.2.4 Prototipo 04	253
4.2.5 Prototipo 05	273
4.2.6 Prototipo 06	289
4.3 Conclusiones	306

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

CRÉDITOS DE FIGURAS

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN

Los tabiques son elementos constructivos que han formado parte de la arquitectura y la construcción a lo largo de la historia, desde la cabaña primitiva hasta la actual 'passivhaus'. La necesidad de compartimentar los espacios interiores ha promovido la aplicación y el desarrollo de distintos tipos de materiales y sistemas constructivos para tabiques. En el contexto de la construcción y la arquitectura de los siglos XIX y XX, el avance científico y tecnológico propició notables adelantos en la innovación de materiales, elementos y sistemas constructivos industrializados. Estos han sido ampliamente utilizados hasta la actualidad, lo que incluye sistemas a base de acero, hormigón, ladrillos cerámicos y otros productos procesados. Lamentablemente, la mayoría de estos avances no consideraron la huella ecológica ni la repercusión medioambiental de los modelos constructivos implicados, así como el uso de algunos materiales y las prácticas constructivas derivadas.

La tierra, con la arcilla como su principal conglomerante, pese a una creencia generalizada que la asocia con la obsolescencia y la pobreza, ha formado parte de los materiales sostenibles más empleados para la construcción y la arquitectura hasta la fecha, principal-

mente mediante técnicas tradicionales como el adobe, el bahareque, la quincha, el tapial, el cob, etc. Lamentablemente, a partir de la revolución industrial, este material y el desarrollo de estas técnicas constructivas poco a poco fueron quedando en el olvido, debido a la aparición de materiales industrializados que, al presentar características mecánicas superiores y la posibilidad de una producción sistematizada para su comercialización, coparon toda la atención de la academia y los actores de la construcción.

Por otra parte, la madera, a pesar de que depende de su disponibilidad, también ha servido como material sostenible utilizado en sistemas mixtos con tierra, mediante elementos estereotómicos, como aquellos compuestos por piezas pesadas como el adobe y el tapial, y elementos tectónicos, con piezas de menor tamaño y sistemas de entramados como el bahareque o la quincha. Aunque hace algunos años la continuidad del desarrollo y utilización de la madera se vio amenazada por la tala indiscriminada de bosques, en la actualidad existen y se promueven políticas de cultivo circular responsable, que garantizan la obtención de materia prima sin perjudicar al ecosistema.

A diferencia de lo que ocurría en el pasado, la arquitectura contemporánea, en respuesta a la crisis ambiental que marcó el comienzo del siglo XXI, ha enfocado su atención en materiales sostenibles y técnicas de construcción diseñadas para reducir el impacto negativo en el ecosistema. En este contexto, el estudio y la aplicación de la tierra y la madera en elementos y sistemas constructivos emergen como opciones viables y pertinentes.

Si se toma en cuenta lo mencionado anteriormente, este libro se adentra en el estudio de variados conceptos y tecnologías tradicionales que se emplean en la fabricación de tabiques de tierra y elementos de madera. Explora también las tendencias actuales en la utilización de estructuras mixtas con tierra y elementos de madera, y culmina con el desarrollo de prototipos de tabiques sostenibles, modulares y prefabricados que incorporan bloques de tierra comprimida (BTC) y estructuras de madera. Dichos prototipos se diseñan para cumplir con los requisitos formales, estructurales y funcionales exigidos por la arquitectura moderna, lo que representa una alternativa viable a los sistemas y componentes constructivos convencionales que incorporan un alto consumo energético. Asimismo, el

análisis de las técnicas tradicionales y contemporáneas que incorporan la tierra y la madera para la configuración de tabiques brinda herramientas conceptuales y proyectuales para que estudiantes de arquitectura, arquitectos, diseñadores de interiores y constructores las apliquen en el diseño y desarrollo de modelos constructivos sostenibles.

CAPÍTULO 1: TABIQUES

- 1.1 INTRODUCCIÓN
- 1.2 DEFINICIÓN DE TABIQUE
- 1.3 TIPOS DE TABIQUES
- 1.4 RESEÑA HISTÓRICA
- 1.5 CONCLUSIONES

1.1 INTRODUCCIÓN

Tabiques, paredes, muros, particiones y paneles son elementos arquitectónicos verticales divisorios que pueden, o no, tener una vocación estructural. Pese a que todos estos elementos tienen como característica común su función divisoria, cada uno presenta ciertas particularidades. La pared, comúnmente, es definida como una estructura vertical y continua que separa o encierra un espacio interior o exterior, lo que asegura que las cargas se distribuyan adecuadamente (Neufert, 2012). Las paredes de la envolvente de un edificio son importantes para la protección contra elementos externos, tales como viento, lluvia, calor y frío. Además de su función estructural y funcional, las paredes también desempeñan un papel formal importante en la configuración y el diseño arquitectóni-

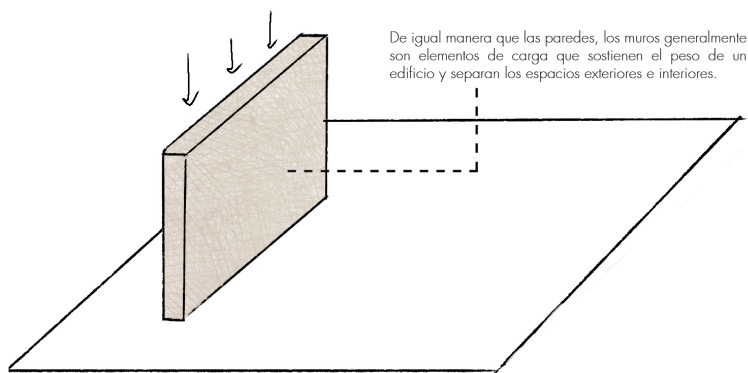
co, y pueden ser utilizadas para crear diferentes espacios y ambientes que reflejen la cultura de una región o época, mediante una materialidad determinada (Lange, 2018).

De igual manera que las paredes, los muros, generalmente, son elementos de carga que sostienen el peso de una edificación y, a la vez, separan los espacios exteriores e interiores (ver Figura 1.1.1). Los muros son los elementos estructurales que proporcionan resistencia y rigidez a un edificio y suelen tener mayor grosor que otros elementos divisorios (Kim, 2015). Los muros de carga comúnmente soportan cargas verticales y horizontales que actúan sobre ellos. Los muros de contención están diseñados para resistir el empuje del suelo y mantener la estabi-

lidad de una estructura; se utilizan comúnmente para sostener terrenos en pendiente o para contener tierras excavadas. Los muros pantalla son elementos verticales, generalmente de concreto armado, que se utilizan como cimentaciones profundas en la construcción de edificios de gran altura. También podemos encontrar muros únicamente divisorios que se utilizan para separar el espacio en diferentes habitaciones o áreas funcionales y, en otra connotación diferente, muros cortina que funcionan como sistemas acristalados de fachada, diseñados para soportar su propio peso y las cargas de viento (Ching et al., 2010).

Por otro lado, existen elementos divisorios que comúnmente no están diseñados para soportar cargas adicionales a las de su propio peso, como son las particiones, los paneles,

los tabiques, etc. Un tabique es un elemento arquitectónico interior que divide el espacio y puede cumplir con funciones específicas como, por ejemplo, aislamiento acústico y aislamiento térmico. Los tabiques pueden estar hechos de diversos materiales como ladrillos, bloques de concreto, yeso-cartón, entramados con madera, bloques de tierra, etc. Su grosor depende de su función y ubicación en el edificio. Del mismo modo, las particiones y los paneles divisorios son elementos constructivos no estructurales que se utilizan para separar ambientes, ya sea de forma temporal o permanente, por lo que pueden ser fijos o móviles. Comúnmente, son elementos ligeros que se pueden colocar y remover fácilmente. (García, 2010). En este contexto, pese a que algunos autores señalan que los tabiques también pueden ser utilizados como elementos estructurales que, además de



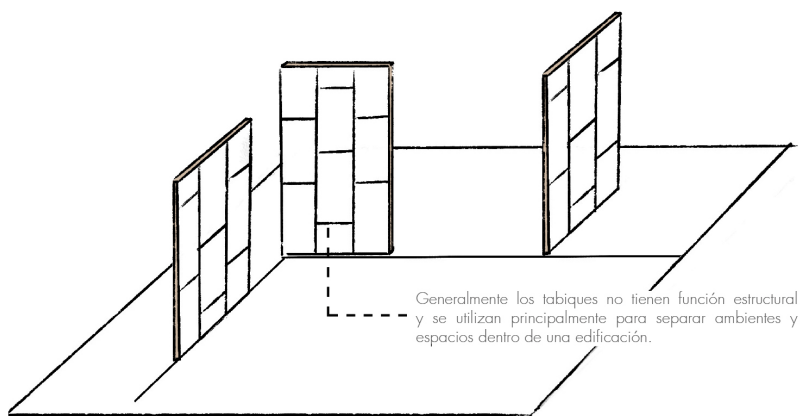
De igual manera que las paredes, los muros generalmente son elementos de carga que sostienen el peso de un edificio y separan los espacios exteriores e interiores.

Fig. 1.1.1 | Muro de carga | Fuente: Autoría Propia. (2024).

soportar su propio peso, pueden admitir cargas verticales y horizontales de un proyecto, en general, estos elementos no tienen función estructural en el sostén de la edificación y se utilizan principalmente para separar ambientes (ver Figura 1.1.2).

En el uso cotidiano del lenguaje arquitectónico, en muchos casos, no hay una gran diferencia entre tabique, panel, partición, al considerar que son elementos divisorios no estructurales, y entre “muro” y “pared”. Estas dos últimas palabras se refieren a una superficie vertical que, al hacer connotación de una vocación estructural, se utilizan para dividir o delimitar un espacio. Sin embargo, en algunos contextos específicos, la palabra “muro” puede tener una connotación más fuerte de solidez, grosor o función estructural, mientras

que la palabra “pared” puede tener una connotación más débil, en ese sentido. Como conclusión, podríamos decir que los elementos constructivos divisorios verticales podrían estar clasificados en dos grandes grupos: por un lado, están las paredes y muros como elementos que, generalmente, son elementos estructurales; y, por otro lado, tabiques, particiones y paneles que, a pesar de que pueden cumplir diferentes funciones, comúnmente no son utilizados como elementos estructurales.



Generalmente los tabiques no tienen función estructural y se utilizan principalmente para separar ambientes y espacios dentro de una edificación.

Fig. 1.1.2 | Tabique divisor | Fuente: Autoría Propia. (2024).

1.2 DEFINICIÓN DE TABIQUE

“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” (Bayon, 1982, p. 7). El hecho de que los tabiques puedan estar hechos de diferentes materiales los hace capaces de adquirir características únicas. Además de su función de dividir espacios, los tabiques también pueden tener propiedades acústicas, térmicas, estéticas, etc.

1.3 TIPOS DE TABIQUES

Los tabiques se pueden clasificar en fijos y móviles (Figura 1.3.1 y 1.3.2). En el caso de los primeros (tabiques fijos), se subdividen en diferentes tipos de tabiques de albañilería, tabiques de protección, tabiques de yeso y tabiques decorativos; en el segundo caso (tabiques móviles), se subdividen en diferentes tipos de tabiques desmontables, tabiques extensibles y tabiques de taller (Bayon, 1982).

Si bien una forma de clasificar los tabiques se enfoca en estos dos grandes grupos: tabiques fijos y tabiques móviles, existen otros tipos de tabiques, los cuales se pueden clasificar de diferente forma, por ejemplo, considerando el material principal del elemento: tabiques con mampostería de piedra, tabiques con “tierra”, tabiques con ladrillos de arcilla cocida, tabiques con bloques de hormigón, tabiques con madera, tabiques con metal, tabiques con vidrio, tabiques con hormigón armado, tabiques con cartón-yeso, etc. Otra forma de clasificar los tabiques es mediante su función: tabiques divisorios, tabiques inteligentes, tabiques acústicos, tabiques ignífugos, tabiques térmicos, tabiques decorativos, etc.

Tabiques móviles: Los tabiques pueden trabajar conjuntamente con sistemas automatizados o manuales para generar divisiones móviles.

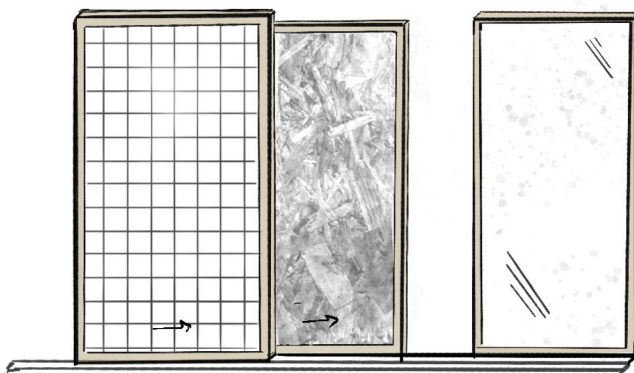


Fig. 1.3.1 | Tabiques móviles | Fuente: Autoría Propia. (2024).

Tabiques fijos: los tabiques pueden fijos y estar conformados por elementos monolíticos o por elementos pesados.

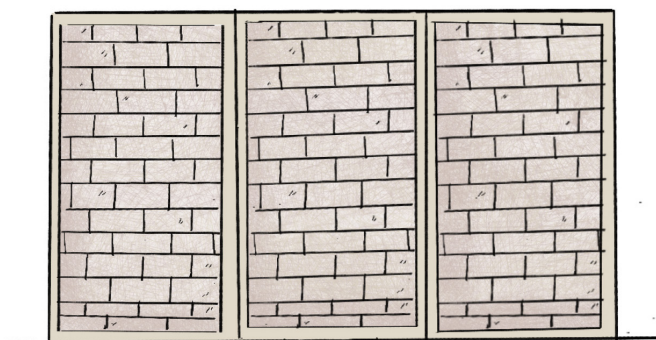


Fig. 1.3.2 | Tabiques fijos | Fuente: Autoría Propia. (2024).

1.4 RESEÑA HISTÓRICA

Desde la antigüedad, los tabiques han sido una parte fundamental de la arquitectura. A lo largo de la historia, los tabiques han sufrido notables modificaciones desde los elementos hechos con tierra, entramados de madera, pieles de animales y otros materiales naturales, hasta los tabiques prefabricados actuales de acero, vidrio, cartón-yeso y un gran abanico de materiales "modernos", procesados industrialmente, de los cuales se desprende una extensa gama de elementos compuestos. La historia de los tabiques se remonta a la antigua Mesopotamia, en donde se construían elementos con bloques de arcilla para separar habitaciones y crear privacidad. En el antiguo Egipto, se utilizaban tabiques de madera y tela para dividir las casas y crear áreas privadas. En la antigua Grecia y Roma, se utilizaban tabiques de piedra y mármol para dividir los espacios en los edificios públicos y las casas de la aristocracia (Brockman, 2008).

En la Edad Media se desarrollaron nuevas técnicas de construcción de tabiques. En Oriente, se construían tabiques de papel y bambú o madera para separar las habitaciones y proporcionar privacidad. En Europa, al igual que en América y otros continentes, se utilizaba el entramado de madera, como sostén principal, que se rellenaba con arcilla con paja para crear tabiques divisorios. Con el paso del tiempo y según las necesidades, los tabiques evolucionaron y pasaron a ser elementos más grandes y elaborados, y se utilizaron para separar las áreas públicas de las privadas en castillos, fortificaciones y edificaciones de di-



Fig. 1.4.1 | Evolución tecnológica de Tabiques | Fuente: Autoría Propia. (2024).

ferente escala (Giménez, 2010). Por otra parte, los tabiques hechos con bloques de arcilla cocida fueron popularizados, ya que con la producción en serie se garantizó el suministro y obtención de materiales que ofrecían mayor resistencia y durabilidad que los tabiques de barro crudo. Los tabiques de ladrillo eran comunes en las casas de la nobleza, las iglesias, los castillos, los monasterios, los conventos y, posteriormente, en las viviendas de gran parte de ciudadanos (Brown, 1997).

Durante la Revolución Industrial, la configuración y materialidad de los tabiques se vio notablemente influenciada por la automatización de los modelos de producción en serie, mediante la utilización de máquinas y, al mismo tiempo, por los nuevos modelos de arquitectura que promocionaron el uso de materiales,



elementos y sistemas de construcción industrializados (Gómez, 2014). En la década de 1950, los tabiques adoptaron los parámetros de la arquitectura moderna y el uso de materiales como el hormigón, el vidrio y el acero (Rodríguez, 2018). Los tabiques de vidrio y acero permitieron flexibilidad en la separación de los espacios y una mayor transparencia visual, pese a que los tabiques de ladrillo siguieron siendo una opción popular para dividir espacios en edificios residenciales y comerciales. En el siglo XIX se produjo una gran demanda de ladrillos de arcilla cocida, lo que permitió la producción en masa y la construcción de edificios cada vez más altos con mampuestos (Schade y Olson, 2011).

Por otra parte, el Modelo “Dom-Ino” de Le Corbusier, que fue una propuesta conceptual que revolucionó la arquitectura del siglo XX, también influyó en la proliferación de elementos arquitectónicos divisorios no estructurales como tabiques, paneles, particiones, etc. (Figura 1.4.1) Presentado en 1914 como un modelo de construcción en serie que daba paso a la rápida edificación de viviendas económicas, el concepto “Dom-Ino” se basó en una estructura independiente que permitía una mayor libertad en la disposición de los espacios interiores y exteriores. El sistema daba paso a una construcción que podía ser adaptada a diferentes necesidades y escalas, y su impacto en la arquitectura moderna fue enorme: permitió una mayor libertad en la disposición de los espacios interiores y esto se tradujo en una arquitectura más dinámica y versátil, con la

utilización de elementos constructivos divisorios que podían ubicarse de manera independiente a la estructura del edificio (Gössel, 1983).

En el siglo XX también se popularizaron algunos materiales para la construcción de tabiques como el yeso laminado y los paneles de yeso-cartón, que ofrecían una mayor versatilidad y facilidad de instalación que los tabiques de ladrillo. El yeso laminado se introdujo en los Estados Unidos en la década de 1920, y se convirtió en un material popular para la construcción de tabiques en las décadas siguientes, ya que ofrecían una mayor resistencia al fuego y una mejor acústica que otros paneles (Thompson, 2003). Los tabiques de ladrillo, en muchos casos, empezaron a ser reemplazados por los paneles de yeso, que eran más económicos y fáciles de instalar (Pérez, 2016).

Actualmente, la arquitectura está directamente influenciada por la revolución tecnológica y la imperativa problemática medioambiental con la que hemos entrado al siglo XXI. En el contexto del primer escenario, la ciencia y la tecnología ha repercutido en la producción de nuevos tipos de tabiques. Desde hace varias décadas, en la industria de la construcción, se están desarrollando nuevos elementos constructivos utilizando materiales compuestos y materiales de nueva generación que ofrecen propiedades mejoradas de resistencia y aislamiento, pero en la mayoría de los casos siguen constituyendo materiales poco sostenibles. También existen tabiques que lejos de ser sostenibles, apuntan a la puesta en obra de las tecnologías “inteligentes”, como aquellas aplicadas a los tabiques inteligentes que combinan los benefi-

cios de los materiales de construcción modernos con la última tecnología en automatización y control de espacios. Los tabiques inteligentes se definen como particiones interiores que están equipadas con tecnología avanzada, como sensores y sistemas de automatización, lo que les permite ser controlados de forma remota mediante una aplicación móvil, mediante sensores o comandos de voz (Stadler y Schiffrer, 2018).

Por otro lado, la crisis medioambiental ha generado un cambio de paradigma en lo referente a las prácticas constructivas que nos han sido heredadas, y nos ha obligado a abordar nuevos retos en lo referente a este tema. Con el afán de preservar el ecosistema, las instituciones académicas y los profesionales de la arquitectura han retomado el estudio y la aplicación de materiales de construcción de procedencia natural, como es el caso de la madera y la tierra, debido a que no incorporan grandes cantidades de energía y producen un impacto ambiental menor al de los materiales convencionales, popularizados en la arquitectura del siglo XX.

1.5 CONCLUSIONES

La evolución de la arquitectura y sus componentes, incluyendo los diversos tipos de tabiques, responde de manera continua a las demandas emergentes. Aunque los tabiques, como elementos divisorios utilizados en la compartimentación de espacios, han sido una constante a lo largo de la historia, su progresiva transformación ha conducido a la formación de una extensa familia de elementos, tanto fijos como móviles, capaces de desempeñar funciones diversas. En el contexto de la arquitectura contemporánea, caracterizada por una creciente conciencia medioambiental, se busca adoptar soluciones versátiles, eficientes y respetuosas con el entorno. En este panorama, se observa un renovado interés en el empleo de materiales naturales, que demandan bajos niveles de energía tanto en su fabricación como en su aplicación. Materiales como la arcilla y la madera han resurgido como componentes fundamentales en soluciones arquitectónicas contemporáneas. Gracias a una reinterpretación impulsada por los avances científicos y tecnológicos, estos materiales no solo cumplen con las exigencias de la arquitectura moderna, sino que también se alinean con los principios sostenibles imperantes.

La integración de estos materiales en sistemas constructivos modulares no sólo responde a criterios de eficiencia energética, sino que también abraza la esencia de prácticas constructivas más respetuosas con el entorno y sostenibles desde un punto de vista económico y social. En este sentido, la sinergia entre la ciencia, la tecnología y la tradición se presenta como un camino prometedor para la generación de soluciones arquitectónicas sostenibles y funcionalmente adaptables, aplicadas a la producción de tabiques divisorios.

CAPÍTULO 2: TABIQUES CON ARCILLA

- 2.1 INTRODUCCIÓN
- 2.2 TABIQUES TRADICIONALES CON MAMPUESTOS CON BARRO
 - 2.2.1 Tabiques con adobe
- 2.3 TABIQUES TRADICIONALES CON ENTRAMADOS Y BARRO
 - 2.3.1 Tabiques con bahareque y quincha
- 2.4 TABIQUES TRADICIONALES CON TIERRA COMPACTADA
 - 2.4.1 Tabiques con tapial
- 2.5 TABIQUES MODERNOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS CON TIERRA
 - 2.5.1 Tabiques con btc
 - 2.5.2 Tabiques con elementos compuestos con arcilla
 - 2.5.3 Tabiques con bloques de gran formato con tierra compactada
 - 2.5.4 Tabiques de hormigón de arcilla
 - 2.5.5 Tabiques con entramados y morteros de arcilla
- 2.6 CONCLUSIONES

2.1 INTRODUCCIÓN

Desde los antiguos tabiques hechos con entramados con barro y adobes hasta los modernos tabiques prefabricados de arcilla y madera laminada, la tierra, como material de construcción, ha sido un material protagonista en la historia de la arquitectura. En todas las culturas y civilizaciones, con el paso de los siglos, se han ido transmitiendo y transformando diferentes tipos de técnicas constructivas con tierra, utilizadas para la fabricación de diferentes tipos de elementos arquitectónicos, donde se incluyen los tabiques.

Los orígenes histórico-tecnológicos de la tabiquería con “tierra” han sido objeto de escaso estudio. En la mayoría de las ocasiones, resulta complicado identificar ruinas de tierra en con-

textos arqueológicos (Pastor, 2016). Gran parte de las construcciones de “tierra” erigidas en tiempos antiguos, al finalizar su ciclo de vida útil y debido a la intervención humana o los efectos del clima, se desintegraron y retornaron a la naturaleza. Este fenómeno ha provocado una pérdida irreversible de conocimiento acerca de los tabiques y las técnicas constructivas utilizadas por las antiguas civilizaciones, que emplearon la “tierra” como material principal de edificación. Gracias a las características sostenibles del material, la huella ecológica que dejaron las edificaciones construidas con tierra es menor a la huella que se genera actualmente con procesos constructivos, a base de materiales modernos e industrializados.

Hasta el momento, las ruinas más antiguas registradas se ubican en Medio Oriente, específicamente en la región que actualmente comprende Jordania, Siria, Irán, Irak, Israel, Líbano y Turquía. En estos lugares, se han descubierto evidencias arqueológicas de edificaciones permanentes que se remontan más de 10.000 años atrás (Schroeder, 2016) (Figura 2.1.1).

La arquitectura tradicional de tabiques con tierra abarca una amplia variedad de técnicas constructivas que han estado determinadas por las condiciones climáticas, las características socioculturales y económicas, y las particularidades geológicas y tecnológicas de cada región. Donde la madera o la piedra han sido abundantes, la “tierra” se ha integrado en sistemas de construcción mixtos para tabiques, al combinar modelos tectónicos y estereotómicos.

En cambio, en regiones donde la madera o la piedra han sido escasas, la “tierra” ha sido empleada para erigir tanto estructuras portantes como elementos divisorios, que siguen modelos estereotómicos (Calderón, 2021). Las técnicas de construcción de tabiques con tierra más populares pueden clasificarse en tres categorías principales: los tabiques de mampostería con tierra, los tabiques con tierra en estructuras mixtas (entramados) y los tabiques monolíticos de tierra (Gómez et al., 2021). Estas categorías no son necesariamente excluyentes y muchas veces se superponen, lo que da lugar a una amplia gama de posibilidades para la producción de arquitectura. Si bien estas técnicas han sido utilizadas y catalogadas como técnicas tradicionales, hoy en día siguen teniendo relevancia en el contexto contemporáneo enfocado en respuestas sostenibles.



Fig. 2.1.1 | Ruinas Medio Oriente Mapa | Fuente: Autoría Propia. (2024).

En este contexto, los constructores de épocas pasadas que utilizaron el barro como material se beneficiaron principalmente de la facilidad de elaborar piezas de dimensiones reducidas y refinaron el proceso de moldeo y secado. Los tabiques tradicionales de mampostería de tierra implican la utilización de adobes o bloques de tierra secados al sol, que se unen con mortero de arcilla. Esta técnica permite la creación de estructuras regulares que trabajan generalmente a esfuerzos de compresión. Así, entre las tecnologías para la construcción de tabiques más extendidas alrededor del mundo han estado aquellas que usan el mampuesto como elemento constructivo (Figura 2.1.2), lo que ha evolucionado tecnológicamente, en lo referente a su resistencia desde la arcilla cruda a la arcilla cocida. Sin embargo, curiosamente, ha involucionado en lo referente al impacto ambiental que conlleva el excesivo uso de energía para la fabricación del material.

Por otro lado, la tierra está presente en tabiques que incluyen estructuras mixtas. Estas tecnologías permiten el trabajo sinérgico entre el barro y otros materiales como madera, bambú y las fibras vegetales, al aprovechar las propiedades complementarias de cada uno de los materiales que intervienen, para crear construcciones estables a diferentes esfuerzos. Finalmente, los tabiques monolíticos de tierra son elementos en los que la materia prima (arcilla y agregados térreos), a menudo con necesidad de encofrados, se compacta y moldea para formar tabiques monolíticos, sólidos y continuos.

Asimismo, la inclusión de materiales como la paja y otros “estabilizantes” se introdujo gra-

dualmente mediante un proceso de experimentación técnica (Calderón, 2021). Algunos de los avances en lo referente a los mecanismos de estabilización con materiales naturales se han perfeccionado e incluso se han podido entender desde la ciencia, lo que hace posible su reproducción mediante materiales sintéticos. Sin embargo, la mayor parte del conocimiento tradicional y popular se perdió, debido a que la transmisión tecnológica que se daba de generación a generación se interrumpió con el advenimiento de la academia y del abandono del material, en los ámbitos de la arquitectura moderna.

A partir de los años setenta, con el crecimiento de la preocupación medioambiental, un reducido grupo de actores en el sector de la construcción reavivó su interés en el uso y estudio de la tierra. Un ejemplo significativo de esta tendencia fue la creación de CRAterre que, desde 1979, ha destacado como una organización líder en la investigación y difusión del conocimiento, especialmente enfocada en la recuperación y promoción de técnicas tradicionales de construcción con barro (Calderón, 2021).

Gracias a los avances de la ciencia y la tecnología, además del gran número de técnicas tradicionales, se ha desarrollado una amplia gama de elementos constructivos prefabricados que incluyen el uso de la tierra como material principal para la construcción de tabiques, como por ejemplo: bloques de tierra comprimida (BTC o CEB, por sus siglas en inglés), bloques con materiales compuestos, bloques de gran formato con tierra compactada, tabiques con sistemas constructivos mixtos modernos, ta-

biques prefabricados compuestos a base de arcilla y fibras, tabiques con hormigón de arcilla, etc. La técnica de compactación o compresión del material, presente desde siempre, ha sido ampliamente desarrollada gracias a la tecnificación que se ha ido dando en lo referente a la construcción a base de moldes o de encofrados, así como al uso de prensas y máquinas compactadoras altamente eficientes y a todo el abanico de herramientas modernas.

Si bien este estudio se centra en el uso de bloques de tierra comprimida y elementos de madera, es pertinente revisar el amplio campo

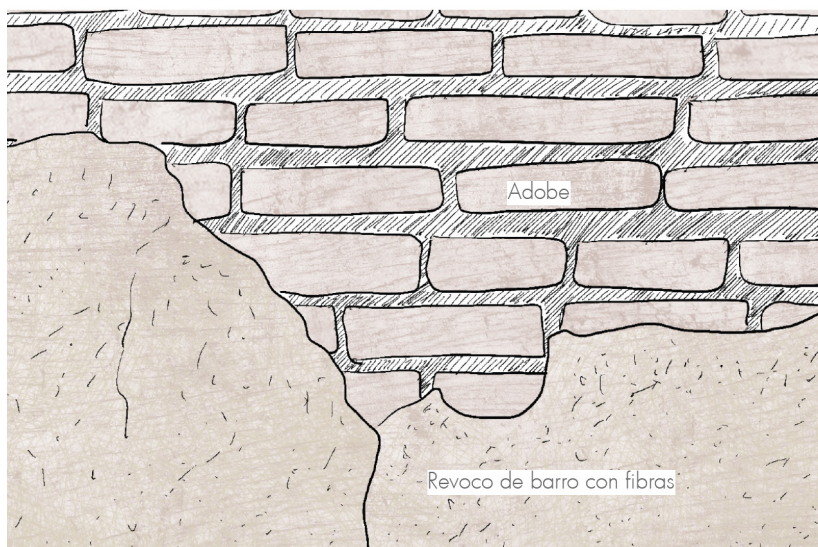


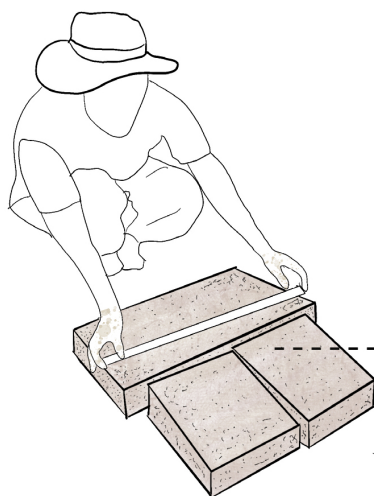
Fig. 2.1.2 | Tabique de Adobe | Fuente: Autoría Propia. (2024).

de estudio que engloba a los diferentes tipos de tabiques con tierra. Se debe considerar la imperante necesidad de buscar soluciones a la crisis ambiental y económica con la que hemos empezado el siglo XXI. Hoy, la tierra como material de construcción es una alternativa sostenible desde el punto de vista ambiental, social y económico y, pese a que existe la creencia generalizada de que es un material que ha sido superado y ha quedado en la obsolescencia, múltiples investigaciones realizadas en las más prestigiosas universidades a nivel mundial demuestran lo contrario (Pacheco y Jalali, 2012).

2.2. TABIQUES TRADICIONALES CON MAMPUESTOS CON BARRO

Existe una gran cantidad de mampuestos elaborados con barro. Los bloques de tierra, que son producidos manualmente al arrojar tierra húmeda en un encofrado, son conocidos como “adobes”, “ladrillos de barro” o “bloques de tierra secados al sol”. Cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual o automatizada, los elementos comprimidos resultantes se denominan “bloques de tierra”. En su estado crudo, los bloques producidos por una extrusora en una planta se denominan “ladrillos verdes”. Estos tres tipos de bloques suelen tener aproximadamente el mismo tamaño que los ladrillos cocidos. Por otro lado, los bloques más grandes,

compactados en un encofrado mediante apisonamiento, reciben el nombre de “bloques de tierra apisonada” (Minke, 2006). Adicionalmente, cada técnica de producción de mampuestos con tierra permite variaciones en cuanto a forma y geometría, lo que provoca que existan un sinnúmero de configuraciones para diferentes tipos de mampuestos (Figura 2.2.0).



Los adobes han sido utilizados durante toda la historia de la humanidad en todas las civilizaciones, convirtiéndose en el mampuesto más popular de la historia.

Fig. 2.2.0 | Elaboración bloques de adobe | Fuente: Autoría Propia. (2024).

2.2.1 TABIQUES CON ADOBE

El adobe ha desempeñado un papel fundamental en la historia de la construcción, al convertirse en el mampuesto más empleado de todos los tiempos (Figura 2.2.1). Desde épocas remotas, los seres humanos han mezclado tierra y fibras vegetales para producir elementos constructivos que posean un formato y tamaño que permita el transporte y colocación manual. La producción de bloques de adobe constituye uno de los procesos más simples y accesibles para la producción de un material de construcción. Los aspectos históricos y geográficos hacen que, prácticamente, haya una infinidad de soluciones para la producción de tabiques con adobe (Houben y Guillaud, 2008).

La fabricación de adobes se realiza al llenar moldes con una mezcla plástica de arcilla o con el depósito de trozos húmedos de tierra en ellos. A menudo, incorporan paja cortada y se emplean diferentes tipos de moldes, tradicionalmente fabricados en madera (Figura 2.2.2). La compactación y resistencia al secado de la arcilla son mejores cuanto mayor sea la fuerza con la que se modela, aunque existen diferentes factores que repercuten en el curado de los bloques como, por ejemplo, el contenido de humedad. La superficie superior del adobe se alisa, ya sea manualmente o con una herramienta como una pieza de madera, una llana o un alambre. Una persona puede producir aproximadamente 300 bloques al día, lo que incluye la preparación de la mezcla, el transporte y el apilado. En India, con un molde doble diseñado para adobes

1. Extracción del material y mezcla



2. Transporte del material



3. Moldeo de bloques de adobe



4. Secado de bloques de adobe



5. Colocación o almacenamiento



Fig. 2.2.1 | Construcción de tabiques con adobe.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

más pequeños, una persona puede llegar a producir hasta 500 bloques de adobe diarios (Houben y Guillaud, 2008).

Una composición optimizada para la fabricación de adobes que no presenten fisuras se aproxima a una curva granulométrica con 14% de arcilla, 22% de limo, 62% de arena, y 2% de grava, como se muestra en la Figura 2.2.3. En general, es esencial que los bloques de tierra contengan suficiente arena gruesa para lograr una alta porosidad, lo que garantiza la resistencia a la compresión, con una contracción mínima al secarse. Sin embargo, también debe haber suficiente contenido de arcilla como conglomerante para crear la fuerza de unión del resto de partículas del material; esto es necesario para manipular los bloques de manera efectiva (Houben y Guillaud, 2008).

En la mayoría de los casos, el contenido de agua que requiere el mortero formado por arcilla y arena para convertirse en un material plástico y moldeable, al secarse, sin la presencia de las fibras naturales que incorpora el adobe, provocaría una retracción lineal importante y generaría fisuras que comprometerían al ele-

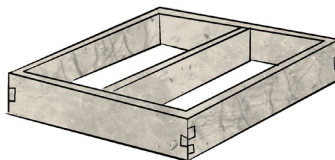


Fig. 2.2.2 | Ejemplo molde de madera para adobe.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

mento. Es así que las fibras naturales que se incorporan al barro plástico son capaces de absorber los esfuerzos que provoca la retracción de la arcilla, al perder el agua al secarse, lo que mantiene la humedad necesaria que hace de la mezcla un material plástico y moldeable cuando aún no ha secado (Figura 2.2.4).

Tanto en el proceso de fabricación, como una vez construidos los tabiques, es importante proteger los adobes de la lluvia en el sitio de construcción. En el proceso de construcción de tabiques y muros, los adobes se colocan con mortero de arcilla o mortero de cal hidráulica. Para evitar grietas de contracción dentro del mortero durante el secado, el mortero debe contener cantidades suficientes de arena. El contenido de arcilla del mortero puede variar de un 4% a un 10%. La formación de grietas

de contracción también se puede evitar cuando la capa de mortero es más delgada de lo habitual. Si bien el trabajar con mortero de arcilla no es abrasivo para la piel, el mortero de cal puede irritar y causar alergias (Minke, 2006).

Existe una gran variedad de formatos de adobes que, generalmente, varían en tamaño entre los 20 y 60 cm aproximadamente (Figura 2.2.5). También existen variaciones en cuanto a la geometría de los bloques. Sin embargo, hay un denominador común que tiene que ver con la configuración tradicional de muros estructurales relativamente anchos, debido a la resistencia mecánica a compresión del material: 1-5 MPa, similar a un bloque de hormigón alivianado convencional (Houben y Guillaud, 2008).

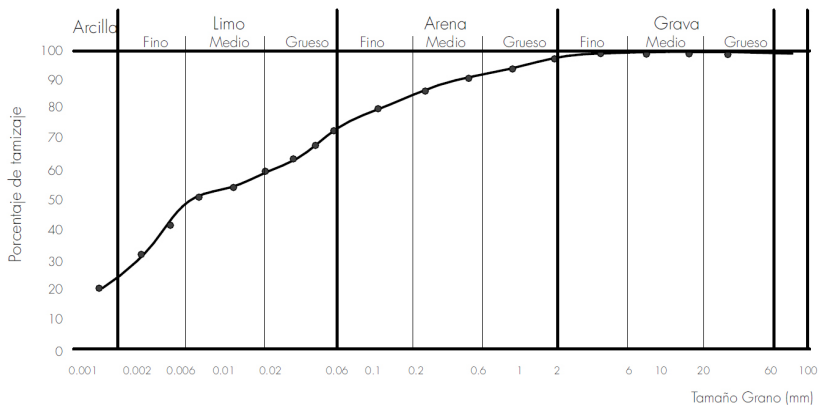


Fig. 2.2.3 | Curva granulométrica optimizada para adobes. | Fuente: Gernot M. (2006).

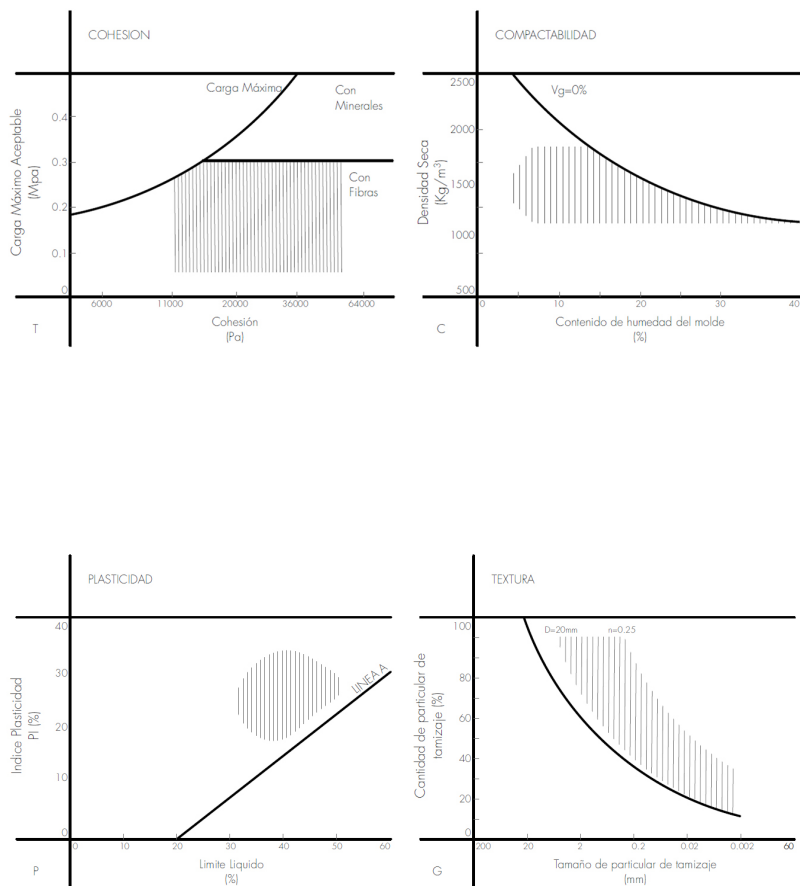


Fig. 2.2.4 | Características del material necesario para la fabricación de adobes. | Fuente: Gernot M.(2006).

Para la construcción de tabiques con adobes, se recomienda una serie de consideraciones. A continuación, se enumeran y explican las más importantes, extraídas del estado del arte (Houben y Guillaud, 2008):

1. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA TIERRA PARA TABIQUES CON ADOBES:

El suelo apropiado para la fabricación de adobes posee una textura predominantemente arcillosa, es altamente cohesivo y, en cuanto al contenido de agua y de la granulometría, es importante considerar las recomendaciones dadas anteriormente para garantizar el trabajo con un buen material. La cohesión dificulta la excavación del suelo, ya sea seco o húmedo, lo que convierte su extracción en una tarea que requiere el uso de máquinas o el empleo de cierta fuerza. El método tradicional de preparación del suelo se realiza manualmente, aunque, en la actualidad, existen otros métodos de preparación del suelo, algunos de los cuales son mecanizados. Una tercera categoría de métodos, que se sitúa entre los dos primeros, implica el uso de animales de tiro en zonas rurales en donde no es posible acceder a maquinaria.

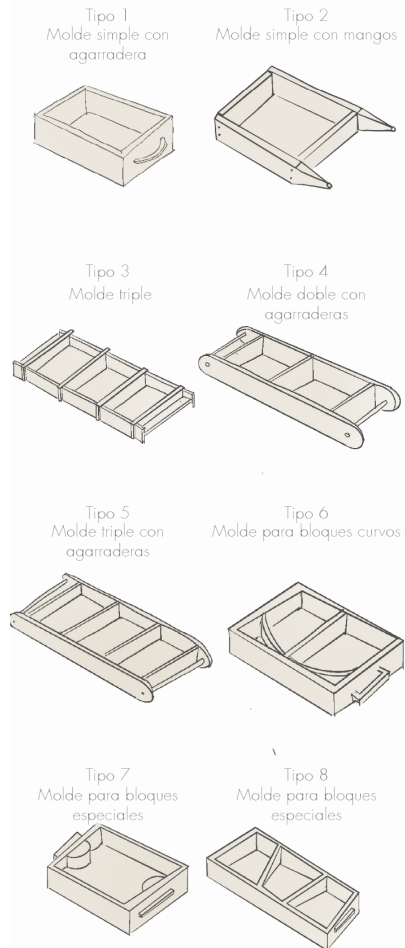


Fig. 2.2.5 | Diferentes moldes para adobes tradicionales.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

Existen máquinas manuales y automáticas capaces de picar fibras en diferentes tamaños.



Fig. 2.2.6 | Adición de fibras.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **Preparación de fibras:** Es común agregar fibras vegetales, especialmente paja, al suelo o tierra que se emplea para la fabricación de los adobes. Para ello, se cortan los tallos con herramientas afiladas. Aunque se pueden realizar cortes manuales, existen en el mercado máquinas picadoras manuales y motorizadas capaces de procesar grandes volúmenes de paja y otras fibras, que las cortan en longitudes que oscilan entre 1 y 30 cm. En la actualidad, esta maquinaria relativamente accesible hace posible trabajar con otras fibras derivadas de la madera, el bambú, la totora y otros materiales vegetales (Figura 2.2.6).

- **Amasado:** Tradicionalmente, la preparación del suelo implica una tarea de amasado. En numerosas regiones rurales, se recurre a los animales para llevar a cabo esta labor ya que, al caminar en círculos sobre un área designada, sus pezuñas ayudan a homogeneizar la tierra y todos sus componentes de manera efectiva. Por otra parte, la manipulación del material puede llevarse a cabo con maquinaria especializada como excavadoras y tractores, que pueden integrar las tareas de excavación, amasado y transporte. El pozo de excavación debe contar con un fondo estable y una inclinación adecuada para permitir la entrada y salida de la máquina. Además, se requiere un espacio de maniobra suficientemente amplio para la maquinaria. Según el tipo de máquinas empleadas, las cantidades de material manejadas son considerablemente grandes, del orden de los 10 metros cúbicos por hora (Figura 2.2.7).



Fig. 2.2.7 | Amasado de la tierra.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **Mezcla:** Es importante considerar las recomendaciones dadas previamente en cuanto al contenido de arcilla y de los demás agregados, donde se incluye el agua. Para adicionar agua, agregados como la arena y la grava y/o estabilizantes como las fibras antes mencionadas, además de mezcladoras tradicionales que usan animales, cuerdas y elementos de madera para la conformación de una estructura que permita realizar el trabajo de manera eficaz, actualmente existen maquinarias que facilitan el proceso de amasado, tales como mezcladoras de hormigón y otras que se son comúnmente asequibles (Figura 2.2.8).

2. FABRICACIÓN MANUAL DE ADOBES PARA TABIQUES:

Pese a que la creencia popular ha generalizado una visión sesgada sobre un modelo de fabricación de adobes bajo un proceso rudimentario y poco eficiente, en la actualidad existen varias formas y métodos para la producción de adobes. Estos van desde procesos de fabricación de forma manual y a pequeña escala, hasta procesos industrializados que incluyen maquinaria capaz de automatizar el proceso

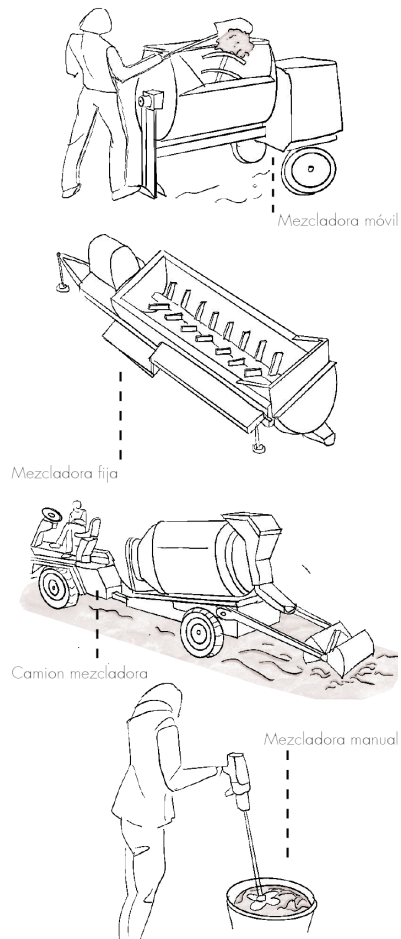


Fig. 2.2.8 | Mezcla de la tierra.
Fuente: Autoría Propia. (2024).

completo de producción.

Fabricación en pequeña escala: Los adobes pueden fabricarse con o sin el uso de moldes. Incluso, en la actualidad, en muchos lugares que no poseen herramientas modernas se emplean técnicas de producción muy rudimentarias. Sin embargo, los ladrillos producidos de esta manera suelen carecer de una apariencia atractiva y los tabiques construidos con ellos no son particularmente sólidos. Se recomienda el uso de moldes con forma de prisma, para obtener resultados más consistentes. Para la conformación manual, se requiere una pasta plástica (semi suave) o semi plástica (semi sólida).

- Mezcla plástica(más contenido de agua):

La mezcla que se ha puesto en el molde se trabaja ligeramente a mano y luego se desmolda inmediatamente. Para que se desmolda fácilmente, el molde debe limpiarse y humedecerse antes de la conformación de cada adobe, lo que facilita la liberación. El tipo común de molde generalmente tiene un solo compartimento y sus dimensiones son variables; tiene hasta 60 cm de largo para los adobes más pesados. También pueden utilizarse moldes con múltiples compartimentos, lo que permite moldear hasta cuatro adobes a la vez. Estos moldes están hechos comúnmente de madera o metal, algunos incluso están hechos de plástico. Debido a la cantidad de agua que requiere esta mezcla plástica, los adobes sufren una contracción considerable que debe ser controlada mediante la adición de fibras y su calidad debe ser monitoreada cuidadosamente (Figura 2.2.9).

Molde cuádruple manual

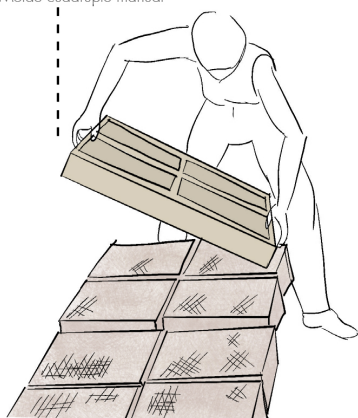


Fig. 2.2.9 | Fabricación de adobes con mezcla plástica.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **Mezcla semi plástica (menos contenido de agua):** Para producir ladrillos de mejor calidad, más densos y más resistentes, es recomendable trabajar con una mezcla semisólida. El molde debe estar muy limpio, sumergirse en agua y espolvorear con arena el interior antes de colocar la mezcla. Al usar esta técnica, conocida como “moldeo de arena”, se debe tomar una porción adecuada de mezcla en forma de bola; posteriormente, hay que recibirla en la arena y luego arrojarla con fuerza en el compartimento del molde. La pelota se reafirma y extiende con los puños, con cuidado de no descuidar las esquinas. El exceso de materia prima se elimina con una tira de madera o un elemento uniforme. Para facilitar la liberación, sólo la tierra recubierta de arena debe adherirse a los lados del molde. Hay diferentes tipos de moldes, algunos con fondo fijo, otros con un fondo removible y otros sin fondo. Con esta técnica, los adobes a secar tienen que almacenarse cerca del área de moldeo. Se recomienda trabajar de pie en una mesa adecuada para las operaciones necesarias. Incluso hay mesas con moldes incorporados y palancas de eyección. El adobe debe llevarse al área de secado en una tabla pequeña o sobre una base indeformable (por ejemplo, el fondo de un molde). El rendimiento de esta técnica de moldeo puede ser de 500 adobes por día (Figura 2.2.10).

Fabricación manual a gran escala de adobes: Los adobes fabricados a gran escala mediante técnicas manuales requieren el trabajo con equipos, herramientas y procesos más especializados como los que se mencionan a continuación:

- **Fabricación manual con moldes múltiples:**

Para aumentar la eficiencia de producción, se pueden utilizar varios moldes simultáneamente. Estos moldes pueden ser dispuestos en una matriz tipo escalera o con moldes grandes con subdivisiones con forma de paralelepípedos. Esto permite producir de diez a veinticinco adobes al mismo tiempo. Se requiere que la tierra esté lo suficientemente húmeda para llenar completamente los moldes, lo que crea una mezcla blanda. Luego de la preparación inicial del suelo, se vierte la mezcla en los moldes mediante diferentes equipos como carretillas, volquetas, cargadores frontales o directamente desde un mezclador autopropulsado, remolcado o montado en un camión. Posteriormente, se nivela la tierra dentro del molde para asegurar una distribución uniforme. La remoción del molde puede hacerse inmediatamente o después de

Mesa especial adaptada para la fabricación de adobes

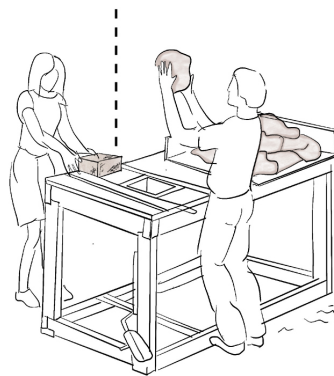


Fig. 2.2.10 | Fabricación de adobes con mezcla semi plástica. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

un breve tiempo. Este proceso se repite de manera continua. Los moldes grandes deben ser limpiados adecuadamente, ya sea al remojarlos en agua o al lavarlos con un chorro de agua a presión. La limpieza de los moldes y el proceso de moldeado son esenciales para garantizar la calidad de los adobes. Dado su peso, los moldes deben ser fabricados de madera, plástico o cualquier material rígido y liviano, que permita que sean manejables por no más de dos personas. En caso de usar madera, esta debe ser tratada para prevenir la putrefacción y la deformación. Con un equipo de cinco o seis trabajadores, con esta técnica de moldeado, se puede producir entre 8.000 y 10.000 adobes por día (Figura 2.2.11).

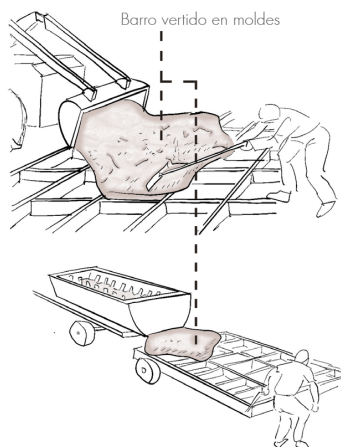


Fig. 2.2.11 | Fabricación de adobes con moldes múltiples. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

- Fabricación manual de adobes aserrados:

Otra alternativa consiste en producir un solo adobe de gran tamaño (por ejemplo de 4 m²) mediante un molde o cofre compuesto por cuatro tablones de dos metros de largo. Se utiliza una mezcla blanda para llenar el molde, se controlan las características del material y la posible retracción del mismo al secar. Luego de secar, la “loza” de adobe resultante se corta en varios adobes más pequeños con una sierra de alambre tensa montada en un soporte de madera, una sierra adaptada o una tabla con un borde que permita una fácil incisión. Aunque esta técnica requiere una inversión modesta y proporciona un acabado aceptable, el área de moldeado debe ser perfectamente plano y uniforme (Figura 2.2.12).

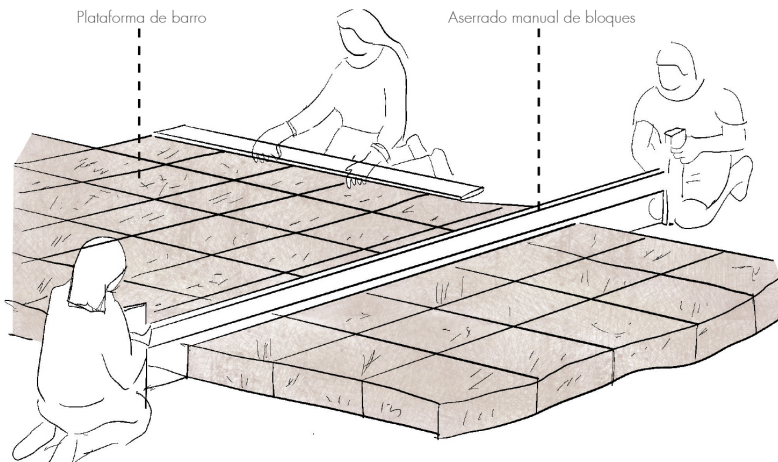


Fig. 2.2.12 | Fabricación de adobes aserrados. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

Fabricación mecanizada de adobes: Existen diferentes tipos de maquinarias que facilitan y multiplican el proceso de fabricación de adobes que permiten llegar a la producción de 20.000 adobes diarios, mediante el uso automatizado de moldes. De igual manera, la producción mediante corte de bloques puede automatizarse y llegar a formar parte de un proceso de producción en que se pueden fabricar 15.000 bloques diarios aproximadamente. Por otra parte, las máquinas extrusoras abren varias posibilidades a la fabricación de adobes en serie, donde se alcanzan producciones que oscilan entre los 1.500 adobes diarios, o 2.500 a 3.000 adobes por hora (Figura 2.2.13).

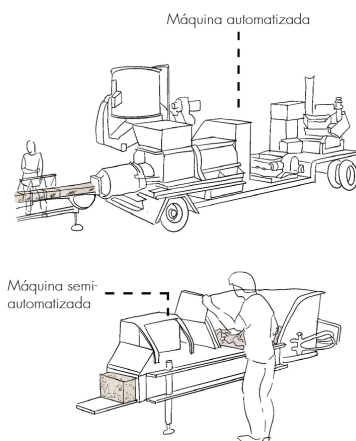


Fig. 2.2.13 | Fabricación mecanizada de adobes.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

3. GEOMETRÍA Y TAMAÑO DE LOS ADOBES PARA TABIQUES:

Existen diferentes tamaños de adobes y no existe una regla que determine un formato estandarizado, sin embargo se recomienda que las medidas guarden una relación 3,2,1 entre la dimensión de el largo, el ancho, y el alto respectivamente. Los adobes cuadrados son comúnmente empleados en la construcción en América del Sur y Central, con dimensiones aproximadas a 40 x 40 x 9 cm. Para asegurar el trabado del aparejo en las esquinas, se requiere el uso de un medio adobe, es decir un bloque de 40 x 20 x 9 cm que ayuda a prevenir el debilitamiento de un encuentro de tabiques. En todos los continentes, también son comunes los adobes rectangulares que presentan diferentes dimensiones dependiendo de las necesidades específicas de cada proyecto, como por ejemplo 40 x 20 x 10 cm o 60 x 30 x 10 cm (FIGURA 2.2.14).

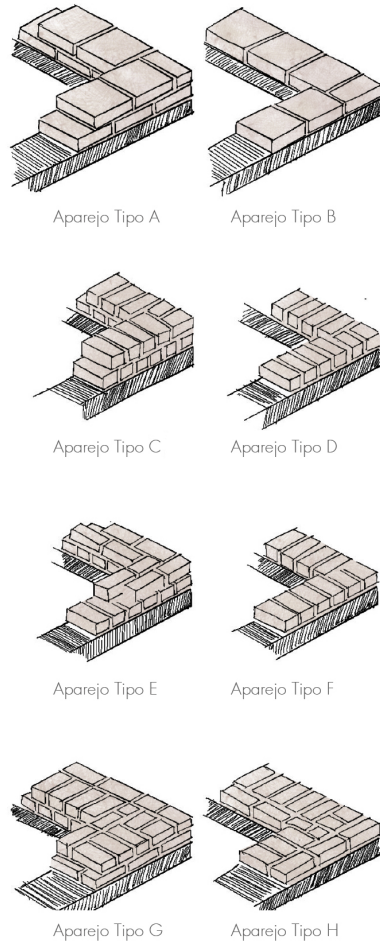


Fig. 2.2.14 | En la configuración de tabiques es importante el trabajo de aparejo de adobes. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

4. CONSIDERACIONES PARA ELABORACIÓN DE TABIQUES CON ADOBES:

Para el uso de adobes en tabiques es crucial considerar la compatibilidad entre las tensiones mecánicas que afectan al material y al sistema estructural, así como el desempeño y las propiedades inherentes a la "tierra", por lo tanto, todos los diseños deben tomar en cuenta los principios fundamentales de la construcción con tierra, por ejemplo, la gran importancia de los vínculos entre los mampuestos de adobe mediante el uso correcto de aparejos y mortero, así como a la vulnerabilidad del material frente al agua, lo que hace imperativas medidas de protección y estrategias en lo concerniente a:

- **Comportamiento mecánico:** La tierra exhibe una buena resistencia a esfuerzos de compresión pero presenta baja resistencia a la tracción, flexión y corte. Por tanto, es crucial considerar lo siguiente:

- Evitar cargas descentradas que pongan en riesgo la estabilidad estructural del tabique.

- Evitar la flexión y posibles deformaciones por cargas excesivas.

- Evitar la concentración de cargas puntuales.

- Además, se debe prestar atención a aspectos como:

- Dimensiones y estabilidad de los tabiques con respecto a los pilares y elementos estructurales.

- Calidad del refuerzo estructural utilizado en la mampostería.

- Integración de marcos, elementos de confinamiento y cierres

- **Consideraciones:** La práctica en la construcción con tierra ha establecido una relación empírica para muros estructurales contruidos con adobes, sugiriendo que el grosor de estos tabiques debe ser al menos una décima parte de su altura. En estructuras de un solo piso, el grosor mínimo de los tabiques de adobe debe ser de 15 cm (no estructurales) y 30 cm (estructurales), mientras que en aquellas con un segundo piso, se recomienda un grosor de 45 cm (estructurales).

- **Humedad:** Se debe prestar especial atención a la protección de las paredes contra la humedad, evitando la transferencia del agua por capilaridad en la base, la condensación de vapor en zonas frías y en habitaciones húmedas, así como la exposición a la lluvia, heladas y nieve mediante correctos aislamientos.

- **Superficies expuestas a impactos:** Para proteger las partes expuestas a la erosión o impacto, como la base, esquinas, parte superior, aberturas, etc., se recomienda aplicar un revestimiento resistente o mampostería capaz de resistir impactos.

- **Resistencia al fuego:** En cuanto a la resistencia al fuego, la tierra tiene una excelente respuesta.

5. MORTEROS PARA APAREJAR ADOBES EN TABIQUES:

La calidad del mortero y la atención dedicada a su aplicación pueden, significativamente, mejorar la resistencia y la estabilidad de los tabiques (FIGURA 2.2.15). La utilización de un mortero de tierra estabilizado puede aumentar la resistencia a la compresión de los tabiques de adobe hasta en un 25 % y duplicar su resistencia al corte. Por otra parte, la estabilización del mortero de unión puede duplicar la fricción y cuadruplicar la adherencia con el adobe. Por otro lado, la falta de relleno con un mortero adecuado en las juntas verticales puede reducir la resistencia a la compresión del tabique entre un 20 % y un 50 %, y eliminar por completo la resistencia a la flexión y al corte. Es crucial evitar el uso de un mortero demasiado

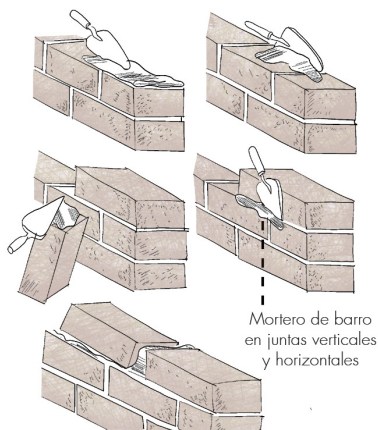


Fig. 2.2.15 | El trabajo con el mortero es importante en la configuración de tabiques de adobe. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

líquido, ya que esto puede conducir a una contracción excesiva y a una falta de adherencia, disminuyendo la estabilidad y la resistencia de los tabiques. A continuación se exponen algunas consideraciones a tener en cuenta.

- El mortero utilizado para las juntas debe poseer la misma resistencia a la compresión y a la erosión que los adobes. En tabiques expuestos al exterior, si la resistencia del mortero es inferior, podría producirse erosión e infiltración de agua, lo que ocasiona el deterioro de los adobes. Por otro lado, si la resistencia del mortero es mayor que la de los adobes, estos podrían erosionarse, y el agua se quedaría retenida en la superficie expuesta del mortero (en caso de exposición directa). Es esencial realizar pruebas previas al uso del mortero para evaluar aspectos como la contracción, adhesión, erosión y resistencia a la compresión. Se recomienda utilizar mortero estabilizado para adobes que también son estabilizados.

- El contenido de agua del mortero podría provocar una contracción en las juntas, lo cual puede provocar una contracción horizontal de 1 a 2 mm por cada 5 m en el tabique, si no se tienen las precauciones del caso.

- El asentamiento de las juntas bajo carga puede resultar en una reducción vertical de la pared de 1 a 2 cm por cada 3 m.

- La textura del mortero debe ser más arenosa que la del adobe, con un tamaño máximo de grano de 5 mm, pero preferiblemente de 2 a 3 mm.

- El grosor de las juntas debe ser máximo de 1 a 1,5 cm para aquellas horizontales y verticales, con una tolerancia máxima de 2 cm.

- En la ejecución, los adobes deben ser pre-humedecidos para evitar que absorban la humedad del mortero. El mortero debe ser aplicado sobre las caras de la junta del adobe en la cantidad adecuada. Los adobes deben ser colocados en su posición sin golpearlos. Se recomienda la protección contra la exposición directa al sol y al viento, para evitar una contracción acelerada.

6. APAREJOS Y UNIÓN ENTRE TABIQUES CON ADOBES:

La calidad de la unión entre adobes es esencial para asegurar una tabiquería sólida y durade-

ra. Es crucial seguir las normas de construcción de mampostería para garantizar un buen entrelazado de los bloques y evitar grietas verticales. La complejidad de esta unión varía según el grosor de los tabiques. Se suelen emplear bloques de tres cuartos y medios bloques para lograr una conexión efectiva. Cuando se unen tabiques de diferentes grosores, es posible crear una ranura vertical en el tabique más grueso para insertar el tabique más delgado. Sin embargo, es importante reforzar esta conexión con elementos horizontales como barras de refuerzo, madera o textiles. Estos refuerzos fortalecen la unión en forma de "T" entre los tabiques y se recomienda instalarlos cada cinco o seis filas de adobes (Figura 2.2.16).

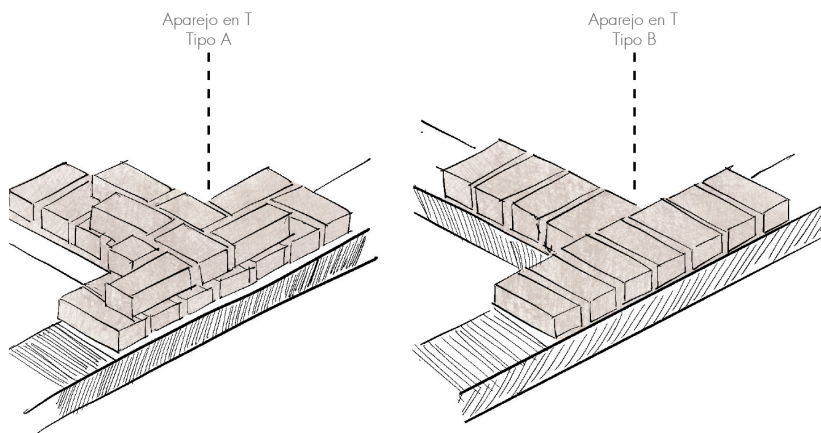


Fig. 2.2.16 | Unión entre tabiques de adobe. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

Cuando los tabiques están expuestos al exterior, la estabilidad de las esquinas es un factor crucial para garantizar la integridad de los mismos. Las esquinas suelen ser puntos críticos donde pueden aparecer grietas que amenazan la estabilidad general. Estas grietas pueden originarse debido a disparidades en el asentamiento entre el suelo y la estructura, especialmente en el caso de cimientos deficientes y asentamientos diferenciales. Por lo tanto, las esquinas, al igual que otros puntos de unión de los tabiques, son áreas vulnerables que pueden experimentar tensiones adicionales. Hay numerosos métodos para fortalecer las esquinas; estos métodos implican el uso de piedra, ladrillo cocido o mortero de cal o cemento (Figura 2.2.17). Adicionalmente, para construir esquinas sólidas en albañilería de adobe, es crucial evitar romper los adobes en fragmentos peque-

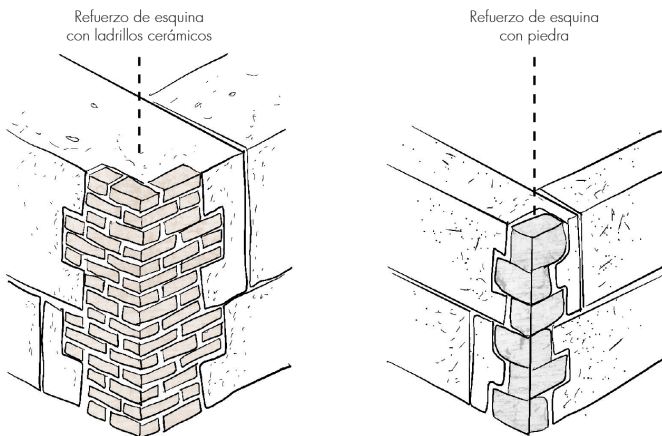


Fig. 2.2.17 | Fortalecimiento de esquinas con mampuestos más resistentes. | Fuente: AutoríaPropia.(2024).

ños, ya que esto podría debilitar la esquina. Se recomienda utilizar un adobe de tres cuartos como el tamaño mínimo apropiado. Aunque en casos necesarios, se puede considerar un medio adobe, pero una pieza de un cuarto resulta demasiado pequeña para garantizar una conexión sólida.

7. REFUERZO DE TABIQUES CON ADOBES:

Para contrarrestar las tensiones causadas por el esfuerzo de compresión, se han desarrollado métodos de refuerzo para los tabiques. Entre las técnicas más conocidas, se encuentran aquellas que emplean viguetas, malla de caña recubierta de barro, rellenos de adobe junto con marcos o estructuras de madera que se integran completamente en los tabiques (Figura 2.2.18). Los sistemas de refuerzo a menudo

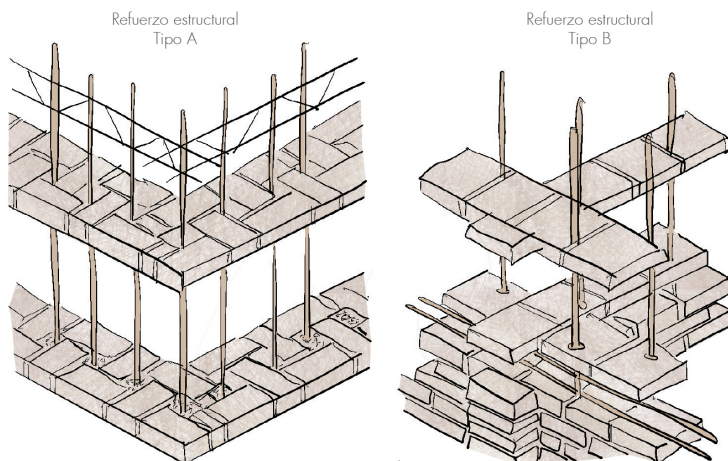


Fig. 2.2.18 | Refuerzo de tabiques de adobe con estructuras auxiliares. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

se sitúan en las áreas más vulnerables de los tabiques, como las esquinas o las aberturas. Estos refuerzos, fabricados generalmente con madera, sirven para fortalecer la estructura.

Para tabiques delgados, se puede considerar la integración de contrafuertes alrededor de las aberturas de puertas y ventanas. Estos contrafuertes, como simples pilares hacia el exterior, proporcionan estabilidad adicional. Además, los tabiques deben estar conectados horizontalmente, a nivel del suelo o del techo, para fortalecer la estructura mediante vigas de confinamiento, cierre o amarre. Las vigas de cierre o “amarre” son esenciales para garantizar la estabilidad de los tabiques de tierra. Son fundamentales para controlar diversas tensiones y fuerzas que podrían provocar grietas o deformaciones en los tabiques, como asentamientos diferenciales, contracción, expansión térmica, tensiones de cizallamiento y presión lateral del viento. Estas vigas rígidas distribuyen las cargas de manera uniforme y pueden utilizarse para varios propósitos, como reforzar contra el viento, soportar pisos y techos y anclar elementos estructurales y divisorios (Figura 2.2.19).

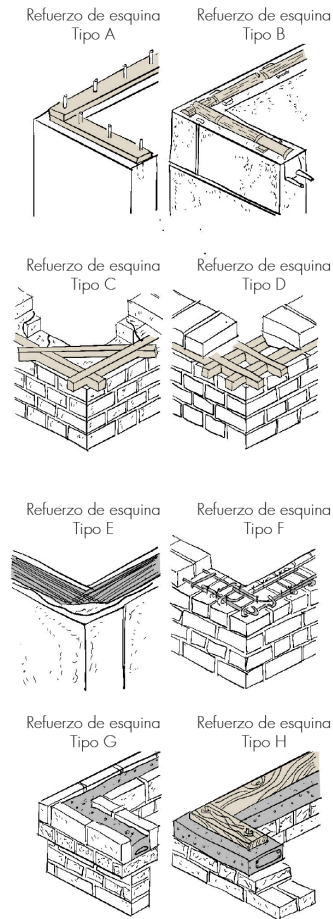


Fig. 2.2.19 | Refuerzo de tabiques de adobe con estructuras auxiliares. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

2.3 TABIQUES TRADICIONALES CON ENTRAMADOS Y BARRO

El barro, la tierra o los materiales con conglomerados por arcilla, por su característica plástica, han sido utilizados por miles de años para rellenar los espacios resultantes entre entramados de madera, bambú y otras fibras vegetales, lo que conforma elementos mixtos estancos al viento y, muchas veces, con propiedades térmicas y/o mecánicas sobresalientes. La gran variedad de técnicas para el uso de fibras en entramados alrededor del mundo ha generado una multiplicidad de respuestas para el trabajo conjunto con el barro.

Las variantes de sistemas de entramados en el mundo adquieren diferentes nombres. El término más común en los países latinoamericanos es bahareque o bajareque. Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Venezuela son los países que utilizan este término (RAE, 2014). En la región andina de América Latina, en países como Perú, Bolivia, Argentina y también Chile, el sistema mixto tradicional se denomina quincha. En Brasil, se lo llama Taiipa de mão o Pau a pique; se lo llama pared francesa en Paraguay, fajina en Uruguay, etc. (Cuitiño et al., 2015).

Los tabiques entramados tradicionales generalmente se caracterizan por una estructura subyacente de madera, que actúa como el esqueleto del tabique. En tabiques que incluyen entramados y mampuestos, los elementos de madera se colocan en un patrón de entrelazado o enrejado y se rellenan con materiales como adobes u otros elementos de albañilería. Ejem-

plos notables de este tipo de técnica incluyen los entramados con rellenos de adobe en Chile, en donde “el adobillo” es una técnica que combina madera y adobe. La madera conforma un entramado relleno con bloques de adobe, lo que resulta en construcciones estables sísmicamente. En España y en Alemania también se utiliza una estructura de madera entramada rellena. Estos ejemplos ilustran cómo los tabiques entramados fusionan la madera y la albañilería para crear estructuras resistentes y visualmente atractivas, que han perdurado a lo largo de generaciones. Son parte integral del patrimonio arquitectónico de sus respectivas regiones.

Además de las técnicas antes mencionadas, existe una serie de alternativas para la construcción de tabiques con entramados y barro, expuestas por Houben y Guillaud (2008) que se mencionan a continuación:

- Aplicación de COB en el entramado: esta técnica es ampliamente empleada en diferentes regiones. El marco estructural y los entramados se fabrican íntegramente con materiales vegetales como madera, bambú, palmeras, caña y lianas. El relleno con tierra se lleva a cabo rápidamente, mediante una mezcla de barro y paja que conforma un mortero similar al COB. Gracias a su plasticidad y aplicación mediante presión genera tabiques robustos, con un grosor que oscila entre los 10 y 15 centímetros. Esta técnica se destaca por su simplicidad, economía y accesibilidad, lo que la hace una opción viable para numerosos constructores autogestionados (Figura 2.3.0).

Entramado de caña recubierto de barro mediante la técnica de COB

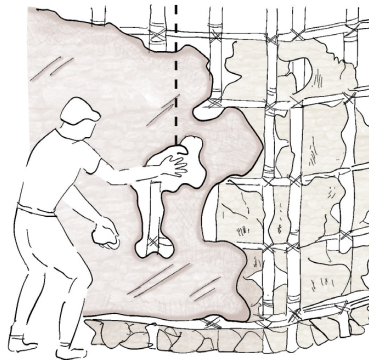


Fig. 2.3.0 | Aplicación de COB en el entramado.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **La técnica de rollizos verticales de paja con barro:** consiste en utilizar rollizos verticales de paja para rellenar una estructura entramada o trenzada. Estos rollizos se disponen uno al lado del otro y se mantienen en su lugar gracias a la acción adhesiva del barro. Una característica distintiva de esta técnica es su alta capacidad de aislamiento, ya que se requiere una cantidad significativa de paja o fibras similares para completarla. Este aspecto la convierte en una opción atractiva para aquellos que buscan maximizar la eficiencia energética de sus construcciones. Aunque su uso se ha limitado, su potencial como método de construcción sostenible podría generar interés en diversas regiones con condiciones climáticas y recursos adecuados (Figura 2.3.1).

- **“Carretes” de paja con barro:** en esta práctica, conocida como “carretes” de tierra, largos tallos de paja se recubren con una capa de tierra arcillosa y se enrollan alrededor de piezas horizontales de madera. Estos elementos se dejan secar parcialmente y luego se colocan en montantes de madera. La adherencia entre los carretes se produce gracias a las superficies de tierra que entran en contacto mutuo. Aunque esta técnica ofrece un alto nivel de aislamiento y es relativamente sencilla de realizar, su uso ha disminuido considerablemente con el tiempo. Sin embargo, su potencial para proporcionar un aislamiento térmico y acústico efectivo y su facilidad de implementación podrían generar un renovado interés en su aplicación en proyectos de construcción sostenible (Figura 2.3.2).

Entramado de madera recubierto de barro mediante la técnica de rollizos verticales de paja



Fig. 2.3.1 | Rollizos verticales de paja con barro.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

Entramado de madera recubierto de barro mediante la técnica de rollizos horizontales de paja



Fig. 2.3.2 | Carretes de paja con barro.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **El bahareque y la quincha:** son técnicas de construcción que tienen una larga historia y siguen siendo ampliamente utilizadas en todo el mundo, en la actualidad. Estas técnicas implican el uso de estructuras de carga y entramados como soporte para el relleno, aunque los diseños pueden variar. El principio fundamental de construcción es similar en todas las regiones. Para aumentar la durabilidad del bahareque, en ciertas áreas se emplea una técnica especial de estabilización de la mezcla, donde la tierra se mezcla con orina de caballo, en lugar de agua. Este método mejora las características resistentes de la mezcla, lo que prolonga la vida útil de las estructuras construidas con esta técnica. En la actualidad, este método tradicional puede ser reemplazado con una solución sintética que permita simular los compuestos y el pH de la orina (Figura 2.3.3).



Fig. 2.3.3 | El bahareque y la quincha.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

- **La técnica del mortero de barro proyectado sobre entramados:** implica el uso de bombas de alta presión para aplicar el barro sobre los entramados diseñados para recibir el mortero proyectado. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos relacionados con la consistencia adecuada del barro. Cuando la tierra es demasiado fluida, puede provocar problemas de contracción, además de obstruir los chorros de las bombas debido a la acumulación de fibras vegetales. Resolver estos problemas permitiría optimizar la técnica del mortero de barro proyectado sobre entramados, lo que mejora su eficiencia y facilita su aplicación en proyectos de construcción (Figura 2.3.4).

Entramado de madera recubierto
de barro mediante la técnica de
proyección de mortero

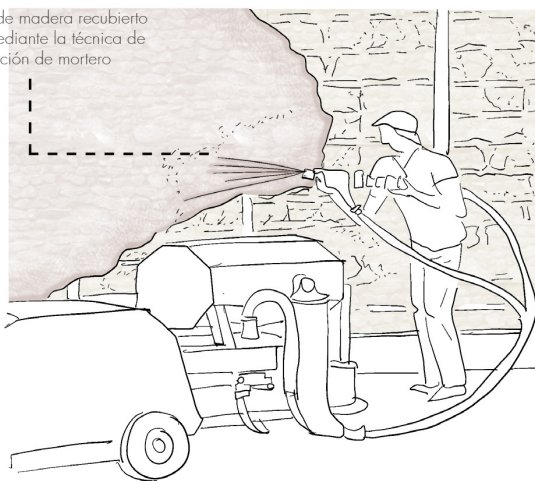


Fig. 2.3.4 | Técnica del mortero de barro proyectado sobre entramados. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

2.3.1 TABIQUES CON BAHAREQUE y QUINCHA

El bahareque es una técnica de construcción tradicional que se ha utilizado durante milenios en diversas partes del mundo. Consiste en la creación de paredes mediante la combinación de elementos estructurales entramados con elementos verticales y horizontales, rellenos con una mezcla de barro con paja u otros materiales fibrosos (Figura 2.3.5). En español, estas técnicas se conocen como bahareque, bajareque, bareque o quincha, mientras que, en inglés, se les llama wattle and daub y en alemán Lehmbeurf (Minke, 2006).

El bahareque y la quincha se caracterizan por utilizar una estructura compuesta por elementos verticales y horizontales que forman una malla entramada. En los sistemas más conocidos, los elementos verticales suelen ser de madera, combinados con carrizos, cañas o ramas delgadas que conforman la estructura horizontal a modo de tejido. Los elementos verticales suelen ser postes de madera, bambú u otros materiales similares, dispuestos verticalmente a intervalos regulares. Estos postes actúan como la estructura principal que sostiene el tabique. Los elementos horizontales se entrelazan entre los postes verticales para formar una especie de enrejado, tejido o malla que proporciona soporte adicional y sirve como base para aplicar el material de relleno (Figura 2.3.6).



Fig. 2.3.5 | Construcción de tabiques con bahareque.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

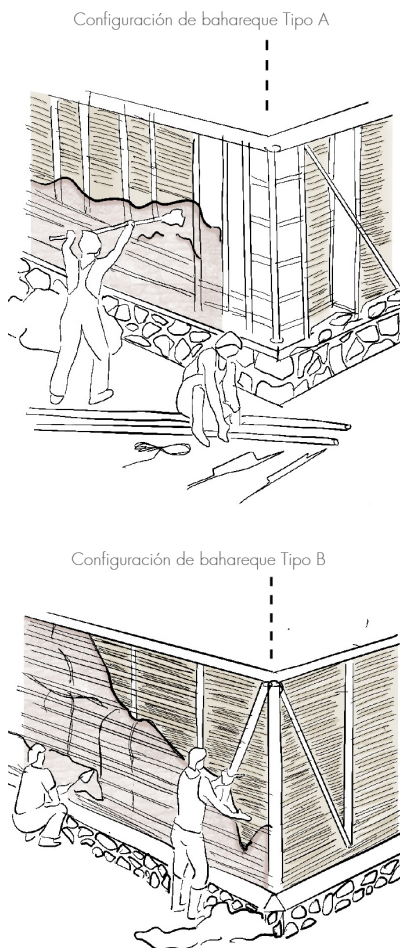


Fig. 2.3.6 | Ejemplos de entramados en tabiques de bahareque. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

El bahareque ofrece varias ventajas, como sus características sostenibles, su capacidad para adaptarse a diferentes tipos de terreno y su resistencia a los esfuerzos sísmicos, siempre que esté construido adecuadamente. "Las propiedades sismorresistentes del bahareque superan su vulnerabilidad sísmica, lo cual constituye una de las razones por lo que la técnica del bahareque haya podido perdurar por tanto tiempo" (Henneberg de León, 2015, p.22). Además, es una técnica sostenible que es adaptable al uso de materiales locales y fácilmente disponibles, lo que la convierte en una opción popular en áreas rurales o en comunidades donde los recursos son limitados. La tierra arcillosa, la paja, la caña, la madera y otras fibras naturales que pueden utilizarse para la fabricación de bahareque, por lo general, son recursos que están disponibles en muchas regiones, lo que hace que el sistema constructivo no tenga dependencia de materiales importados. Esto minimiza el impacto ambiental asociado con la extracción y el transporte de materiales de construcción convencionales como el acero, el concreto y otros materiales industrializados.

En cuanto a la resistencia estructural, el bahareque puede ser tan sólido como cualquier otra técnica de construcción convencional, si se ejecuta correctamente. Se han realizado numerosos estudios y pruebas para evaluar su resistencia a diferentes fuerzas, como la compresión, la flexión y la tracción. Los resultados han demostrado que, cuando se utiliza ade-

cuadramente y se refuerza con sistemas estructurales adicionales como múltiples entramados o refuerzos de madera, el bahareque puede cumplir con los estándares de seguridad y resistencia requeridos para diferentes tipos de edificaciones (Figura 2.3.7).

Además de su resistencia y sostenibilidad, el bahareque ofrece beneficios adicionales en términos de confort térmico y acústico. El

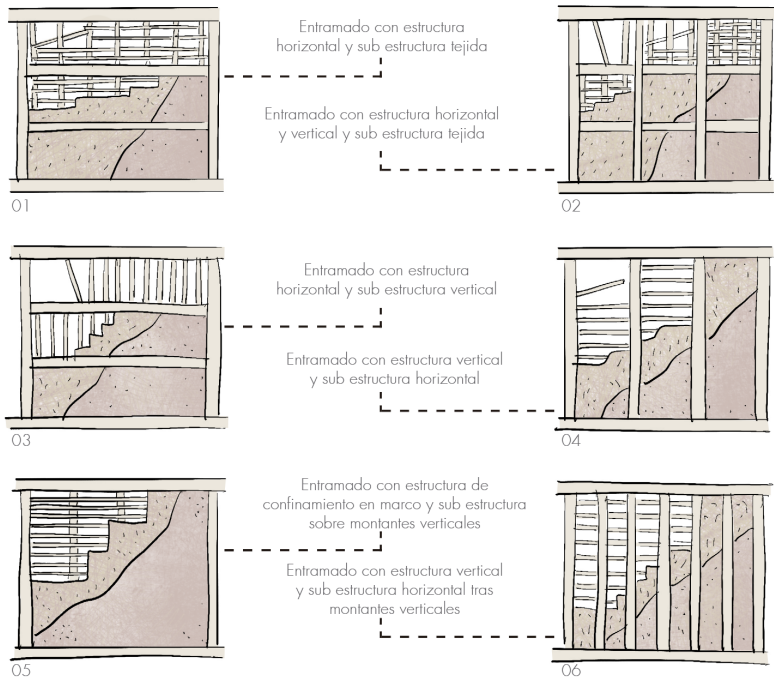


Fig. 2.3.7 | Variantes de la técnica del bahareque. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

espesor de los tabiques y la composición de materiales como el barro y las fibras ayudan a regular la temperatura interior de los espacios, lo que mantiene un ambiente fresco en climas cálidos y proporciona aislamiento en condiciones más frías. Además, la densidad del material de relleno contribuye a reducir la transmisión de ruido, lo que resulta en espacios interiores más tranquilos y confortables (Figura 2.3.8).

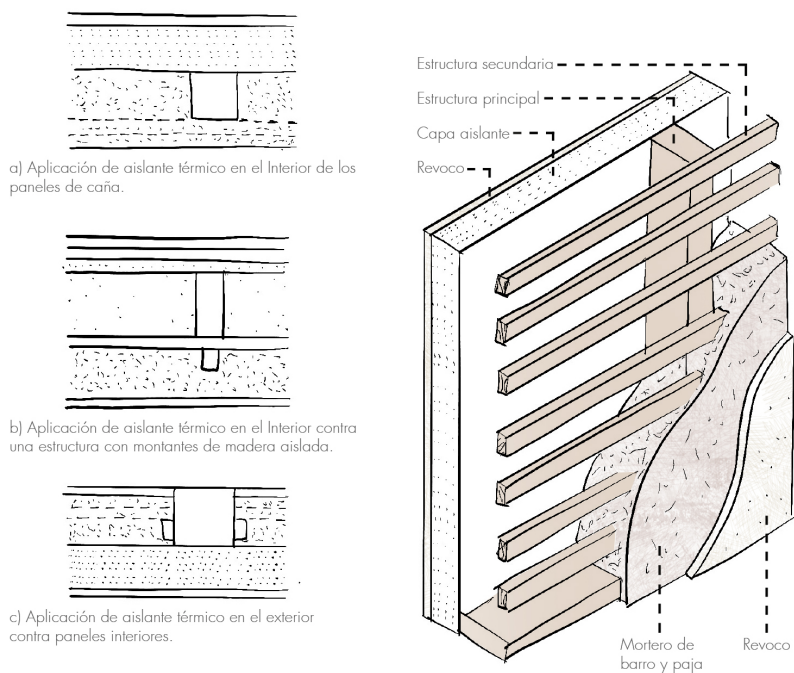


Fig. 2.3.8 | El comportamiento térmico de un tabique de bahareque puede ser optimizado en climas extremos.
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

Existen variantes en la técnica de bahareque y quincha, donde se utiliza una malla de mayor dimensión (de hasta 20 cm) con una malla interior y otra exterior. El espacio intermedio se rellena con bolas de barro y a veces son complementadas con grava gruesa o piedras. El bahareque y la quincha son técnicas de construcción tradicionales que comparten algunas similitudes y responden a diferentes regiones. Las diferencias más significativas en su estructura y método de construcción son:

- Bahareque: El bahareque se caracteriza por utilizar postes verticales entrelazados con varas horizontales para formar un enrejado. Este enrejado se rellena con una mezcla de barro, tierra arcillosa o cal, junto con fibras naturales como paja o caña. El material de relleno se aplica manualmente sobre el enrejado, a menudo mediante técnicas de lanzado o apisonado. Se compacta en capas sucesivas hasta alcanzar el grosor deseado de la pared. Adicionalmente, el bahareque es conocido por su flexibilidad estructural, lo que lo hace adecuado para resistir movimientos sísmicos y adaptarse a terrenos irregulares.

- Quincha: La quincha utiliza un enrejado similar al bahareque, pero con elementos más delgados y generalmente de caña o bambú. Este enrejado se rellena con una mezcla de barro o tierra, pero sin la adición de fibras. Al igual que en el bahareque, la mezcla de tierra se aplica manualmente sobre el enrejado, pero en la quincha a menudo se deja secar al aire, para formar una especie de adobe, en lugar de ser compactada como en el bahareque.

Tanto el bahareque como la quincha son técnicas de construcción que utilizan un enrejado como base estructural, relleno con una mezcla de tierra. Aunque el bahareque es una técnica antigua, su relevancia persiste en la arquitectura contemporánea, debido a su versatilidad y sus cualidades sostenibles. Hoy en día, arquitectos y constructores están redescubriendo el bahareque como una opción viable para proyectos de vivienda ecológica y de bajo impacto ambiental. Mediante la combinación de técnicas tradicionales con innovaciones modernas, se están desarrollando nuevas formas de construcción en bahareque que aprovechan al máximo los beneficios de esta técnica ancestral.

Existen diferentes partes que constituyen los tabiques de bahareque y, en general, de entramados, entre las cuales destacan por importancia la estructura maestra, la estructura auxiliar, la capa de relleno y el revoque final (Figura 2.3.9).

Para la fabricación de tabiques con bahareque o quincha existen varias recomendaciones que se mencionan a continuación:

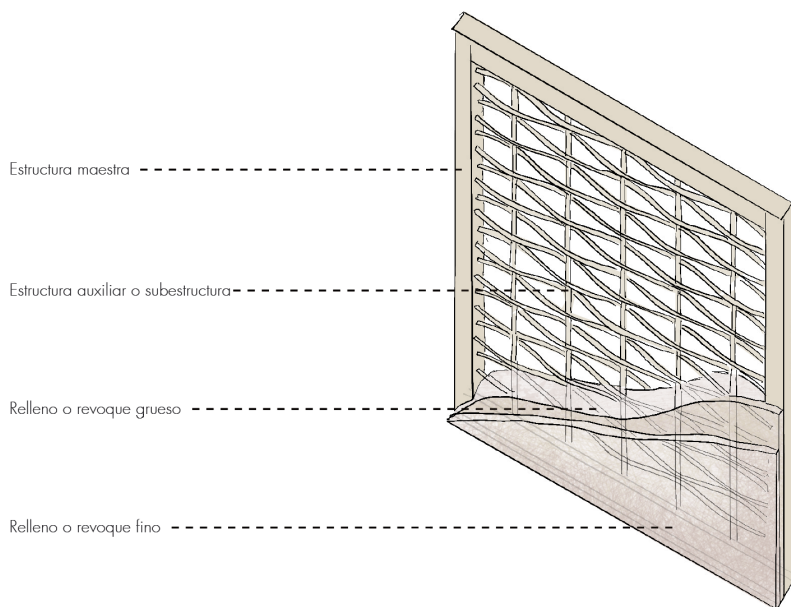


Fig. 2.3.9 | Partes que conforman un tabique con entramados y barro | Fuente: Autoría Propia (2024).

1. FABRICACIÓN DE LOS ENTRAMADOS PARA TABIQUES:

La estructura principal o maestra del entramado suele construirse con madera o cañas de mayor grosor, debido a su robustez (Figura 2.3.10). En ciertas técnicas, estos elementos principales conforman la base esencial incluso de la vivienda, como ocurre con el bahareque tradicional, en el que la estructura se compone principalmente de una base inferior o zócalo que se apoya en la cimentación, una base superior (de cierre) para consolidar el conjunto y los elementos verticales o pilares. En otros casos, la estructura principal es una subestructura tipo bastidor que se añade a la estructura principal de la vivienda, como en la quincha.

Según el material utilizado para los pilares de la estructura principal, generalmente se pueden observar piezas de madera maciza o madera aserrada con ensambles tradicionales de carpintería. El tipo de madera empleada y la sección de los perfiles varían según las cargas que soporte el tabique; los diámetros varían entre 12 y 15 centímetros, cuando se trata de madera estructural y de menor sección, en otros casos. Cuando tienen una función estructural, también se utilizan elementos diagonales para consolidar el elemento, como cruces de San Andrés o triangulaciones con diferentes tipos de fibras naturales.

La estructura complementaria o subestructura, también conocida como entramado, tejido o malla, está fabricada con materiales vegetales de menor grosor y tiene la función de sostener el relleno. Se sugiere utilizar caña guadúa o

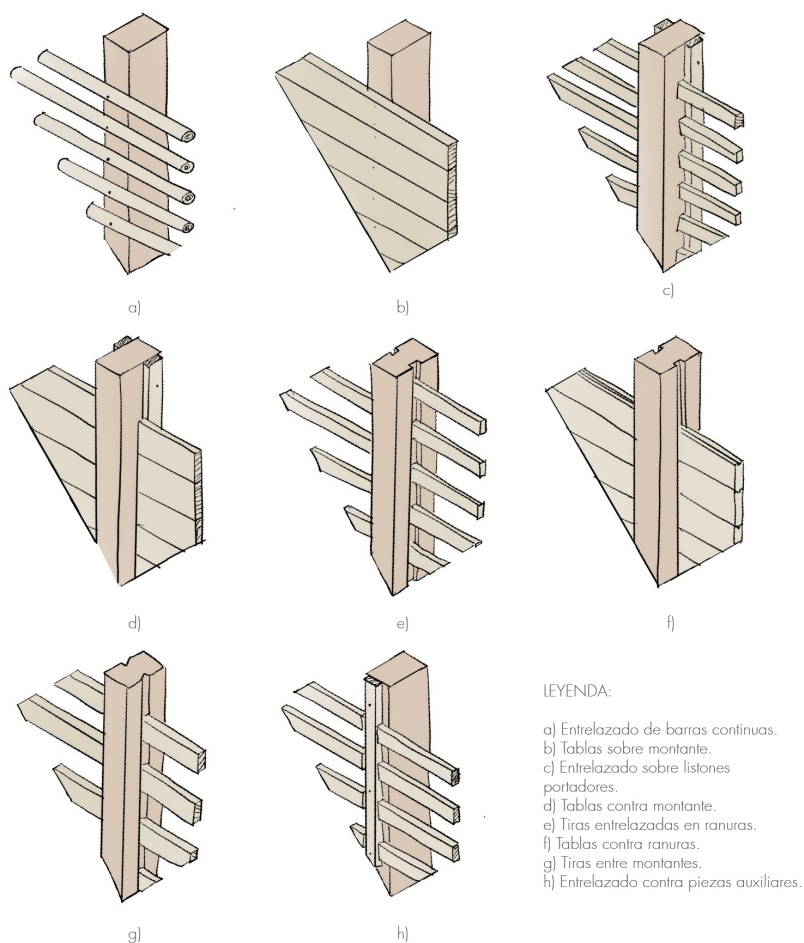
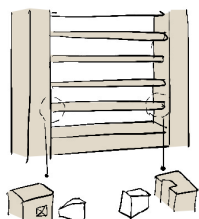


Fig. 2.3.10 | Configuración de la estructura con diferentes materiales y uniones. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

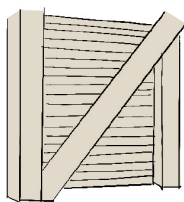
madera sin pulir para el armazón, con el fin de mejorar la adherencia con el mortero de relleno. En caso de utilizar las diferentes especies de bambú, donde se incluye guadúa o cualquier caña seccionada, así como latillas o listones, es preferible orientar la parte interna de la caña (es decir, la más rugosa) hacia las caras exteriores, que recibirán el revoco para facilitar la adhesión del revestimiento de barro.

Aunque existen variaciones en cuanto a la configuración estructural de los tabiques, que dependen de la región, los materiales disponibles y las técnicas constructivas adecuadas para cada caso, la estructura complementaria, a su vez, está compuesta de otros elementos que se señalan a continuación y difieren según cada caso (Figura 2.3.11):

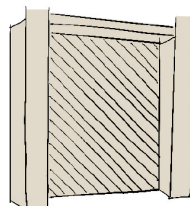
- La estructura auxiliar elemental o reticular [A, B, C], con elementos verticales, horizontales o diagonales atados, clavados o unidos entre sí, tanto de bambú, como de cañas o latillas.
- La estructura enrejada o reticular doble [D, E, F, G], con dos líneas de elementos horizontales en las dos caras de los elementos verticales, que generan un espacio interior para ser relleno en este “enlatillado doble”, que contiene latillas o listones a ambos lados de los elementos verticales.
- La estructura auxiliar tejida [H, I], formada por cañas y bambúes que, por su flexibilidad, pueden adoptar cierta curvatura para generar el tejido



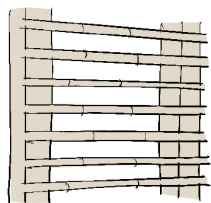
a) Entramado horizontal separado entre elementos verticales.



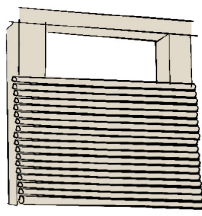
b) Entramado horizontal continuo entre elementos verticales con diagonal.



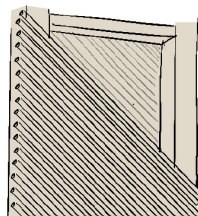
c) Entramado diagonal enmarcado.



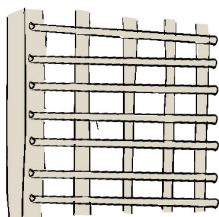
d) Entramado horizontal separado sobre estructura.



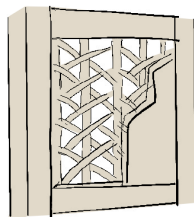
e) Entramado horizontal continuo sobre estructura.



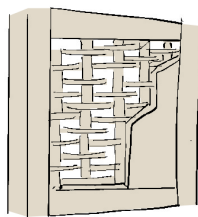
f) Entramado diagonal continuo sobre estructura.



g) Entramado enrejado separado sobre estructura.



h) Entramado con tejidos diagonales.



i) Entramados tejidos horizontales y verticales.

Fig. 2.3.11 | Partes que conforman la estructura de un tabique con entramados. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

2. PREPARACIÓN DEL BARRO Y LAS FIBRAS PARA SU APLICACIÓN EN LOS ENTRAMADOS DE TABIQUES:

Los componentes primordiales del mortero de relleno o revoque en técnicas de construcción tradicionales suelen ser la tierra y fibras naturales, generalmente complementados con aditivos para mejorar sus propiedades. Es crucial que la mezcla de relleno contenga al menos un 50% de arena para garantizar su estabilidad ante la contracción del secado, sin poner en riesgo su resistencia. El proceso de relleno de los entramados implica rellenar, colocar o revocar esta mezcla en la subestructura deseada. Según el entorno y las necesidades específicas, se utilizan diferentes tipos de tierra y granulometrías, como, por ejemplo, una con arena en una proporción de 50%, con un contenido que puede ir entre el 7% - 19% de arcilla y aproximadamente un 30% de limo (Hays y Matuk, 2003).

Por otra parte, las fibras vegetales más utilizadas para la estabilización del barro y para las capas fibrosas que forman el tabique, son, según las particularidades de cada caso, la paja de la recolección de cereales, especialmente de trigo y cebada (Figura 2.3.12). En cuanto a estabilizantes adicionales, los más comunes en la arquitectura tradicional son la arena, el estiércol de vaca y la cal aérea en proporción 1:1:1; y arena, paja, estiércol de vaca y cal aérea en proporción 2:1:2:1. En lo referente a los estabilizantes, como se mencionó anteriormente en el caso de la paja y las fibras naturales, estos ayudan a absorber los esfuerzos de retracción del material al secar. De igual

manera, la cal se añade para que capture humedad en su proceso de fraguado y que, así, la mezcla de barro, en el proceso de secado, presente una menor retracción, una menor cantidad de microporos y, por tanto, una mayor resistencia final. La arena igualmente ayuda a que la retracción de material, al secarse y perder agua, sea menor y no provoque fisuras. En lo referente al estiércol de vaca, el contenido de fibras y una composición química ácida de este estabilizante natural ayuda en los procesos de consolidación de la arcilla, con el resto de partículas que componen la mezcla.

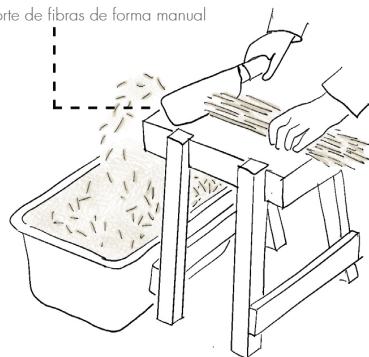
La consistencia del mortero es fundamental y se puede comprobar fácilmente, al dejar caer una bola de 10 cm de diámetro desde una altura de 1 m sobre una superficie dura. Si el diámetro del disco aplastado que se forma es de 13 a 14 cm, se considera que la consistencia es la adecuada (Minke, 2006).

La plasticidad del relleno es un factor crucial que favorece su adherencia al entramado y las fibras, por lo que se prefiere emplear tierras con cierto contenido de arcilla, o bien, incluir aditivos específicos que ayuden en la conglomeración de partículas en la mezcla. Históricamente, se han utilizado diversos aditivos para mejorar la plasticidad, como la orina de animales, la mezcla de agua con subproductos de cactus o la incorporación de estiércol de vaca, tal como se mencionó anteriormente.

El revoque grueso, además de contener tierra, puede integrar fibras vegetales que aportan resistencia a la flexotracción del material compuesto. Estas fibras, aunque disminuyen la

resistencia a compresión del mortero, ayudan a prevenir la formación de grietas durante el secado, mejoran la inercia térmica del revestimiento y aumentan su resistencia a las acciones dinámicas. Es importante destacar que estas técnicas de construcción tradicionales no solo ofrecen soluciones eficaces, desde el punto de vista estructural, sino que también representan una forma ambiental, económica, y socialmente sostenible en muchos países.

Corte de fibras de forma manual



Corte de fibras con guillotina

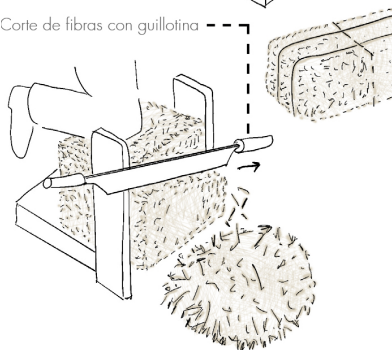
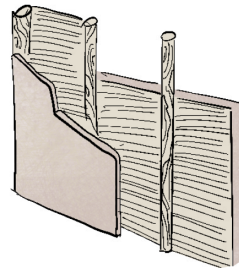


Fig. 2.3.12 | Preparación de las fibras.

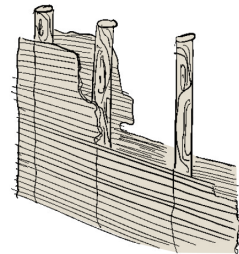
| Fuente: Autoría Propia. (2024).

Existe una variante del bahareque relleno, denominada “bahareque alivianado o hueco” (Figura 2.3.13). Para disminuir la carga estructural, en lugar de utilizar rellenos en la estructura auxiliar, se opta por añadir un material continuo encima de esta, como esterillas de caña tejidas o tablas delgadas. Posteriormente, se aplica el revestimiento con barro mezclado con fibras sobre estas superficies; hay que considerar que la adherencia de los revoques puede variar. El revestimiento, o revoque fino, se aplica sobre el revoque grueso con el propósito de protegerlo de la acción directa del agua y lograr un acabado superficial más sólido en tabiques expuestos a agentes exteriores.

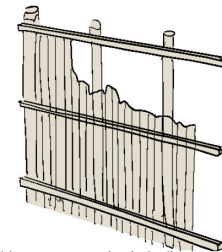
Al igual que el revoque grueso, el revoque fino contiene tierra, fibras y aditivos, aunque en proporciones diferentes y con una granulometría menor. La relación tierra-fibras en peso suele ser menor a 30:1, lo que significa que la cantidad de fibras presentes en la mezcla es considerablemente menor en comparación con el barro y otros componentes (lo que depende del diseño de la mezcla). Esta combinación de materiales ayuda a mejorar la resistencia a las tensiones propias de la dilatación y contracción del material, aumenta la durabilidad del revestimiento y proporciona una mayor cohesión y adherencia al entramado del tabique. En el caso de tabiques exteriores, el revoque de la capa exterior cumple una función esencial, al proteger el revoque grueso y garantizar la estanqueidad de la estructura frente a la humedad y otros agentes externos. Su composición debe ser cuidadosamente diseñada, ya que contribuye a la eficacia y



a) Panel hueco con tejido de esterillas con revoque



b) Panel hueco con tejido de latillas horizontales listas para revoque.



c) Panel hueco con tejido de latillas verticales listas para revoque.

Fig. 2.3.13 | A más del bahareque relleno, existen variantes de bahareque alivianado o hueco. | Fuente: Autoría Propia. (2024).

longevidad del sistema constructivo, lo que asegura un acabado final regular y uniforme.

3. APLICACIÓN DEL MORTERO EN LOS ENTRAMADOS PARA TABIQUES:

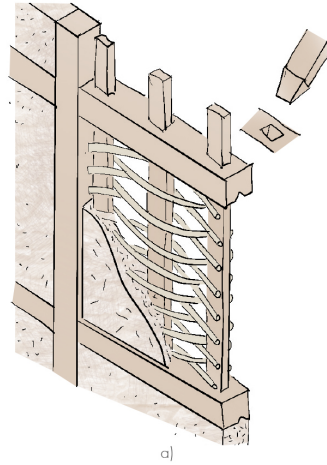
El material de relleno, que generalmente consiste en una mezcla de barro, tierra arcillosa o cal con fibras naturales como paja o caña, se aplica sobre esta estructura de manera uniforme, para formar las paredes. A menudo, se utiliza una técnica de “lanzado”, una aplicación que se hace con presión, o “apisonado”, para aplicar y compactar el material de construcción sobre la estructura de vara y postes. El barro se lanza o se aprieta contra la estructura hasta que se alcanza el grosor deseado y se asegura que todos los huecos queden rellenos. En el proceso de construcción, el barro se mezcla con paja picada o, en ocasiones, con fibras, y luego se aplica o se compacta sobre la malla generada en el entramado, de tal manera que todos los elementos queden cubiertos con al menos 2cm de espesor de la mezcla. Es crucial garantizar un recubrimiento adecuado ya que, si este no tiene el grosor necesario o si las fisuras no se reparan correctamente, la pared puede deteriorarse rápidamente (Figura 2.3.14).

4. REFORZAMIENTO DE TABIQUES CON ENTRAMADOS Y BARRO:

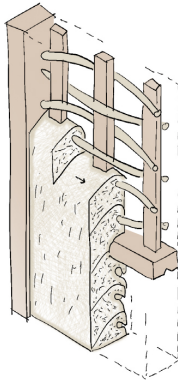
Los tabiques, pese a no cumplir una función principal en la configuración estructural en el edificio, deben trabajar en conjunto con la estructura principal. Pórticos, pilares y vigas de

LEYENDA:

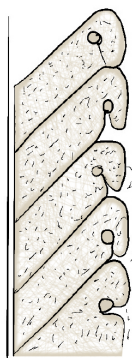
- a) Entramado con subestructura de tejido a presión que recibe un mortero de barro y paja.
- b) Entramado con subestructura de tejido que recibe un recubrimiento de paja que a su vez recibe el mortero de barro.
- c) Revestimiento en diagonal (sección).
- d) Revestimiento entrelazado en tablillas (sección).



a)



b)



c)



d)

Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

confinamiento son aconsejables para garantizar la estabilidad de los elementos constructivos divisorios y de cierre.

5. CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL TRABAJO CON ENTRAMADOS CON BARRO EN TABIQUES:

En entramados de bahareque tradicionales, es común encontrar un sobrecimiento que actúa como barrera protectora contra la humedad. Sin embargo, se están desarrollando sistemas mixtos que reducen el tamaño del sobrecimiento que históricamente rondaba los 40 centímetros de altura. La altura del sobrecimiento se ajusta según las características de humedad e inundación del lugar donde se construye. Para garantizar una adecuada protección contra la humedad en construcciones con bahareque, se recomienda trabajar un correcto aislamiento de la humedad con una membrana impermeabilizante. Esta medida busca asegurar la integridad estructural y la durabilidad de la edificación frente a posibles problemas derivados de la humedad del suelo.

Por último, es frecuente observar la presencia de aleros en construcciones tradicionales con bahareque expuesto al exterior. El alero, como prolongación del tejado, tiene como función desviar el agua de lluvia lejos de los muros, lo que protege los revestimientos exteriores de posibles daños ocasionados por la humedad.

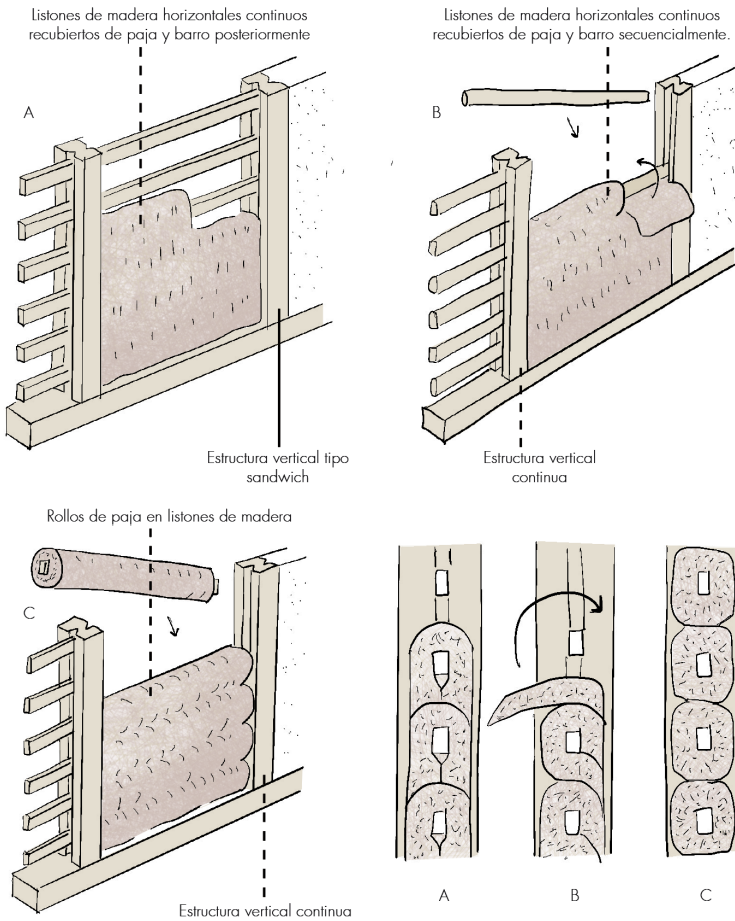


Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

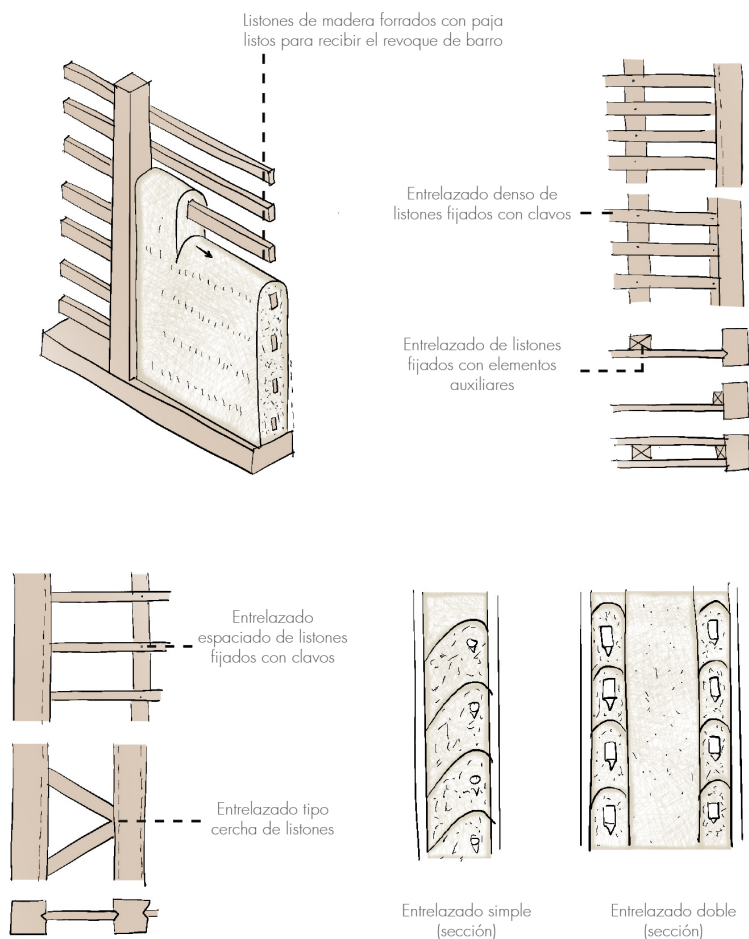


Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

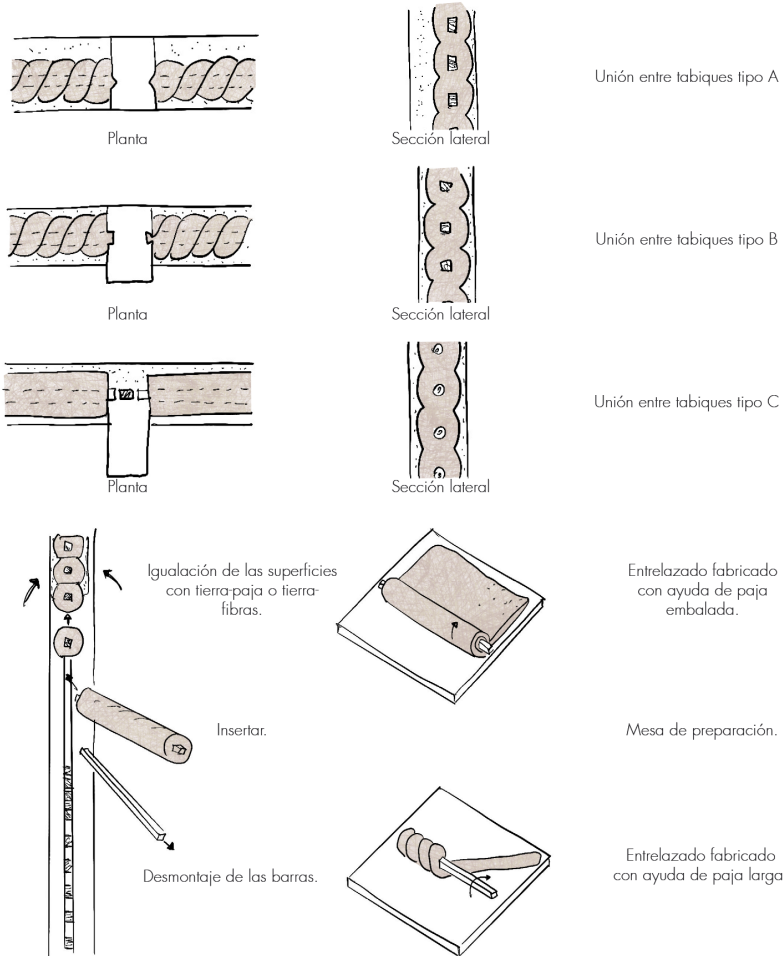


Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

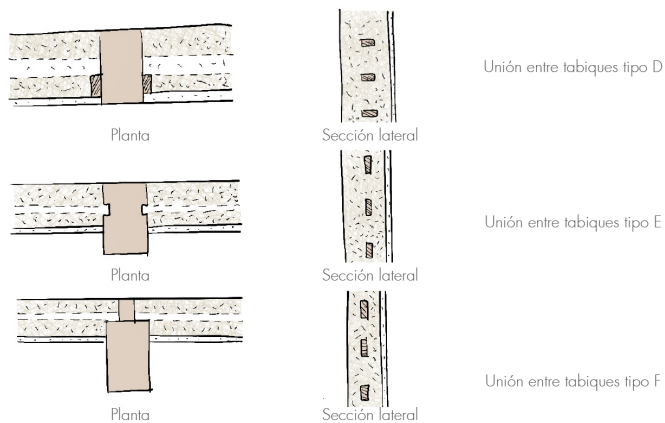


Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

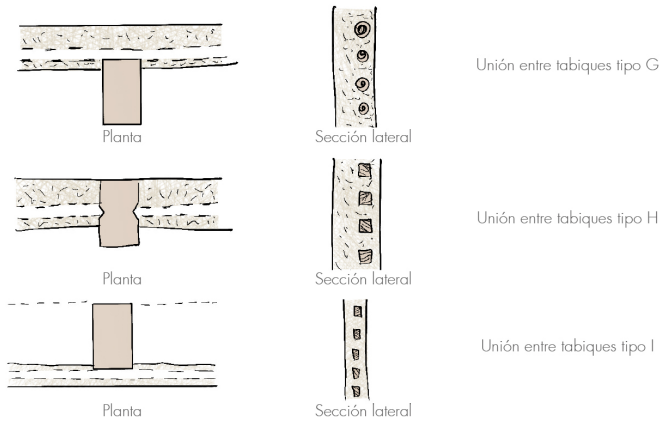


Fig. 2.3.14 | Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado.
Fuente: Autoría Propia (2024).

2.4 TABIQUES TRADICIONALES CON TIERRA COMPACTADA

La tierra, debido a sus características físicas y granulométricas, es un material susceptible a compactación. Gracias a la presión ejercida sobre el material, las partículas de arcilla, que trabajan como conglomerante principal del resto de partículas, se aglutinan y compactan para conformar un material altamente cohesionado, denso y resistente. Adicionalmente, si se considera que la compactación del material es más efectiva si el nivel de humedad es mucho menor a los morteros plásticos (es incluso suficiente la humedad propia de ciertos suelos), la tierra compactada posee menos poros y microporos y, por tanto, presentan mejor comportamiento mecánico que los adobes y otra técnicas que incorporan barro con mayor contenido de agua. En contraste con la albañilería de adobe, la tierra apisonada, al ser monolítica, ofrece la ventaja de una vida útil más prolongada y, debido a la cohesión de las partículas por la compactación, es más resistente a esfuerzos, especialmente a compresión.

La práctica de construir con tierra apisonada ha sido utilizada desde los albores de la humanidad, como una técnica arraigada en la tradición constructiva de todos los continentes. Los vestigios de cimientos de tierra apisonada descubiertos en Asiria se remontan a unos 5000 años antes de Cristo y muchas evidencias han desaparecido, debido a que el material ha regresado a formar parte de la corteza terrestre. En el proceso de construcción con tierra apisonada, se vierte tierra húmeda en un encofrado formado por capas de hasta

1.5 cm de grosor, las cuales se compactan posteriormente mediante apisonamiento. Los elementos resultantes pueden ir desde monolíticos muros y tabiques, bloques de tierra apisonada de gran formato e, incluso, mampuestos de tierra compactada (Figura 2.4.0).

En lo referente al encofrado, típicamente consiste en dos paredes paralelas separadas e interconectadas por espaciadores. Esta técnica recibe diferentes nombres según la región: pisé de terre o terre pisé, en francés; barro apisonado o tapial, en español; y Stampflembau, en alemán (Minke, 2006). En la actualidad, las técnicas tradicionales de tierra apisonada continúan siendo utilizadas en nu-

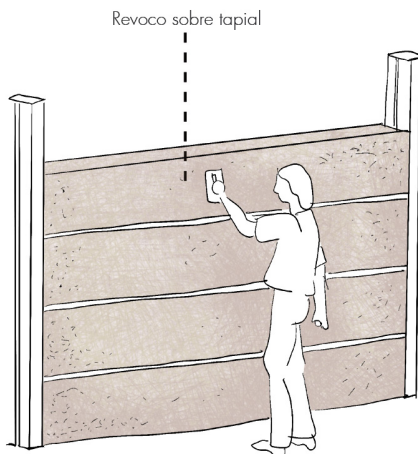


Fig. 2.4.0 | Ejemplo de un tabique de tapial confinado por dos pilares. | Fuente: Autoría Propia (2024).

merosos países en desarrollo (Figura 2.4.1.). Sin embargo, la introducción de sistemas de encofrado más refinados y la aplicación de métodos de apisonamiento eléctrico o neumático han reducido significativamente la mano de obra requerida, lo que ha permitido que estas técnicas sean relevantes incluso en países industrializados.

Por razones tanto ecológicas como económicas, la tecnología moderna de tierra apisonada mecanizada ha emergido como una alternativa viable a la albañilería convencional, particularmente en aquellos países industrializados donde no se exigen altos estándares de aislamiento térmico. Esta tecnología se está empleando cada vez más en regiones como Europa, Asia, Estados Unidos y Australia.

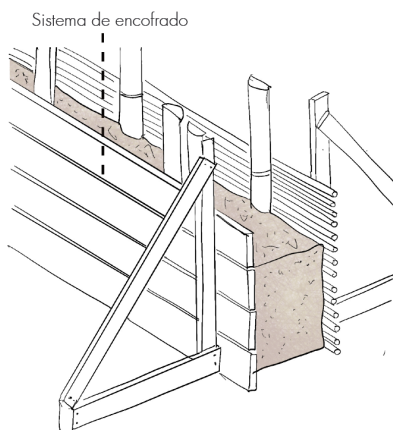


Fig. 2.4.1 | Ejemplo del proceso constructivo mediante encofrados de un tabique de tapial. | Fuente: Autoría Propia (2024).

2.4.1 TABIQUES CON TAPIAL

La técnica del tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar elementos monolíticos. Al igual que con todas las técnicas tradicionales de construcción con barro, no se conoce cuándo se empezó a utilizar la técnica para elaborar elementos constructivos, pero existen registros de que la tierra apisonada ha sido utilizada en todos los continentes desde épocas remotas (Figura 2.4.2). En América latina, por ejemplo, los pueblos precolombinos como los incas y los mayas emplearon esta técnica en la construcción de sus monumentos y viviendas. En el Mediterráneo, se han encontrado vestigios de construcciones en tapial datadas desde milenios antes de Cristo.

El proceso de construcción en tapial implica compactar capas de tierra húmeda en un encofrado de madera o metal, hasta alcanzar la altura deseada del muro (Figura 2.4.3). A medida que se compacta, la tierra adquiere co-

hesión y resistencia, lo que crea una estructura sólida y duradera. Una vez que se completa un tramo, se procede a retirar el encofrado, para utilizarlo en la siguiente sección.

El tapial ofrece diversas ventajas técnicas y estéticas. En términos de durabilidad, las construcciones en tapial han demostrado resistir el paso del tiempo con ejemplos históricos que siguen en pie tras siglos de funcionamiento. Además, la alta inercia térmica de la tierra proporciona un excelente aislamiento, lo que mantiene las estructuras frescas en verano y cálidas en invierno. Entre las ventajas del tapial, se encuentra su bajo costo, ya que utiliza materiales locales y mano de obra mínima especializada. Además, es una técnica sostenible y respetuosa con el medio ambiente, al requerir poca energía en su fabricación y no generar residuos.

En cuanto a la apariencia, la tierra apisonada puede variar considerablemente. Es común la conformación de una textura en la que se

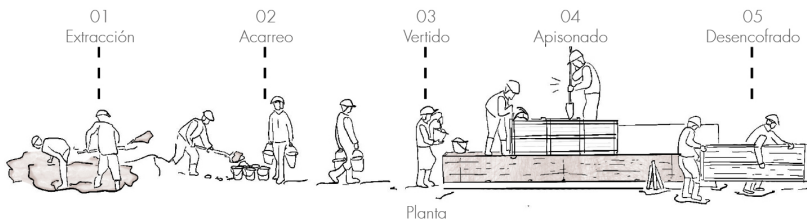


Fig. 2.4.2 | Construcción de tabiques con tapial. | Fuente: Autoría Propia (2024).

ven expuestas las diferentes capas de apisonamiento y, en algunos casos, la variación de coloración de diferentes tipos de tierras en estas capas. Adicionalmente, se pueden distinguir dos tipos principales de tapial: el tapial, que incluye grava visible en la superficie exterior después de la compactación, y la variedad con agregados finos. El tamaño de los equipos de trabajo varía según las características del sitio y otros factores locales. Para obras pequeñas, equipos compuestos por cinco o seis trabajadores suelen ser adecuados. La productividad estará fuertemente influenciada por las condiciones laborales y el diseño del edificio (Figura 2.4.4).

Como es bien sabido y abordado en la literatura concerniente a la construcción con tierra, las condiciones de calidad del suelo

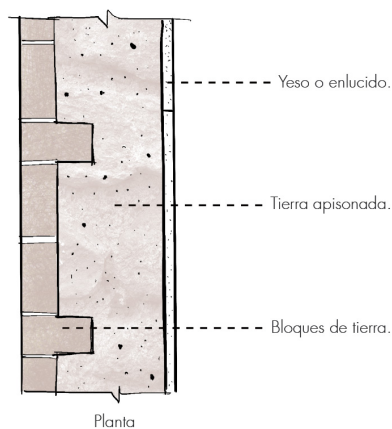


Fig. 2.4.3 | Ejemplo de muro de tapial y de bloques de tierra. | Fuente: Autoría Propia (2024).

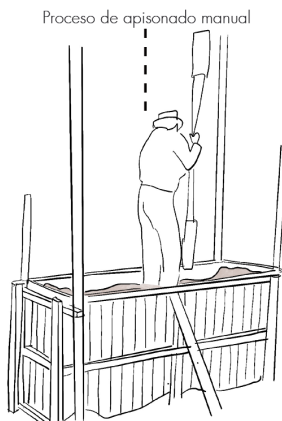


Fig. 2.4.4 | Conformación de un muro de tapial mediante encofrados. | Fuente: Autoría Propia (2024).

y el contenido de humedad adecuado son aspectos importantes para la consolidación y calidad del tapial. Además, existen numerosas variaciones tecnológicas en función de la ubicación geográfica donde se realiza el proceso de producción de tierra apisonada. La apariencia de este material es altamente variable, pero puede simplificarse en dos categorías principales: tapiales que contienen grava, visible en la superficie exterior después de la compactación, y la variedad con agregados finos. En cuanto a la planificación de la construcción, se deben considerar las condiciones climáticas. Para la construcción de tabiques con tapial, se determina una serie de consideraciones a tomar en cuenta (Houben y Guillaud, 2008). A continuación, se enumeran y explican las más importantes:

1. PREPARACIÓN DE LA TIERRA PARA TABIQUES CON TAPIAL:

El suelo utilizado en la construcción de tierra apisonada puede mostrar una cohesión variable en su estado natural. Ahí, la calidad del suelo empleado es crucial para la calidad del tabique de tierra apisonada resultante. Es esencial que los constructores se cercioren que el suelo seleccionado cumpla con los criterios necesarios, especialmente en cuanto a granulometría y contenido de humedad. Pueden surgir situaciones que requieran etapas adicionales con la materia prima, como cribado, pulverización y mezcla seca o húmeda. Una desviación importante de las curvas granulométricas puede tener efectos adversos en el costo de producción, la productividad y la calidad del producto final (Figura 2.4.5).

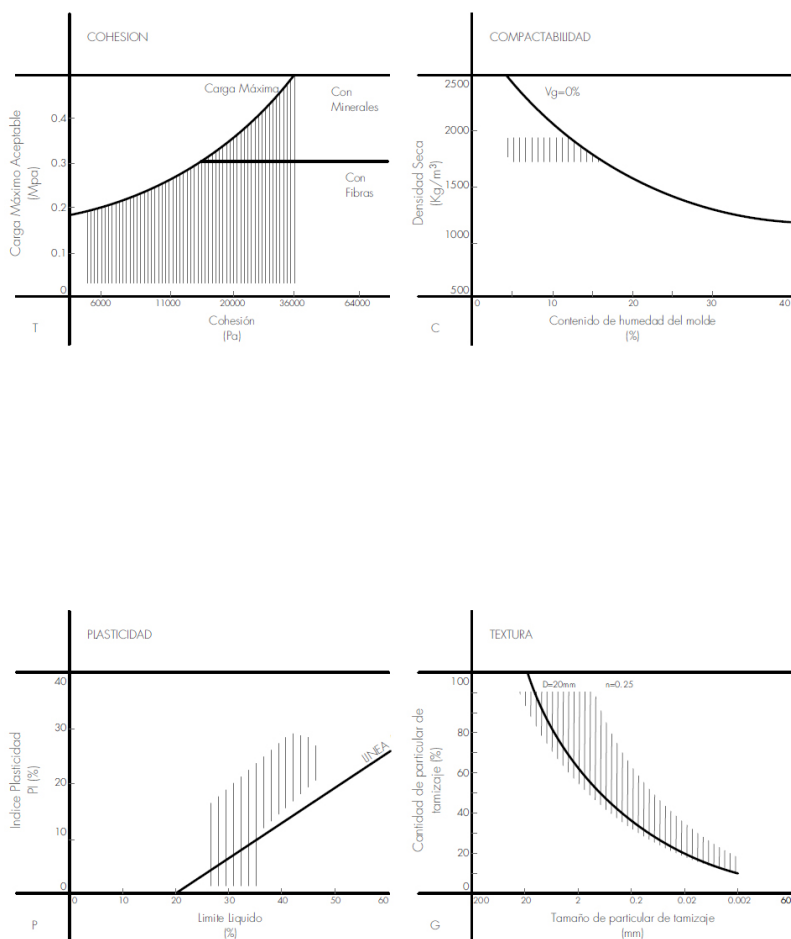


Fig. 2.4.5 | Características del suelo recomendado para tierra apisonada. | Fuente: Houben y Guillaud, (2008).

La excavación del suelo puede ser realizada de forma manual o mecánica. En el primer caso, se utilizan herramientas adecuadas para la extracción y mano de obra. La excavación mecánica puede simplificar el proceso cuando se manejan grandes volúmenes de tierra (Figura 2.4.6). Además, existen otras máquinas que pueden ayudar a homogeneizar el tamaño granulométrico de la tierra.

Es fundamental seleccionar la tierra y puede lograrse mediante la eliminación manual de piedras grandes, es decir, aquellas con un diámetro superior a 50 mm. Se pueden utilizar tamizadoras y máquinas para pulverizar o desmenuzar la tierra excesivamente arcillosa que contiene grumos duros, a la cual se le debe agregar arena, si es necesario (Figura 2.4.7). Respecto a la mejora del suelo arcilloso con

arena, el procesamiento de pulverización de la fracción arcillosa en el pulverizador, adicionada al componente arenoso, produce una mezcla de calidad adecuada. Esta mezcla se somete a una secuencia de operaciones adicionales, como transporte, elevación y distribución dentro del encofrado. El pulverizador debe ser una máquina robusta capaz de manejar suelos pedregosos y arenosos, y de proyectar la tierra a cierta distancia para garantizar una buena aireación y una premezcla adecuada (Figura 2.4.8).

La mezcla minuciosa es aconsejable cuando se necesita homogeneizar el suelo o cuando se desea añadir un estabilizador. El equipo más adecuado para esta operación es una hormigonera, o una máquina similar. En cuanto al transporte, este dependerá del volumen del material

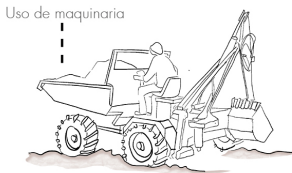


Fig. 2.4.6 | Extracción y transporte de tierra mediante maquinaria. | Fuente: Autoría Propia (2024).

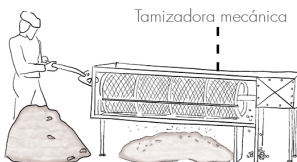


Fig. 2.4.7 | Tamizado y selección de los componentes granulométricos idóneos para el tapial. | Fuente: Autoría Propia (2024).

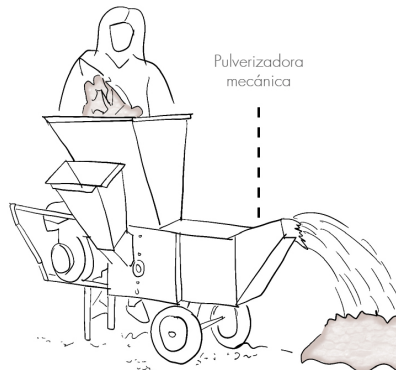


Fig. 2.4.8 | Pulverización del suelo mediante maquinaria. | Fuente: Autoría Propia (2024).

y la distancia. Tradicionalmente, los obreros utilizaban la tierra del lugar, por lo que el transporte era interno, mediante carretillas o pequeños contenedores, dentro de la misma obra. Se vertía el material en los cofres mediante cestas.

2. ENCOFRADOS PARA TABIQUES CON TAPIAL:

El encofrado, posiblemente, es la parte más importante del sistema constructivo de tapial. Es más efectivo cuando es de tamaño reducido y de diseño simple. Debe ser resistente y estable para soportar la presión y las vibraciones generadas durante el compactado de la tierra (al menos 3000 Pa). Además, debe ser fácil de manipular; es decir, ligero y simple de montar y desmontar, con un ajuste preciso y una buena sujeción. Fundamentalmente, el encofrado debe adaptarse a los cambios en la altura, longitud y grosor de las paredes, lo cual es crucial para la productividad en la construcción de tierra apisonada. Se puede emplear una amplia variedad de materiales para encofrados, como madera, troncos, aluminio, acero, entre otros.

Los paneles de madera de 19-20 mm de espesor son ampliamente empleados, aunque requieren refuerzos verticales cada 75 cm para evitar que se doblen hacia afuera durante el proceso de apisonamiento. Como alternativa, podría resultar más económico optar por tableros de mayor grosor, entre 30 y 45 mm, los cuales solo necesitan refuerzos cada 100 a 150 cm.

Una vez colocado y ensamblado en su sitio, el encofrado debe fijarse adecuadamente para evi-

tar desprendimientos o deformaciones. Para esto, los constructores han desarrollado varios sistemas como, por ejemplo, el uso de abrazaderas. Las abrazaderas son piezas sólidas, en algunos casos curvadas y gruesas, que actúan como soporte para las tablas del encofrado. Este sistema puede dejar grandes agujeros en la tierra apisonada al retirar los cofres. Es ideal que las abrazaderas sean ligeramente cónicas, para facilitar su extrac-

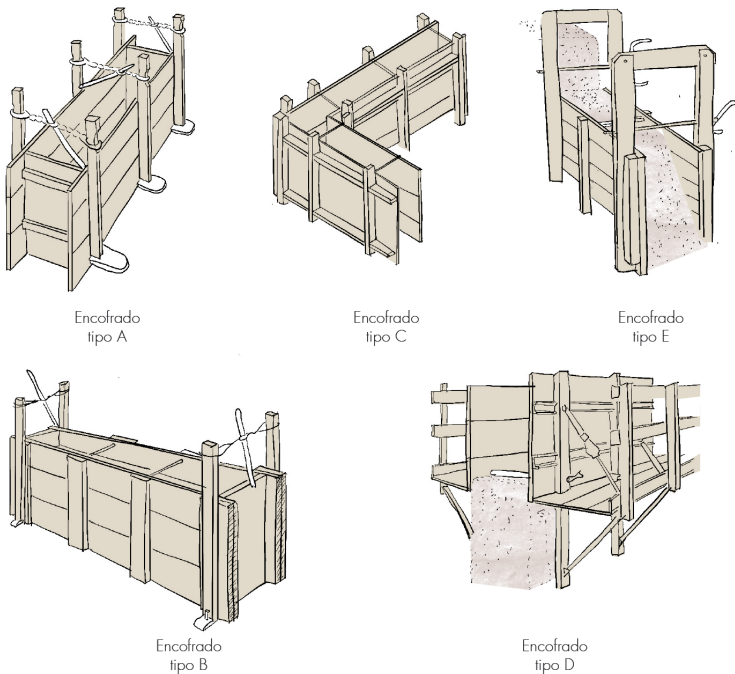


Fig. 2.4.9 | Ejemplos de diferentes sistemas de encofrados. | Fuente: Autoría Propia (2024).

ción sin dañar la tierra apisonada. Los tablones que sirven como andamios se pueden colocar en posición si se proyectan desde las tablas del encofrado. Sin embargo, este montaje es bastante pesado y vulnerable, siendo necesario un martillo para retirar las abrazaderas (Figura 2.4.9).

Por otro lado, el sistema de abrazaderas pequeñas se basa en la tecnología de enco-

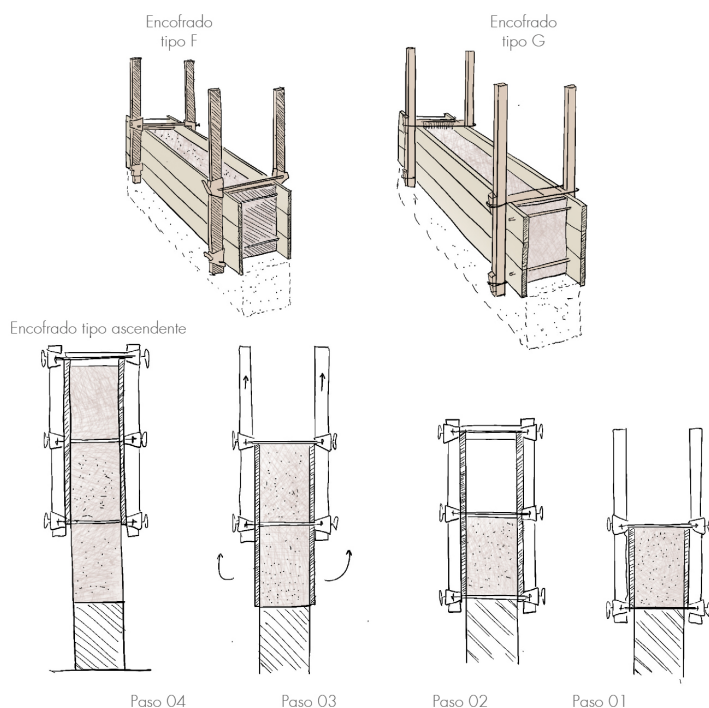
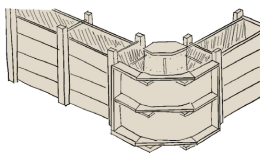


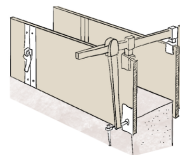
Fig. 2.4.9 | Ejemplos de diferentes sistemas de encofrados. | Fuente: Autoría Propia (2024).

frado de hormigón. En este caso, varillas de acero roscadas o barras planas de hierro se utilizan como abrazaderas, lo que deja solo pequeños agujeros al retirar los cofres. Las barras deben tener una sección transversal lo suficientemente grande como para soportar las caras del cofre y evitar el empuje de la tierra apisonada. También existen alternativas como placas mantenidas en su lugar mediante dispositivos de tensión, sistemas de bloqueo por tornillo o incluso mediante gatos hidráulicos de bloqueo.

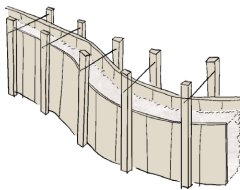
En la actualidad, existen un sinnúmero de tipos de encofrados. A continuación se señalan algunos tipos de encofrados aplicables a la tecnología de construcción de tabiques con tapial:



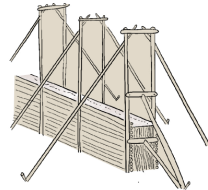
Encofrado en esquina



Encofrado ascendente tipo A



Encofrado curvo



Encofrado ascendente tipo B

Fig. 2.4.9 | Ejemplos de diferentes sistemas de encofrados. | Fuente: Autoría Propia (2024).

- Encofrados deslizantes horizontales: Los encofrados deslizantes horizontales son pequeñas unidades de encofrado que se desplazan horizontalmente. Este sistema, desarrollado por artesanos y tradicionalmente utilizado en la construcción de tierra apisonada, emplea sistemas de sujeción que siguen los principios previamente mencionados. Entre sus ventajas principales se encuentran la ligereza, la facilidad de maniobra del equipo y la capacidad de adaptación (Figura 2.4.10).

- Encofrados deslizantes verticales: Los encofrados deslizantes verticales son ideales para la construcción de tabiques de tierra apisonada, ya que facilitan y aceleran considerablemente el proceso de construcción de una estructura. Sin embargo, es crucial diseñar cuidadosamente el encofrado. Este sistema

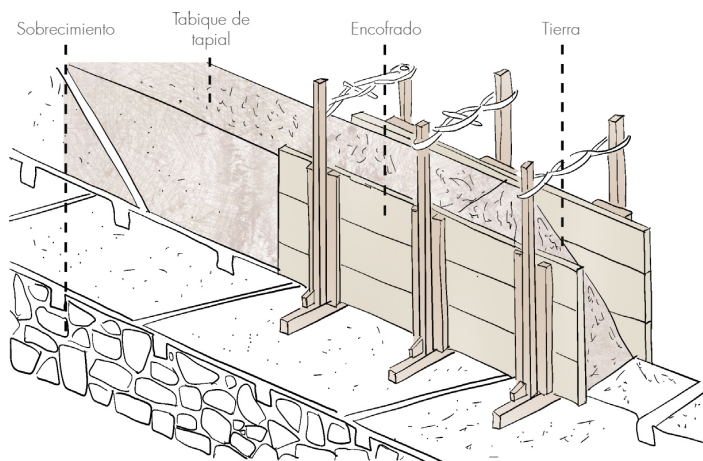


Fig. 2.4.10 | Encofrado deslizante horizontal. | Fuente: Autoría Propia (2024).

se basa en elementos verticales sostenidos por pilares, postes o marcos externos (Figura 2.4.11).

- Encofrado integral horizontal: El encofrado integral horizontal implica un anillo de encofrado que se desplaza verticalmente. Para lograr el éxito en este método, es crucial que los elementos sean ligeros y que tanto el montaje como el desmontaje sean simples y rápidos. Sin embargo, se presentan desafíos importantes como las juntas entre las tablas, la alineación horizontal y el mantenimiento de la verticalidad (Figura 2.4.12).

- Encofrado integral vertical: El encofrado integral vertical es adecuado para la construcción de grandes pilares, los cuales están contenidos dentro del molde durante toda su altura.

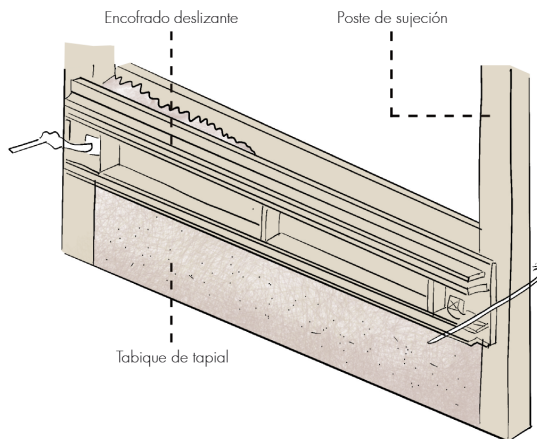


Fig. 2.4.11 | Encofrado deslizable vertical. | Fuente: Autoría Propia (2024).

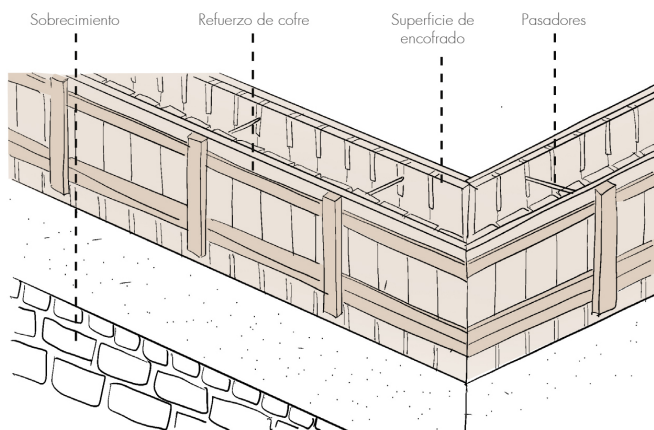


Fig. 2.4.12 | Encofrado integral horizontal. | Fuente: Autoría Propia (2024).

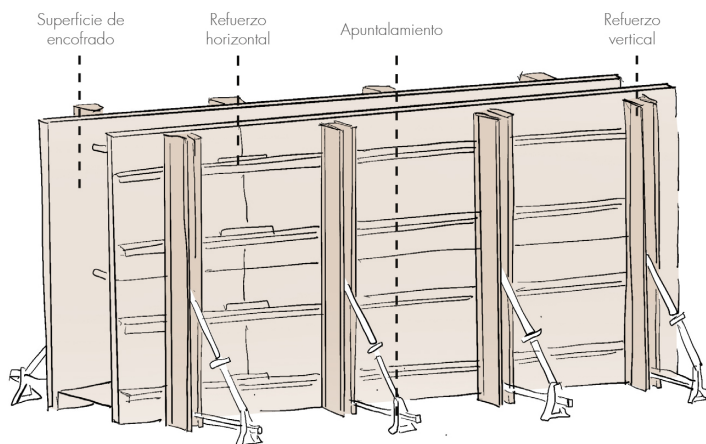


Fig. 2.4.13 | Encofrado integral vertical. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Para facilitar el apisonamiento, solo un lado del encofrado se erige completamente, mientras que el segundo se construye a medida que avanza la edificación del muro. (Figura 2.4.13).

- Encofrados móviles: Los encofrados móviles intentan salvar un desafío significativo para los trabajadores, cuando operan a una altura considerable sobre el nivel del suelo, especialmente en tabiques de tierra apisonada con un espesor de 40 cm o más. Como regla general, la ligereza y la facilidad de maniobra son fundamentales para garantizar la seguridad de los obreros en estas situaciones. Se han explorado métodos para evitar el desmontaje y montaje completo del encofrado al realizar movimientos (Figura 2.4.14).

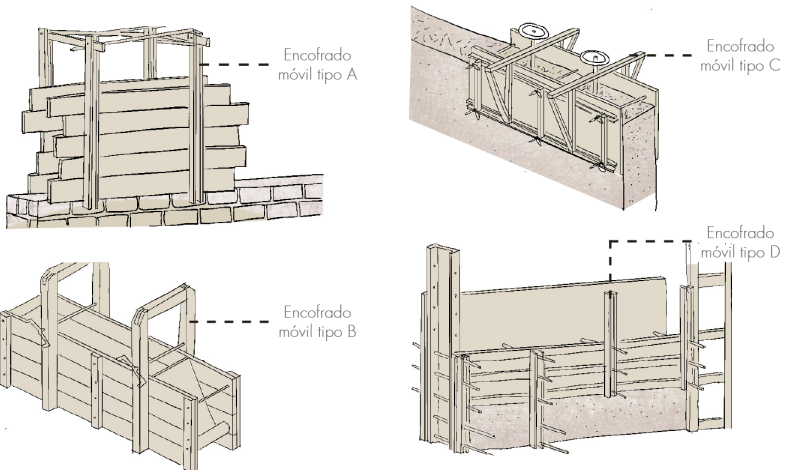
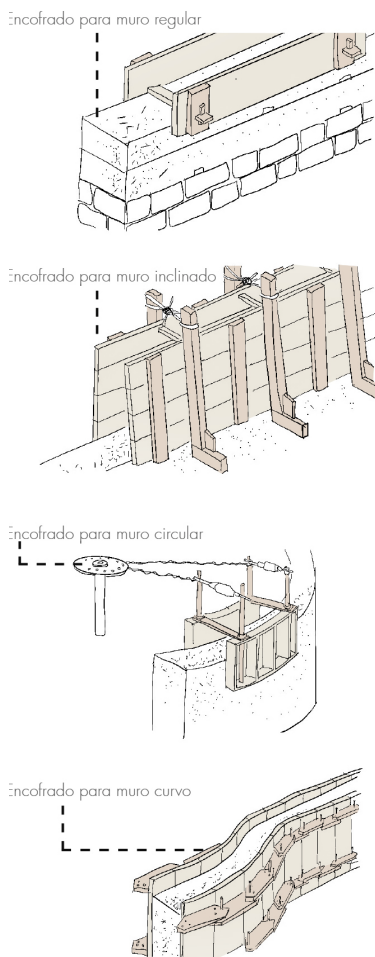


Fig. 2.4.14 | Diferentes tipos de encofrados móviles. | Fuente: Autoría Propia (2024).



- Encofrados con diferentes respuestas formales: La mayoría de los encofrados utilizados, ya sean horizontales o verticales, están diseñados según el principio de paneles rectos que producen superficies planas. Sin embargo, existen encofrados que se pueden utilizar para producir superficies planas perpendiculares o inclinadas y ciertos tipos de encofrados con los que es posible hacer superficies curvas. Adicionalmente, existe un sistema de encofrado que utiliza paneles modulares y hace posible diseñar superficies compuestas de pequeñas caras verticales para la producción de diversas formas, donde se incluyen tabiques geoméricamente variables (Figura 2.4.15).

Por otra parte, la construcción de esquinas entre tabiques implica el uso de encofrados especiales. Estos pueden ser moldeados en una sola pieza o formados mediante la superposición perpendicular de tablas. Para reducir la erosión en las esquinas exteriores es útil proporcionar bordes biselados o achaflanados. El sistema en T utilizado para unir tabiques divisorios sigue los mismos principios que se aplican a las esquinas (Figura 2.4.16).

Fig. 2.4.15 | Encofrados con diferentes respuestas formales. | Fuente: Autoría Propia (2024).

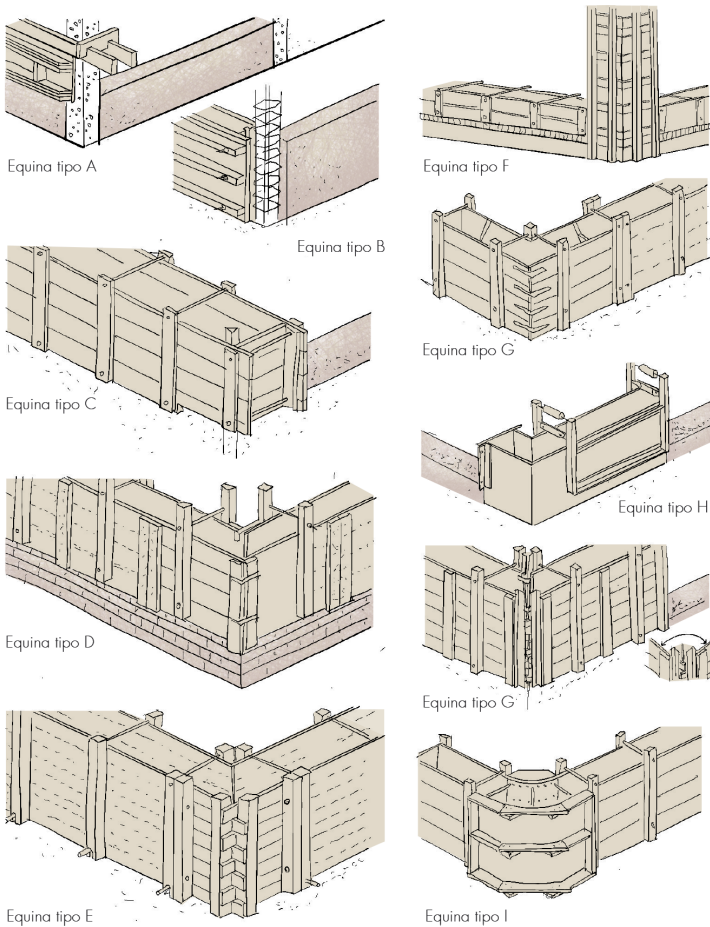
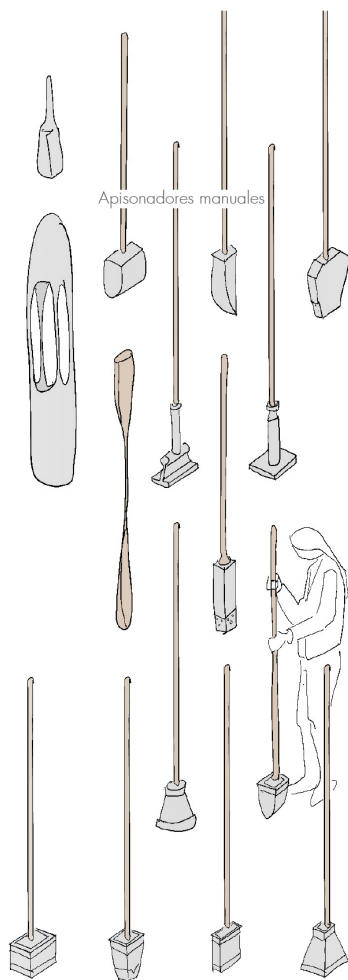


Fig. 2.4.16 | Los encofrados y el tratamiento de las esquinas. | Fuente: Autoría Propia (2024).



Apisonadores manuales

3. COMPACTACIÓN DEL MATERIAL PARA TABIQUES CON TAPIAL:

Generalmente, las capas de tierra se compactan cada 10 - 15 cm y, una vez que se alcanza una altura de 40-60 cm en el tabique, se procede con la siguiente parte al mover el encofrado a su nueva posición. Los apisonadores convencionales están diseñados para compactar la tierra manualmente y consisten en una masa de madera o metal pesado equipada con un mango. La diversidad del diseño de la herramienta depende de cada región. En ciertos países se utilizan varios tipos de apisonadores para la ejecución del mismo tabique, lo que depende del trabajo en cuestión. Los factores más importantes en el diseño de un apisonador manual convencional son los siguientes: material, peso, área, forma, cara llamativa, tipo de mango y tamaño. Una superficie plana en forma de prisma da los mejores resultados para el compactado de la tierra. La cabeza de impacto, que generalmente es de madera o metal, deberá tener una superficie que oscila entre 60 y 200 cm². El peso recomendado de los apisonadores va de 5 a 9 kg. El tamaño del mango del apisonador dependerá del operador y varía entre 1.3 y 1.4 m, pero depende de la altura del operario (Figura 2.4.17).

Por otra parte, en la actualidad, existen apisonadores mecánicos que facilitan y optimizan la tarea de compactación y apisonamiento. Los compactadores neumáticos imitan el funcionamiento de un apisonador manual, pero con una frecuencia de impacto mucho más alta (hasta 700 golpes por minuto). De todos

Fig. 2.4.17 | Apisonadores manuales.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

los apisonadores neumáticos disponibles, solo los compactadores de “suelo” son efectivos, de los cuales hay numerosos tipos comerciales. No deberían ser ni demasiado pesados (15 kg como máximo) ni demasiado potentes, ya que podrían desestabilizar el encofrado o el material. Deberían ser capaces de alcanzar una presión de hasta 0,5 MPa. La compactación llevada a cabo por un compactador neumático es altamente efectiva, y si el suelo y el contenido de humedad es adecuado, el tabique resultante de la tierra apisonada es excelente (Figura 2.4.18).

Las técnicas para crear tierra apisonada con estrías de colores son variadas, aunque lograr un acabado de calidad requiere experiencia y paciencia. La tierra apisonada, al ser utilizada en la construcción de tabiques pequeños, permite el desmontaje rápido de los encofrados, en algunos casos, en minutos. Sin embargo, los tabiques recién construidos son algo frágiles, con esquinas susceptibles a roturas y caras propensas a daños. El secado rápido por viento o sol puede tener efectos adversos, debido a la retracción acelerada, por lo que es recomendado mantener las tabiquerías húmedas y cubiertas con mantas de curado o plástico para optimizar su resistencia final. El adecuado secado de la tierra apisonada estabilizada, que puede durar hasta 28 días, puede resultar en aumentos significativos en la resistencia y cohesión del material. En cualquier caso, se debe tener cuidado de no dañar las paredes durante el desmontaje del encofrado y, como mínimo, se recomienda mantener la humedad del tabique por un mínimo de siete días (Easton & Easton, 2012).

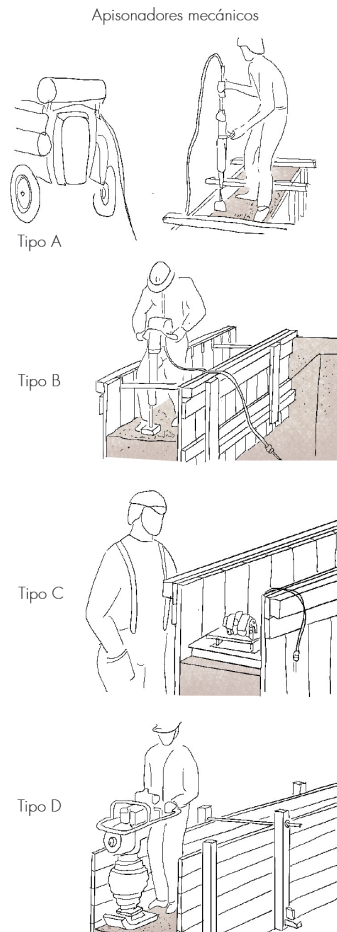


Fig. 2.4.18 | Apisonadores mecánicos.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

2.5 TABIQUES MODERNOS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS CON TIERRA

La tierra, como material de construcción, se ha popularizado en los últimos años debido a dos factores principales: en primer lugar, como respuesta a la problemática medioambiental y la necesidad de emplear menos energía en la construcción y la arquitectura y, en segundo lugar, debido a las características térmicas, acústicas, higroscópicas y, en general, físicas inherentes al material.

Hoy, al igual que ha sucedido en todas las épocas, las diferentes técnicas con tierra son adaptadas al contexto tecnológico constantemente. Gracias a la conciencia medioambiental generada, lejos de haber agotado la investigación y desarrollo de los materiales a base de arcilla, existe un renovado interés en su aplicación y en entender el manejo de sus componentes y de los mecanismos más eficientes de estabilización, sobre todo si se considera que la academia nunca abordó seriamente el estudio e innovación con este material. Es así que, paulatinamente, se ha optimizado el manejo de los materiales en cada una de las técnicas tradicionales de construcción con barro.

Por otro lado, las tecnologías mixtas entre el barro y otros materiales, entre ellos la madera, fibras y estabilizantes, se han desarrollado notablemente. Los procesos de prefabricación de piezas de madera, cortadas a medida con relativa facilidad, han posibilitado que los elementos constructivos de este material sean opti-

mizados en cuanto a su proceso de fabricación y sus características finales. A continuación, se analizan algunas tecnologías utilizadas en la actualidad para la fabricación de tabiques con tierra y otros materiales.

2.5.1 TABIQUES CON BTC

Los bloques de tierra comprimida (BTC o CEB, por sus siglas en inglés, Compressed Earth Blocks) forman parte de la familia de los materiales de construcción derivados de la tierra, que presentan una serie de ventajas significativas que contribuyen a mejorar tanto la eficiencia física como las condiciones climáticas internas de los edificios. La arcilla, en particular, se destaca como un material de construcción excepcionalmente sostenible, en virtud de su producción y procesamiento respetuosos con el medio ambiente. Su disponibilidad y la capacidad para ser moldeada con relativa facilidad favorecen tanto la autoconstrucción como la reutilización en diversas aplicaciones arquitectónicas. Adicionalmente, podemos mencio-

nar que el uso de los bloques de tierra (BTC) se ha extendido ampliamente alrededor del mundo y que, en la actualidad, existen destacadas oficinas de arquitectura que hacen uso de este material, como por ejemplo: la oficina de Shigeru Ban, de Japón; Kéré Architecture, de Alemania; Put Your Hands Together-BioArchitects y Neogenesis+Studi0261, de India; Apaloosa, Estudio de Arquitectura y Diseño, de México; 1+1>2 Architects, de Vietnam; la oficina de arquitectura Salba, de Colombia; DUST Architects, de Estados Unidos; la oficina Arqbag, de España; FAZ architectes, de Suiza; Albert Faus, de Burkina Faso; Jean Yves Barrier, de Francia; entre otros.



Fig. 2.5.1 | El uso del BTC en el proyecto Kirinda Houses. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Como ejemplo, se puede hablar de la propuesta arquitectónica tecnológica que en 2007 propuso el Pritzker, Shigeru Ban, en donde usaba bloques de tierra comprimida BTC para resolver parte del problema de la vivienda en Sri Lanka, tras el tsunami que golpeó sus costas en 2004 (Figura 2.5.1). Esto deja en evidencia la vigencia y actualidad de los bloques de tierra comprimida. El propósito fundamental de la iniciativa liderada por Shigeru Ban consistió en la adecuación de las unidades habitacionales a las condiciones climáticas específicas de la región, para aprovechar las características térmicas de los bloques de tierra (Figura 2.5.2), así como en la maximización del empleo de mano de obra y materiales autóctonos. Este enfoque persigue múltiples objetivos, donde se incluye

el impulso del desarrollo económico local y la satisfacción de las necesidades habitacionales de la población, mediante una colaboración estrecha y coordinada entre diversos actores involucrados.

Las viviendas son erigidas con una gama de materiales autóctonos, entre los cuales se destacan la tierra, la madera y la teja, con el fin primordial de optimizar costos y generar un impacto económico positivo a nivel regional. Específicamente, los bloques de arcilla compactada BTC estabillizados son empleados como ladrillos, debido a sus propiedades favorables. La geometría de estos bloques permite su disposición de manera simple y eficiente, lo que facilita su apilado incluso por mano de obra no especializada, en un proceso análogo al ensamblaje de piezas tipo LEGO (Figura 2.5.3). Los BTC forman parte de la estructura que, mediante el recurso de la geometría de los tabiques, configura planos perpendiculares. El bloque de tierra comprimida reemplaza al ladrillo convencional eficientemente, lo que muestra una sostenibilidad integral, es decir ambiental, económica y social.



Fig. 2.5.2 | BTC, proyecto Kirinda Houses.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

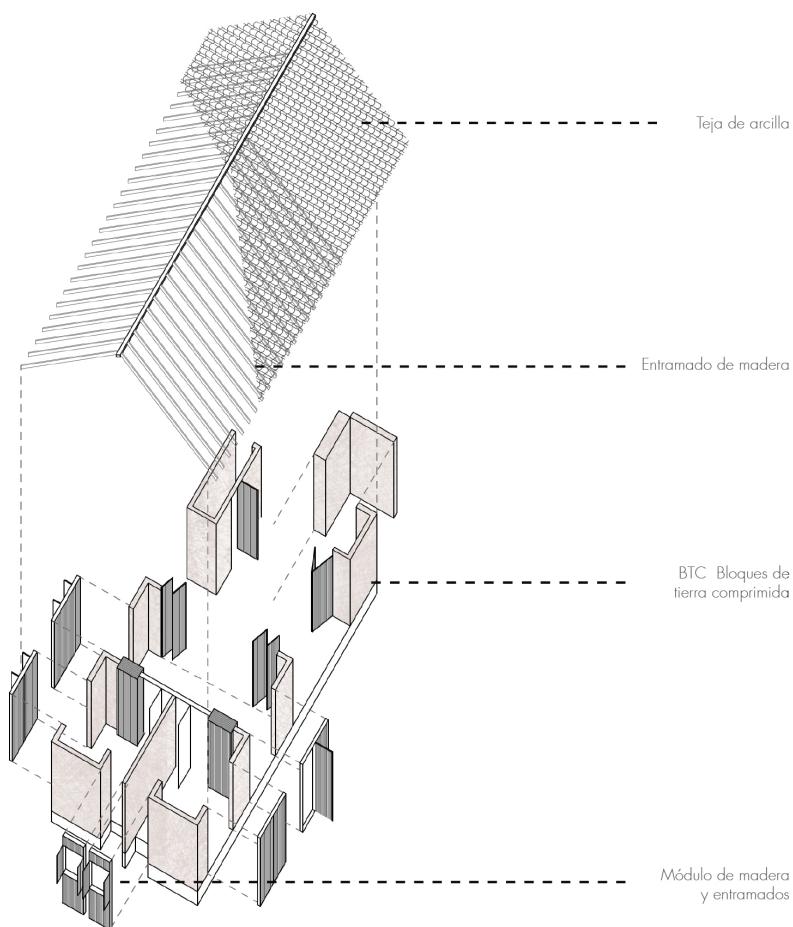


Fig. 2.5.3 | BTC, Axonometría de proyecto Kirinda Houses. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Por otra parte, como ejemplo local, podemos mencionar la propuesta arquitectónica tecnológica de la oficina de arquitectura Chaquiñan, en 2013, en la casa Lienzo de Barro, en Tumbaco, Ecuador (Figura 2.5.4). Los arquitectos escogen el barro para la configuración de los tabiques de cerramiento por las características térmicas del material frente a un clima templado que puede presentar bajas temperaturas en las épocas más frías. El sistema de tabiquería trabaja a compresión, en sinergia con el sobrecimiento y vigas de confinamiento de hormigón (Figura 2.5.5). Al igual que en el proyecto anterior, el uso de la tecnología de bloques de tierra representa una ventaja desde el punto de vista sostenible en sentido ambiental, social y económico.



Fig. 2.5.4 | El uso de los bloques de tierra en el proyecto Lienzo de Barro. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Otra propuesta tecnológica actual que incluye BTC es de la oficina alemana de arquitectura Schauer+Volhard (Figura 2.5.6), que propone el uso de la tecnología de tabiques mixtos, mediante la utilización de marcos de madera, similares a los utilizados en el Balloon Frame, con un relleno de bloques de tierra comprimida que son modulados de acuerdo a los requerimientos del proyecto. Antes de proceder con la construcción en el lugar designado, es fundamental la elaboración previa de los bloques de tierra, los cuales se componen de una mezcla de arcilla o tierra con aditivos específicos que mejoran su cohesión y resistencia estructural. Es importante destacar que los bloques de arcilla-paja requieren un proceso de fabricación anticipado, dado que necesitan un período de secado de apro-

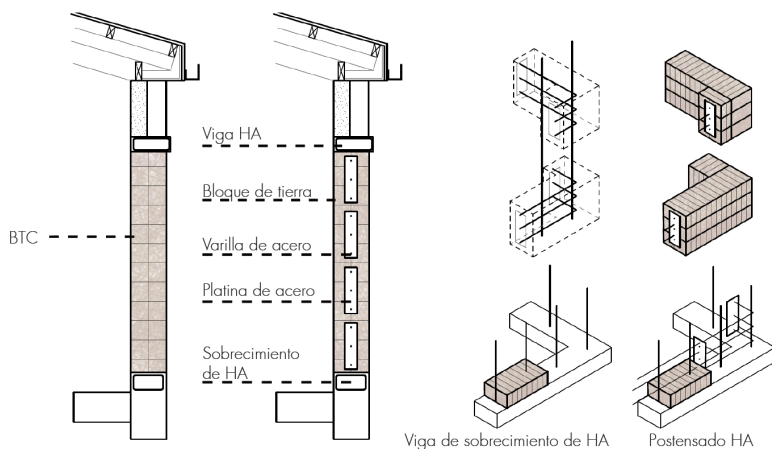


Fig. 2.5.5 | El uso de los bloques en sinergia con elementos estructurales de acero y hormigón.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

ximadamente cuatro semanas para alcanzar la adecuada rigidez y estabilidad requeridas para su implementación en la obra (Jovanovic et al., 2018).

Para la fabricación de los tabiques, se procede con la construcción de la estructura modular entramada de madera, la cual se apoya en su parte inferior en el forjado, y en su parte superior en la estructura de cubierta o entresuelo. Para reforzar la estructura y mejorar su capacidad térmica y acústica, se lleva a cabo el relleno de la estructura porticada con bloques de arcilla desde el interior. Los bloques de arcilla se colocan en seco dentro de los compartimentos abiertos hacia el interior y se aseguran mediante tiras de sujeción. Posteriormente, se procede a cubrir el marco de madera con tableros de madera contrachapada u otros materiales, lo que proporciona protec-

ción adicional a la estructura. Por lo general, se emplean enlucidos para el acabado final de los paneles, lo que confiere a la estructura un aspecto uniforme y estéticamente agradable, además de mejorar su durabilidad y resistencia frente a los elementos externos. Se observa que, tanto las piezas que conforman el sistema de entramados de madera como los bloques de tierra y los tableros de recubrimiento, son elementos prefabricados que son ensamblados en obra, lo que facilita los procesos constructivos y optimiza el control de calidad de los elementos y los tiempos de ejecución (Figura 2.5.7).

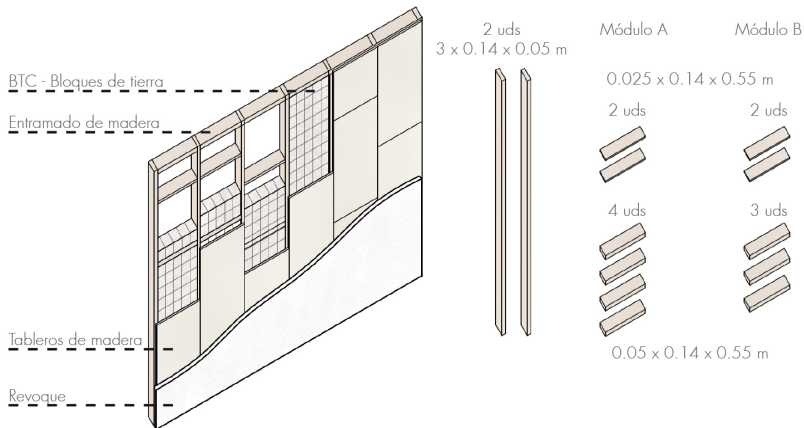


Fig. 2.5.6 | Tabi ques con BTC empleados por la oficina de arquitectura Schauer+Volhard en Alemania.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

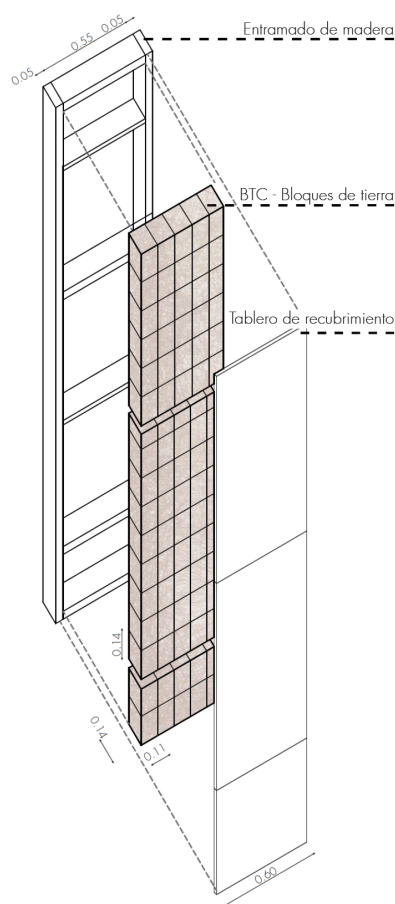


Fig. 2.5.7 | Tabi ques con BTC empleados por la oficina de arquitectura Schauer+Volhard en Alemania. | Fuente: Autoría Propia (2024).

2.5.2 TABIQUES CON ELEMENTOS COMPUESTOS CON ARCILLA

La arcilla, comúnmente, es utilizada como conglomerante natural de diferentes tipos de materiales, tales como agregados pétreos, fibras naturales, subproductos de la industria de la construcción, etc. De esta forma, la arcilla y el barro están presentes de diferentes formas en elementos constructivos utilizados para la conformación de tabiques. El potencial de los materiales arcillosos con fibras naturales como, por ejemplo, la paja o la fibra de cáñamo, en el sector de la construcción, es significativo, debido a varias razones: tanto las fibras naturales como la arcilla son materias primas naturales, lo que los convierte en materiales de base biológica. Esto significa que tienen un bajo impacto ambiental, en comparación con los materiales convencionales. Los materiales arcillosos con fibras vegetales pueden ofrecer propiedades técnicas deseables para la construcción, como resistencia mecánica, capacidad de aislamiento térmico y acústico, así como regulación de la humedad en interiores. La investigación sobre la composición y las propiedades de estos productos ha aumentado en los últimos años y proporciona datos científicos sólidos para respaldar su viabilidad y aplicaciones en la construcción. Los estudios pueden incluir pruebas de coeficientes acústicos, térmicos y mecánicos de las muestras, lo que ayuda a comprender mejor su rendimiento en diferentes contextos de construcción. Al mismo tiempo, la investigación continúa y el desarrollo de estos materiales son fundamentales para mejorar sus características y optimizar su rendimiento en aplicaciones de construcción específicas (Raluca et al., 2019).

Un ejemplo de estos materiales compuestos con barro son los ladrillos de arcilla con fibras. Cannabric [www.cannabric.com], por ejemplo, es comercializado como un bloque prensado hecho de fibra de cáñamo conglomerada con mortero de arcilla, que exhibe una notable resistencia a las cargas, al tiempo que presenta una baja conductividad térmica de $0,19 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y una alta inercia térmica de $1224 \text{ kJ/m}^3\cdot\text{K}$. Estas cualidades termodinámicas confieren al bloque la capacidad de proporcionar protección ante el frío y el calor, sin la necesidad de añadir aislantes en tabiques monocapa de poco espesor.

Otro ejemplo son los tabiques de ECOPAJA [www.ecopaja.com], un sistema constructivo modular estructural, de cerramiento, de forjado y de cubierta basado en una estructura de madera maciza con un relleno de paja compactada. Se pueden utilizar fibras de trigo, cebada, avena o arroz que trabajan como aislamiento y muro de carga (Figura 2.5.8). La paja puede ser conglomerada con un mortero a base de arcilla, que ayuda a mantener las fibras unidas y, a la vez, las protege de insectos y bacterias. Los paneles cuentan con características técnicas acreditadas por laboratorios normalizados, como son la resistencia al fuego, resistencia a la carga horizontal, resistencia a carga vertical, aislamiento acústico al ruido aéreo, así como las propiedades aislantes mencionadas ($\lambda = 0,068 \text{ w/m}\cdot\text{k}$). La fabricación de los tabiques empieza con la configuración de la estructura, la misma que está compuesta por un entramado con piezas de madera y uniones realizadas mediante ensambles y fi-

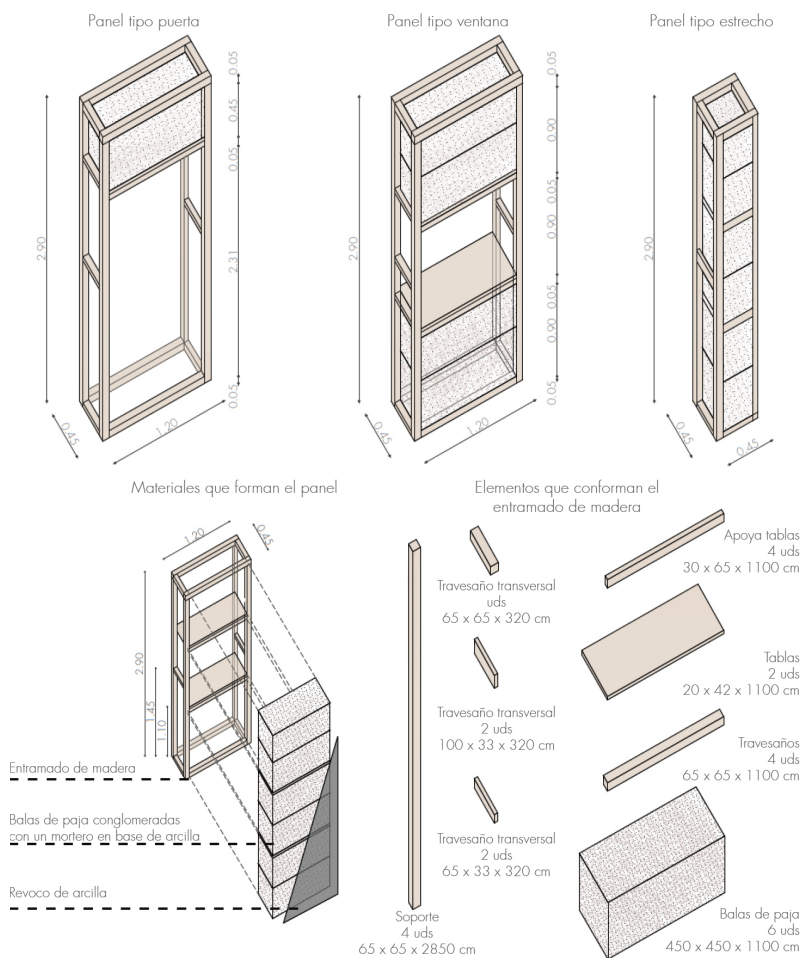


Fig.2.5.8 | Tabique con elementos compuestos con paja y revocos de arcilla. | Fuente:Autoría Propia(2024)

jaciones mecánicas. Las estructuras reciben balas de paja previamente prefabricadas y moduladas, para un fácil y efectivo montaje. El revestimiento generalmente está dado por un revoque de mortero de arcilla. Como una consideración importante, se señala la necesidad de un correcto aislamiento de la humedad, que puede ser transmitida por capilaridad desde los elementos de la estructura principal o desde el terreno, o desde el exterior, en los casos en que los tabiques están directamente expuestos a agentes atmosféricos (Figura 2.5.9).

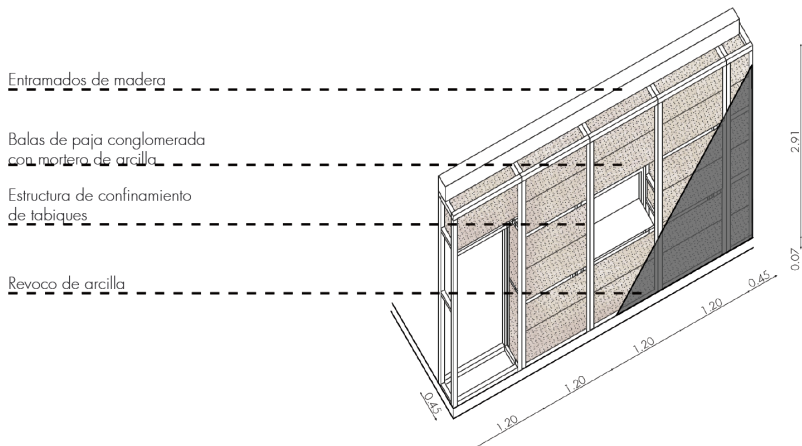


Fig. 2.5.9 | Tabi ques con elementos compuestos con paja y revocos de arcilla.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

2.5.3 TABIQUES CON BLOQUES DE GRAN FORMATO CON TIERRA COMPACTADA

En el contexto de la construcción con arcilla, la tierra compactada o apisonada también ha sido trasladada a la prefabricación e industrialización para la optimización de los procesos constructivos y de la eficiencia energética de la arquitectura. Es así que, en la actualidad, en diferentes países desarrollados, la utilización de elementos prefabricados de tierra apisonada es común. La estabilidad y cohesión que adquiere la tierra luego de un proceso de selección y compactación del material base hace posible que este material sea manipulado en talleres, para posteriormente ser trasladado y montado en obra con facilidad. En los países

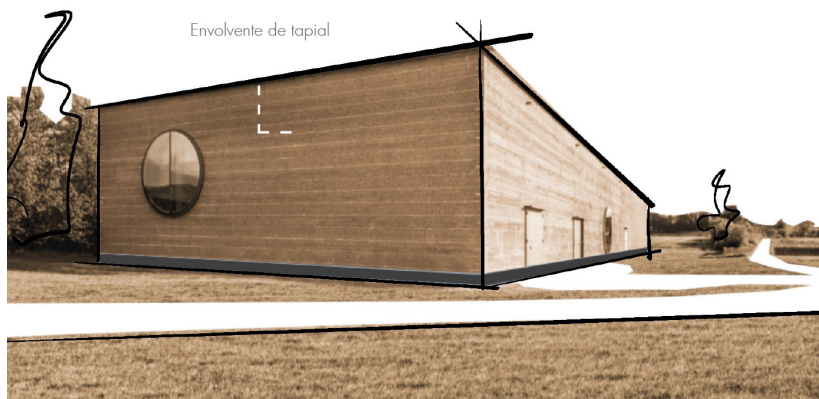


Fig. 2.5.10 | El uso de bloques prefabricados de tapial de gran formato en el proyecto Ricola Kräuterzentrum
| Fuente: AutoríaPropia[2024].

en desarrollo, la mano de obra es barata y los recursos de construcción convencionales, escasos. Allí, el método de construir tierra apisonada puede resultar apropiado y eficaz (Easton & Easton, 2012).

Como ejemplo, la propuesta arquitectónica tecnológica que en 2014 generaron los ganadores del Pritzker, Herzog & de Meuron, en el edificio Ricola Kräuterzentrum en Suiza, utiliza bloques de gran formato de tapial para la configuración de los tabiques de cerramiento (Figura 2.5.10). El tapial es fabricado en taller mediante un proceso constructivo mecanizado, en donde la tierra es compactada en grandes encofrados, mediante un sistema de apisonamiento automático y corte de los módulos de tabiques, según las necesidades específicas de cada pieza del proyecto (Figura 2.5.11). El

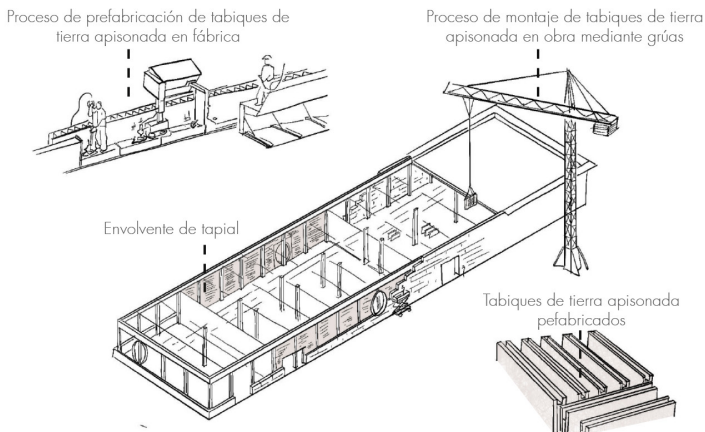


Fig. 2.5.11 | El uso de bloques prefabricados de tapial de gran formato en el proyecto Ricola Kräuterzentrum. | Fuente: Autoría Propia (2024).

gran volumen y peso de los bloques obliga a que todo el proceso de transporte sea mediante maquinaria como grúas y transportadores. Una vez en sitio, los grandes bloques son apilados uno sobre otro y emparejados gracias a un mortero de arcilla. Los paneles de tapial sirven como envoltente y se aprovechan las características térmicas del material para mantener el interior estable ante los cambios de temperatura exterior. Estos paneles contribuyen a mantener un microclima estable para el almacenamiento de los productos, sin necesidad de otro sistema de ventilación, lo que reduce significativamente la demanda de energía en la fase de operación. Esto lo hace energéticamente eficiente y disminuye su impacto ambiental negativo (Figura 2.5.12).

Ejemplos de la oferta de tabiques de tierra compactada bajo una mirada moderna los encontramos en Estados Unidos, Austria, Inglaterra, Australia, España, Alemania y casi todos los países industrialmente desarrollados. Ahí, empresas como Clay Tec [www.claytec.de], Lehm-bauwerk [www.lehm-bauwerk.de], Lehm-tonerde [www.lehmtonerde.at/de], Rammed Earth Works [www.rammedearthworks.com], Dado [www.da-do.at], Earthman [www.earthman.at/], Fetedterra [www.fetedterra.com], entre otras, ofrecen soluciones constructivas sostenibles mediante elementos tanto prefabricados como contruidos in situ, a base de tierra compactada o bloques prefabricados de tapial.

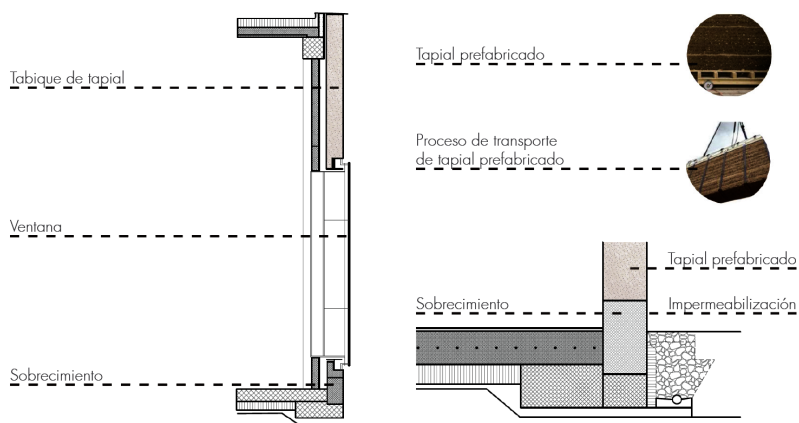


Fig. 2.5.12 | Es importante la Impermeabilización y el trabajo en sinergia con los elementos constructivos en hormigón armado. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Fetdeterra, en España, es una empresa dedicada al desarrollo de proyectos y productos de tierra compactada. La empresa ha desarrollado una serie de bloques de diferente formato denominado Tapialblock (FIGURA 2.5.13). Tapialblock, al ser un producto prefabricado, tiene la ventaja de poseer un mayor control en la calidad, clasificación y selección de la materia prima, en el proceso de fabricación y compactación del bloque, en el proceso de curado y en los acabados del producto final. Además, mediante los procesos de prefabricación, logran la reducción del tiempo de producción, lo que disminuye los costes en obra. La empresa tiene, por un lado, un bloque de formato pequeño de dimensiones 9,5 x 9,5 x 20 cm, y cuatro tipos de bloques de gran formato: 8 x 100 x 15 cm (Figura 2.5.14), 15 x 100 x 15 cm, 20 x 100 x 15 cm y 40 x 100 x 15 cm. El mortero que se



Fig. 2.5.13 | Tapialblock, bloques de tierra compactada de la empresa Fetdeterra. | Fuente: Autoría Propia (2024). A partir de: www.fetdeterra.com

Prefabricados de Tapialblock

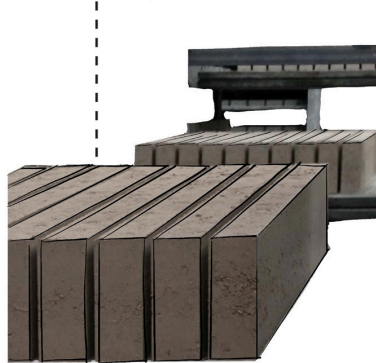


Fig. 2.5.14 | Tapialblock, bloque de tierra compactada de 8 x 100 x 15 cm. | Fuente: Autoría Propia (2024). A partir de: www.fetdeterra.com

utiliza para unir los bloques se fabrica a partir de la propia tierra con una granulometría más fina; una vez seco, conserva la misma textura y color, lo que garantiza homogeneidad en el muro.

En cuanto a las características de los bloques, estos alcanzan una densidad de 2000 Kg/cm³, una resistencia a la compresión de 5 Mpa, una absorción de agua de 4,5%, un coeficiente de conductividad térmica de 0,778 W/mK, una clasificación A1 en cuanto a reacción al fuego y un índice global de reducción acústica de 52 dBA. Los bloques de tierra Tapialblock se pueden cortar con una sierra radial (Figura 2.5.15). En el caso de los bloques medianos y grandes, la manipulación y puesta en obra requiere el uso de pinzas elevadoras, grúas o máquinas que permitan manejar el

peso de los elementos. Al colocar los bloques uno sobre otro, deben evitarse las tensiones diferenciales, lo que garantiza el contacto total entre la superficie de los bloques. En cuanto a acabados, los tabiques interiores y exteriores pueden tener la cara vista, ser pintados, revocados o revestidos con materiales compatibles con la tierra. En caso de las pinturas, se recomiendan aquellas con base de silicatos, minerales, cal, etc.; es decir, aquellas que permitan la permeabilidad del tabique.

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA ÚTIL

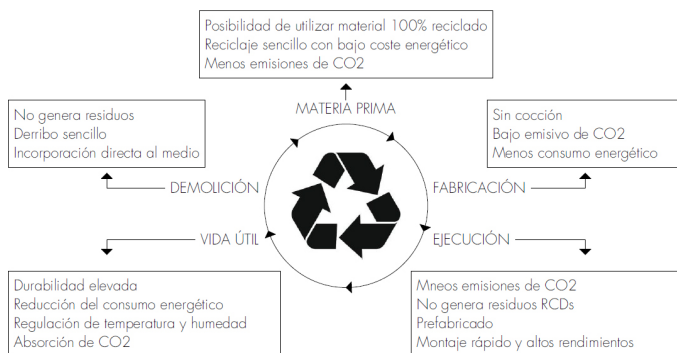


Fig. 2.5.15 | Tapialblock, Análisis gráfico del ciclo de vida del producto. | Fuente: Autoría Propia (2024). A partir de: www.fetdetierra.com

2.5.4 TABIQUES DE HORMIGÓN DE ARCILLA

La tierra vertida tiene similitudes con el hormigón de cemento convencional. La implementación es la misma, se pueden utilizar las mismas máquinas y los mismos procedimientos. La diferencia sustancial, más allá de la resistencia entre estos dos materiales, es que la tierra vertida requiere menos cemento o, en algunas circunstancias, ninguno en absoluto (Figura 2.5.16). Por lo tanto, es una técnica potencial de sustitución con bajo impacto ambiental, muy relevante en el contexto climático actual. Hay un interés creciente en la tierra vertida en Francia, Estados Unidos, India, Australia, Nueva Zelanda, México y cada vez más países están llevando a cabo investigaciones y experimentos sobre el tema. La tierra vertida parece abrir nuevos campos arquitectónicos, al igual que el hormigón de cemento en sus inicios. Una de las cuestiones centrales en la tierra vertida es la formulación. Las variables a tener en cuenta son múltiples y se empieza a comprender la relación entre cada parámetro. Cada fórmula tiene sus propias características, que dependen de la tierra y de cada componente utilizado. Por lo tanto, cada formulación es personalizada. Cada tipo de tierra requiere una formulación diferente (Hernandez, 2014).

En el hormigón de tierra, si la formulación de la tierra del sitio es adecuada, se pueden usar sus arenas, sus gravas y también sus partículas finas, que a menudo son arcillo-calcáreas. Para aglomerar este conjunto y verterlo, siempre se necesita agua y,

generalmente, un material cementicio como ligamento adicional. En un hormigón de arcilla, con una densidad de 2200 kg/m^3 , las proporciones son aproximadamente un 10 % de partículas finas, un 36 % de arenas, un 40 % de gravas, un 4 % de cemento y un 10 % de agua. El cemento no se añade a la tierra vertida para mejorar su resistencia mecánica, sino para permitir que se “mantenga” después del desencofrado. Sin él, el fraguado no ocurriría y sería necesario esperar varias semanas para que la mezcla se seque. Actualmente, la proporción de cemento varía de 3 a 5%, aproximadamente tres veces menos que en el hormigón con-

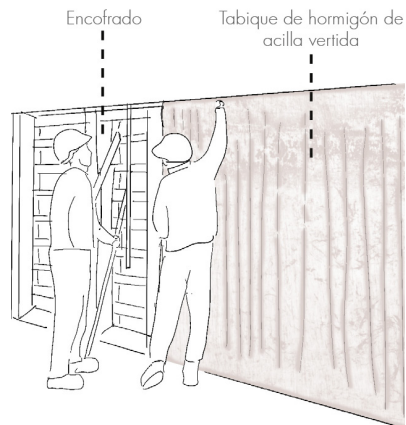


Fig.2.5.16 | Tabique de hormigón de arcilla siendo desencofrado. | Fuente: Autoría Propia(2024).

vencional, para una densidad prácticamente equivalente. Si las proporciones de arena, grava y agua son más o menos las mismas, la cantidad de cemento en la tierra vertida se reduce a la tercera parte, especialmente gracias a las partículas finas arcillosas, que actúan como aglutinantes. El interés principal es reducir la energía incorporada: alrededor de 500 kWh/m³ para un hormigón de cemento y más de 1800 kWh/m³ cuando está armado; 100 a 120 kWh/m³ para la tierra vertida, un valor que depende a partir de la proporción de cemento, que puede variar según el depósito y el lugar de extracción. Estos resultados deben ser ajustados según el grosor del tabique. Para una resistencia mecánica similar a un tabique estructural, un tabique de 2 m de largo por 3 m de altura tendrá un espesor de 16 cm en hormigón de cemento, pero de 35 cm en tierra vertida, aunque estos valores disminuyen sustancialmente al diseñar tabiques no estructurales (Fuchs, 2020).

El proceso en el sitio de construcción se desarrolla de la siguiente manera: El hormigón de tierra es transportado al sitio en camiones y se vierte entre encofrados convencionales. Luego, se eliminan las burbujas de aire con una aguja vibradora, similar al proceso utilizado para el hormigón convencional. Después de esto, se deja secar el muro durante al menos dos o tres días antes de retirar el encofrado. Para asegurar que el aglomerante fragüe

correctamente, es necesario someter la estructura a un proceso de curado mediante lonas de polietileno. No se recomienda trabajar con tierra vertida con temperaturas menores a 5 °C. Además, el agua representa un riesgo para la tierra y la madera; por lo tanto, es imprescindible colocar los tabiques en elementos de hormigón o contar con las impermeabilizaciones necesarias (Figura 2.5.17).

El uso del concreto a base de cemento convencional siempre será necesario para estructuras muy específicas o que requieran una alta resistencia a la compresión, como fundaciones especiales, etc. Sin embargo, no se debe dudar en emplear la tierra vertida para la configuración de tabiques interiores, por ejemplo, para tabiques de separación de espacios o entre viviendas. Gracias a su inercia, proporciona un confort térmico e higrotérmico significativo. No obstante, es importante recordar que la resistencia a la compresión de un tabique de tierra vertida (3 a 5 MPa) es aproximadamente de seis a diez veces menor que la de un tabique de concreto convencional (30 MPa), lo que lo asemeja más a un tabique de bloques de hormigón (Figura 2.5.18). Para compensar esta menor resistencia, los tabiques suelen ser más gruesos que aquellos tabiques realizados con materiales más resistentes.

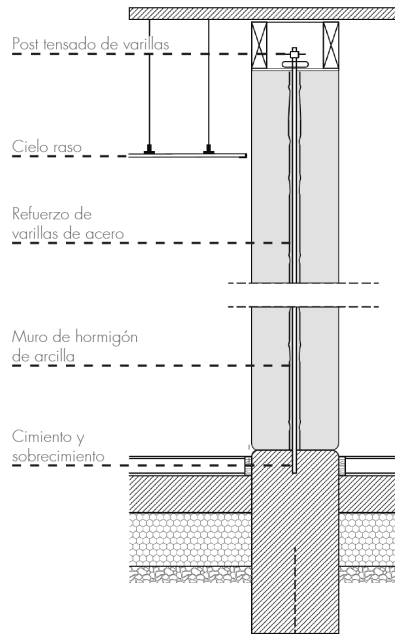


Fig. 2.5.17 | Detalle de tabique de hormigón de arcilla construido en 2018 para el proyecto Groupe scolaire Paul-Bayrou à Saint-Antonin-Noble-Val, Tarnet. | Fuente: Autoría Propia (2024).

La tierra vertida no es un sustituto del concreto convencional, sino una técnica que debe acompañar una nueva forma de concebir la arquitectura. El objetivo es valorar el concreto convencional en las estructuras donde es indispensable y darle su lugar a la tierra vertida junto con otros materiales sostenibles como la madera o las fibras vegetales (Fuchs, 2020).

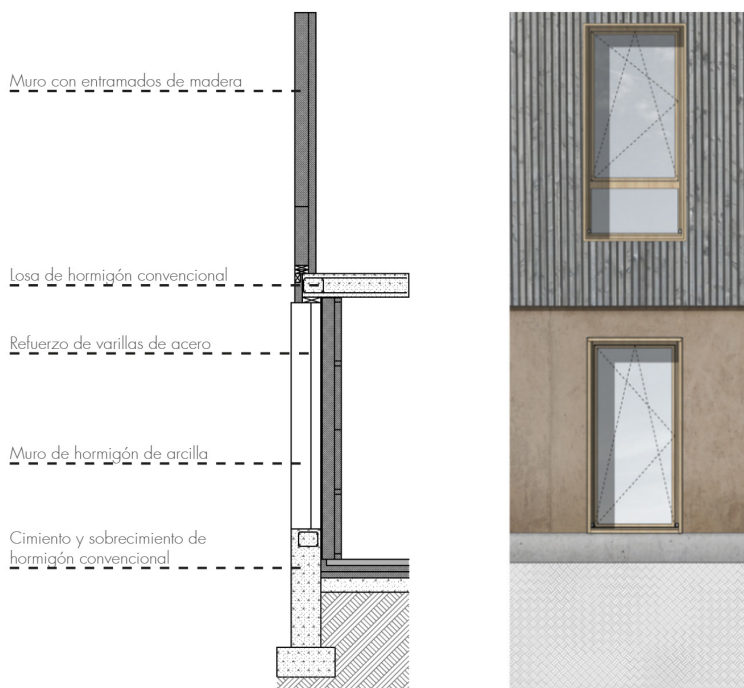


Fig. 2.5.18 | Detalle de tabique de hormigón de arcilla construido en 2028 para el proyecto Pépinière d'entreprises à Saint-Clair-de-la-Tour, Isère, Reach & Scha. | Fuente: Autoría Propia (2024).

2.5.5 TABIQUES CON ENTRAMADOS Y MORTEROS DE ARCILLA

Los entramados con morteros de arcilla y fibras, tales como el bahareque y la quincha, en la actualidad han tenido procesos de tecnificación parcial y, en algunos casos, total. Gracias a los adelantos en la implementación de nuevas herramientas que hacen más preciso el proceso de diseño y construcción, incluso en sistemas de autoconstrucción, la tecnología de entramados como la quincha y el bahareque puede utilizarse y cumplir los estándares de confort, resistencia y sostenibilidad.

En 2010, el centro de Chile sufrió una devastación de un 90%, debido a un terremoto.

Ante la urgencia en la reconstrucción de edificios e infraestructuras, un equipo de la Universidad de Talca se centró, principalmente, en desarrollar una tecnología que trabajara correctamente ante esfuerzos sísmicos, que fuese asequible para la comunidad y que brindara condiciones óptimas de confort mientras promovía la sostenibilidad ambiental, económica y social. Se propuso aplicar la técnica tradicional de la quincha mediante un proceso dirigido de autoconstrucción. Se experimentó reintegrando materiales ecológicos locales como la madera, el barro y las fibras, con un control de la modulación de las piezas que conforman el



Fig. 2.5.19 | Bahareque, proyecto Pabellón de Producción Vinícola en Talca. |Fuente: Autoría Propia(2024).

sistema de entramados, así como el revoco de barro con fibras. El proyecto fue finalista del TERRA Award 2016 (Figura 2.5.19). El sistema, sin ser demasiado complejo, se basa en la coordinación dimensional tanto de los módulos de estructuras principales, como de subestructuras en los entramados. La utilización de máquinas de corte agiliza y permite la ejecución más precisa del procedimiento de construcción previamente planificado. La mezcla de barro con las fibras también es controlada, lo que permite niveles óptimos de trabajo sinérgico entre los materiales (Gauzin, 2018).

Los entramados se componen de una estructura esquelética, la cual, gracias a una variedad de elementos longitudinales y verticales, puede absorber esfuerzos de compresión, tracción y/o flexión. Esta característica facilita la distribución eficiente de las cargas. De esta manera, los entramados muestran una eficacia estructural notable, en contraste con los sistemas de muros portantes convencionales que, debido a sus características, solo pueden absorber adecuadamente los esfuerzos de compresión.

QUINCHA PREFABRICADA

El Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI, desarrolló un sistema constructivo que utiliza bastidores de madera aserrada rellenos con materiales como cañizo, caña o latillas de bambú, tren-

zados para su autofijación, sin necesidad de clavos (Díaz, 1984). Estos paneles, una vez montados y fijados en el sitio para formar tabiques, son revocados con una capa de barro mezclado con paja, seguido de una última capa de revoque con materiales como barro, cemento o yeso, lo que depende de las preferencias, costos y condiciones climáticas (Figura 2.5.20).

Este es un sistema versátil y apto para procesos de industrialización masiva o autoconstrucción. Presenta excelentes características de aislamiento térmico y acústico, así como un excelente comportamiento frente a sismos. El panel diseñado consiste en un marco de madera estructural conformado por dos parantes, cuatro travesaños y cuatro semi-diagonales para darle estabilidad estructural. Las piezas de madera del bastidor tienen dimensiones estándar de 30 mm x 65 mm y 20 mm x 30 mm. Todos los paneles tienen una altura de 2,40 m y dos opciones de ancho: 0,60 m y 1,20 m (Figura 2.5.21).

Este sistema permite la construcción de viviendas con un buen coeficiente de transmitancia térmica de $U = 1.5 \text{ K cal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$, similar a las edificaciones de muros de arcilla cocida. Además, ofrece un excelente aislamiento acústico y una óptima estabilidad estructural, ya que es una opción liviana, rígida y elástica, con capacidad de absorción de esfuerzos sísmicos. Los ensayos de carga han demostrado que las edificaciones de quincha prefabricada presentan un buen comportamiento ante esfuerzos dinámicos; el inicio de fisuración del revoque ocurre con una carga horizontal equiva-

lente a un sismo de una aceleración de 1.0 g. En términos de durabilidad, las edificaciones coloniales de quinchá en Lima, Perú, siguen en uso, lo que demuestra la longevidad del sistema. Además, este sistema es adecuado para construir cualquier tipo de edificación, siempre que se realice el diseño estructural correspondiente (Díaz, 1984).

BAHAREQUE REINTERPRETADO

Como ejemplo, podemos citar el proyecto del sistema de bahareque en tabiques modulados que representa una evolución de la técnica tradicional de bahareque, con el propósito de acelerar el proceso de construcción, aprovechar los residuos de materiales en aserraderos y promover la autoconstrucción (Figura 2.5.22). Además, en este caso, los tabiques

desempeñan una función estructural importante, al servir como soporte para los elementos de la cubierta (CEDATE, 1985).

Para construir un panel entramado, se necesitarán montantes verticales y horizontales, así como listones verticales y horizontales, todos hechos de madera. Los montantes verticales y horizontales deben tener dimensiones de 150 x 50 x 2500 mm y 10 x 50 x 900 mm, respectivamente, mientras que los listones verticales y horizontales deberían ser de 20 x 20 x 2500 mm y 20 x 10 x 900 mm. Estos elementos se unen con clavos, con dos unidades por tabique para los montantes y 35 unidades para el enrejado. Además, se requiere una solera o sobrecimiento y clavos adicionales para el ensamblaje. El primer revoque se realizará con una mezcla de barro y paja en una proporción

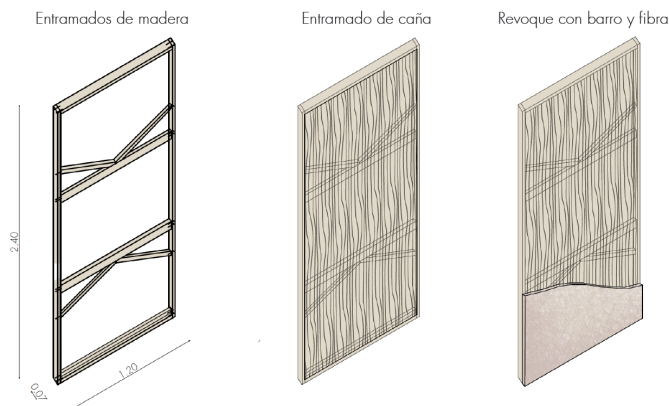


Fig. 2.5.20 | Quinchá prefabricada - Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI.
Fuente: Autoría Propia (2024).

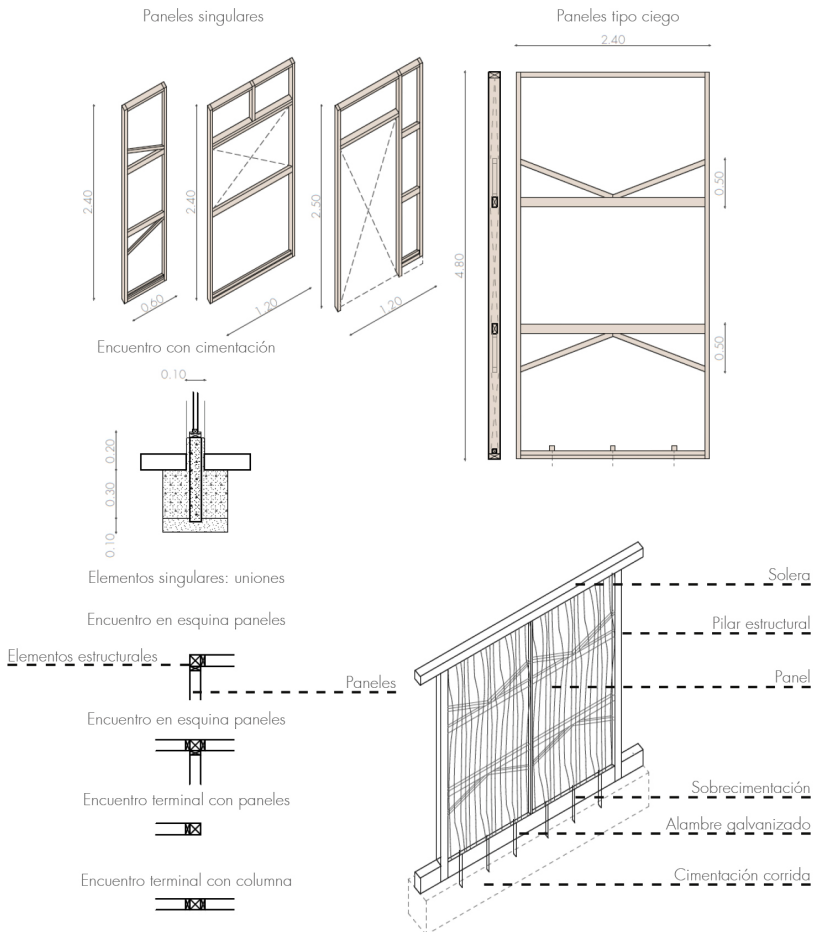
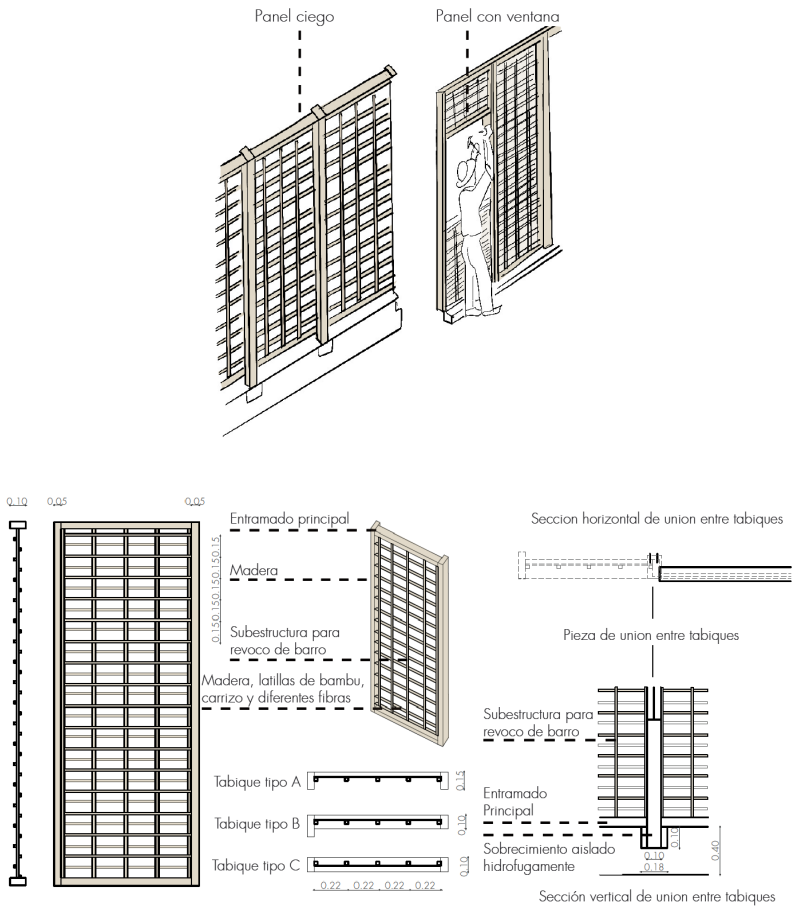


Fig. 2.5.21 | Detalles - Quincha prefabricada - Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI. | Fuente: Autoría Propia (2024).



de 2 kg de paja por cada 100 kg de tierra (Figura 2.5.23).

El proceso constructivo del sistema de bahareque en tabiques modulares comienza por el montaje de los paneles, que se realiza preparando el marco estructural. Luego, se procede al tejido o entramado, donde se colocan listones horizontales en caras opuestas a intervalos regulares, lo que permite el uso eficiente de residuos de aserraderos. La fijación de los paneles a la cimentación se lleva a cabo mediante

la colocación de tablas en orificios previamente planificados, seguido por la aplicación de mortero de cemento y la fijación de la placa de fijación. Los paneles se aseguran entre sí mediante clavos y se dispone una viga de confinamiento en la parte superior, para fortalecer la estructura. Finalmente, se aplica un revoque grueso y se concluye con el acabado final. Este proceso permite una construcción eficiente y resistente, al utilizar materiales locales y favorecer la autoconstrucción (CEDATE, 1985).

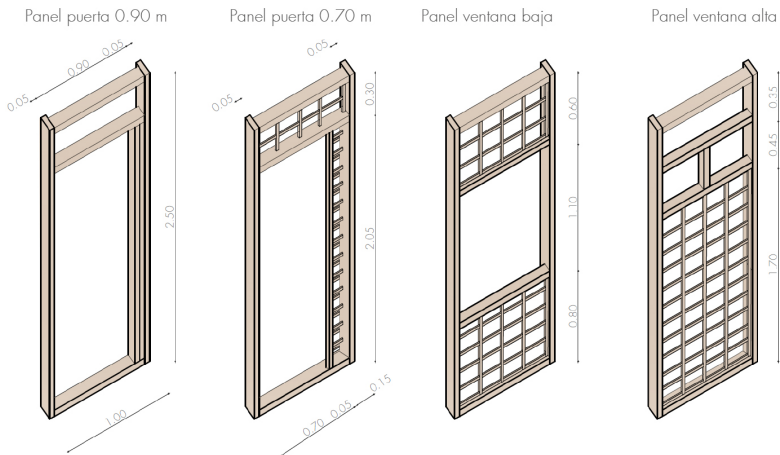


Fig. 2.5.23 | Tipos de paneles. | Fuente: Autoría Propia (2024).

2.6 CONCLUSIONES

La práctica de construir tabiques con tierra, con el apoyo de metodologías heredadas de generaciones pasadas, mantiene su relevancia en el contexto actual, lo que representa una solución factible, especialmente en áreas rurales donde el acceso a materiales de construcción industrializados y al empleo de herramientas de última generación no es una opción viable. Aunque es reconocido que, al contrastarlas con técnicas de construcción modernas, algunas de las tecnologías tradicionales de construcción con tierra, específicamente las que involucran el uso exclusivo de adobe y tapial, pueden presentar limitaciones en cuanto a su comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, es importante destacar que las técnicas que incorporan estructuras de madera, bambú o distintas variedades de fibras naturales, tal como ocurre con el bahareque o quincha, han probado ser notablemente eficientes en resistir esfuerzos dinámicos como los generados por terremotos.

Por otro lado, es de conocimiento general que, en la época contemporánea, es posible utilizar materiales de construcción tales como la madera tratada, el acero y el hormigón armado para diseñar y ejecutar estructuras que son capaces de garantizar la estabilidad estructural. Esto significa que, gracias a los avances en los modelos estructurales, en donde la subdivisión de espacios internos puede lograrse a través de técnicas que no interfieren ni dependen del comportamiento antisísmico del conjunto, los tabiques divisorios internos pueden ser erigidos mediante empleando cualquiera de las técnicas

tradicionales de construcción con tierra. Esta posibilidad abre un amplio abanico de opciones para el diseño arquitectónico en contextos donde se prefiera o se necesite recurrir a métodos constructivos ancestrales, lo que asegura, asegurando al mismo tiempo, la integridad estructural y la seguridad de los ocupantes frente a posibles sismos mediante técnicas mixtas.

La incorporación de innovaciones tecnológicas y el avance en el conocimiento científico facilitan la reevaluación de métodos constructivos heredados, lo que permite la creación de modelos de construcción que, aunque inspirados en los principios de la arquitectura vernácula y en las tecnologías tradicionales, satisfacen de manera eficaz los criterios exigidos por la arquitectura contemporánea. En el ámbito de la construcción con tierra, por ejemplo, se destacan los bloques de tierra comprimida (BTC). Estos, a diferencia de los adobes fabricados mediante métodos tradicionales, ofrecen una mejora significativa en términos de resistencia y uniformidad de acabado, gracias a la utilización de prensas mecánicas y a la adición de estabilizantes.

De manera similar, en lo que respecta a estructuras compuestas por entramados de madera y fibras recubiertas con barro, la introducción de

materiales innovadores como la madera laminada, junto con el uso de tecnología de corte por láser, permiten la producción de componentes constructivos notablemente más resistentes y estéticamente superiores. En el caso específico del tapial, la aplicación de sistemas modernos de encofrado y la utilización de compactadores hidroneumáticos contribuyen a optimizar esta técnica milenaria, lo que logra resultados físicos y estéticos mejorados en los elementos contruidos mediante este método.

En este marco contemporáneo, y ante la creciente preocupación por las cuestiones medioambientales, ha habido un esfuerzo concertado por parte de la comunidad académica y el sector de la construcción, especialmente en los países desarrollados, para investigar, desarrollar y aplicar materiales y elementos constructivos que, aunque basados en métodos tradicionales de construcción con tierra, han sido adaptados y mejorados a través de una perspectiva moderna. Este enfoque busca no solo preservar las técnicas constructivas del pasado, sino también reformularlas y asegurar que estas se alineen con los estándares internacionales de la arquitectura actual. Esto demuestra un compromiso con la sustentabilidad y la innovación en el campo de la construcción con tierra.

CAPÍTULO 3: MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA

3.1 INTRODUCCIÓN

3.2 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

3.2.1 Reseña histórica

3.2.2 Tipos de bloques de tierra comprimida (BTC)

3.2.3 Características del material

3.3 ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA

3.3.1 Reseña histórica

3.3.2 Tipos de piezas y uniones en entramados con madera para tabiques

3.3.3 Características del material

3.4 CONCLUSIONES

3.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, a partir de la concienciación 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. Bayon (1982) dice que:

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 ha seleccionado el bloque de tierra comprimida (BTC) colocado 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 ser 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, ya que presta servicios durante siglos. Como evidencia, hay un estudio de la UNESCO que menciona 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 y 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 de sistemas artesanales a 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 podemos 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 ha sido impulsado por la imperante necesidad de presentar respuestas sostenibles a la crisis medioambiental. Los adelantos de la ciencia y la tecnología, sumados 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 ha optimizado, 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.

3.2 BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

El bloque de tierra comprimida (BTC, o CEB, por sus siglas en inglés - Compressed Earth Block), 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 3.2.1).

A más de su resistencia a 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 3.2.2).



Fig. 3.2.1 | Bloque de tierra comprimida - BTC. | Fuente: Autoría Propia (2024).

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 (Ramsinet al., 2024), entre otros.

Para la elaboración de bloques de tierra comprimida, se pueden usar pequeñas prensas manuales (Figura 3.2.3), que pueden ser operadas por una sola persona y prensas mecánicas de gran envergadura, con procesos

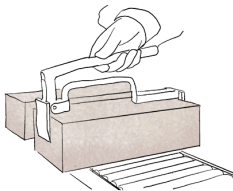


Fig. 3.2.2 | Acabados uniformes - BTC. | Fuente: Autoría Propia (2024).

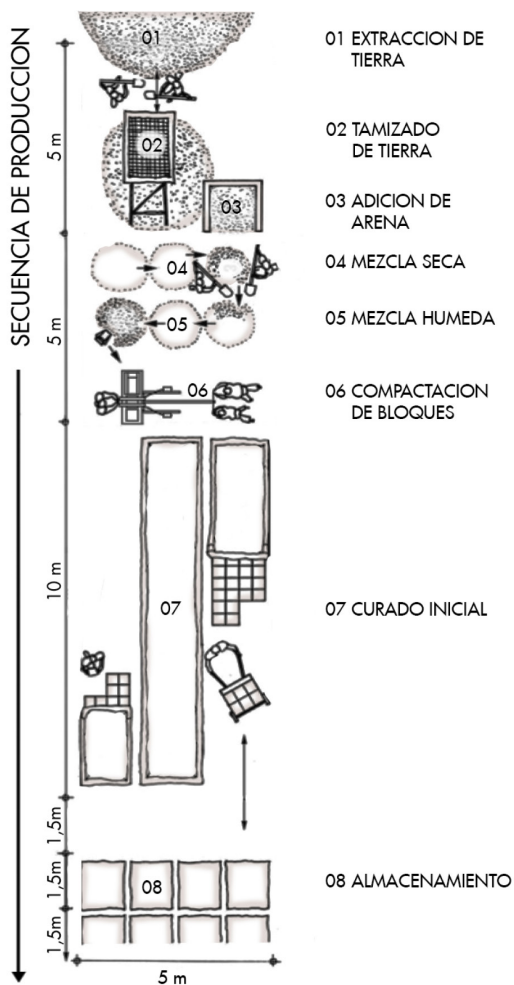


Fig.3.2.3 | Cadena de proceso de elaboración de BTC mediante una prensa manual. | Fuente: Autoría Propia (2024).

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, la posibilidad de producción industrializada mediante la utilización de máquinas en fábricas y talleres garantiza los procesos de calidad y el volumen de producción, sin que las condiciones meteorológicas sean un impedimento.

Actualmente, en el mercado existen muchas opciones en cuanto a maquinaria, entre ellas 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 3.2.4). Adicionalmente, la producción de bloques de tierra comprimida puede vincularse a la creación de procedimientos de control de calidad, mediante satisfacer requisitos, 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).

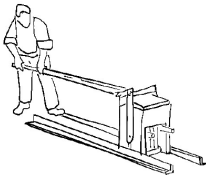
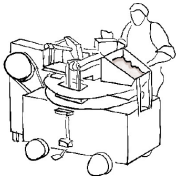
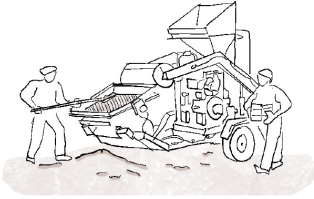
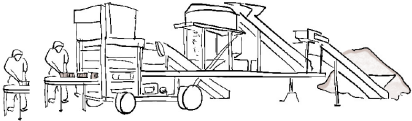
Tipos de presas	Peso	Producción 29.x14x8cm bloques por día	
Manual liviana	50 - 150 kg	300 a 500	
Manual pesada	150 - 250 kg	700 a 1500	
A motor	700 - 2000 kg	1000 a 5000	
Unidad móvil	1500 - 6000 kg	1500 a 4000	
Unidad fija	2000 - 30000 kg	2000 a 10000	

Fig. 3.2.4 | Ejemplos de prensas mecanizadas. | Fuente: Autoría Propia (2024).

3.2.1 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 Francois 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. François Cointeraux ideó un dispositivo para producir elementos de tierra compactada, que adaptaba una prensa inicialmente utilizada en la elaboración de vino, al que denominó *cresise* (Figura 3.2.5). 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).

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 y 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 3.2.6). 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).

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

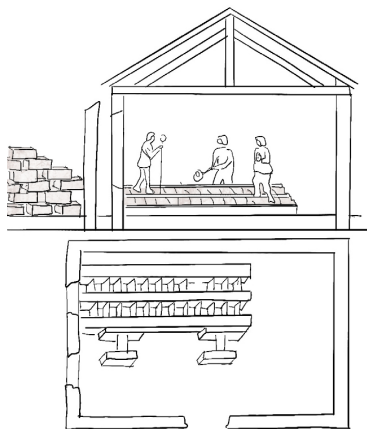


Fig. 3.2.5 | Francois Cointeraux - Bloques de tierra comprimida, 1803. | Fuente: Autoría Propia (2024).

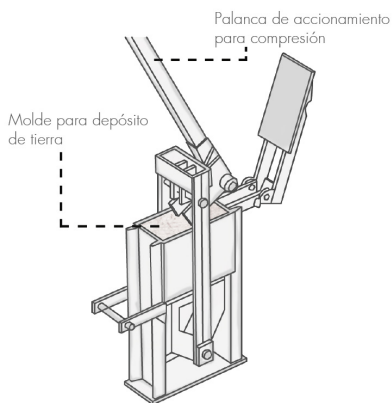


Fig. 3.2.6 | Prensa de bloques de tierra comprimida CINVA RAM. | Fuente: Autoría Propia (2024).

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 3.2.7). 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).

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, lo que controla los diferentes parámetros y características establecidos por las normativas. Según cada máquina, es posible automatizar todo el



Fig. 3.2.7 | Proceso de prensado mediante máquina CINVA RAM. | Fuente: Autoría Propia (2024).

proceso de fabricación de los BTC y aumentar notablemente la calidad y cantidad de producción de unidades (Figura 3.2.8). 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.

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).

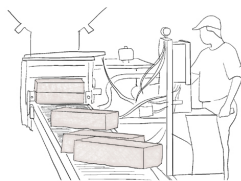


Fig. 3.2.8 | Proceso de producción industrializado de BTC. | Fuente: Autoría Propia (2024).

3.2.2 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 3.2.9). 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).

Los bloques de tierra articulados representan una innovación en sistemas constructivos, diseñados como elementos fundamentales para tabiques sin necesidad de utilizar mortero (Figura 3.2.10). 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 destacado de este tipo de sistema es el conocido como Lamars, el

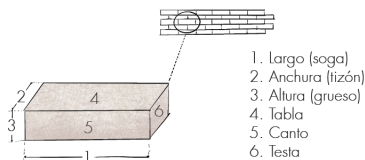


Fig.3.2.9 | Nomenclatura habitualmente utilizada para designar las partes de los BTC según la norma UNE 41410:2023. | Fuente: Autoría Propia (2024).

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).

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 son 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

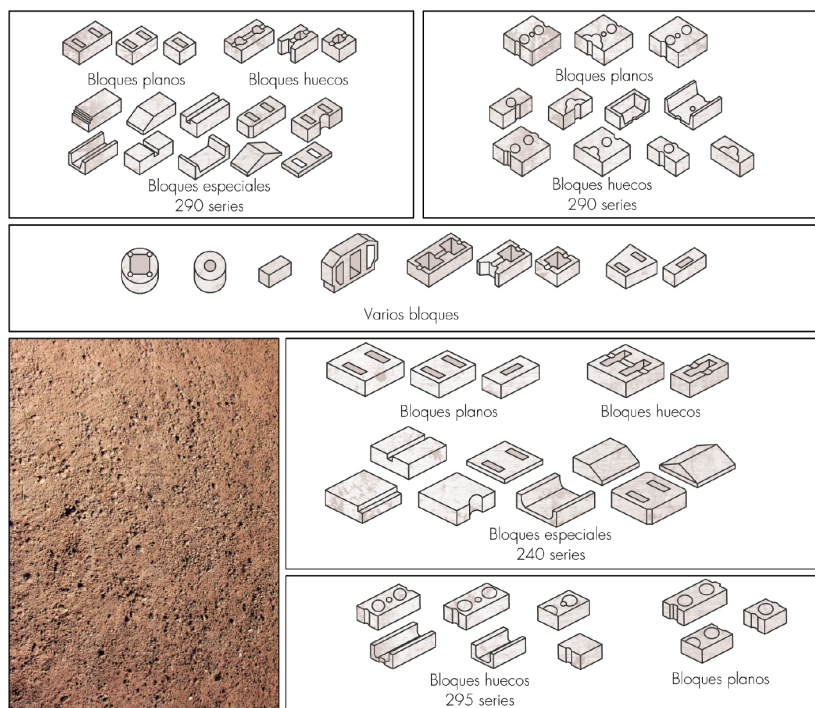


Fig. 3.2.10 | Ejemplos de diferentes tipos de bloques de tierra comprimida articulados y bloques accesorio.
Fuente: Autoría Propia (2024).

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 utilizando 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 ti-

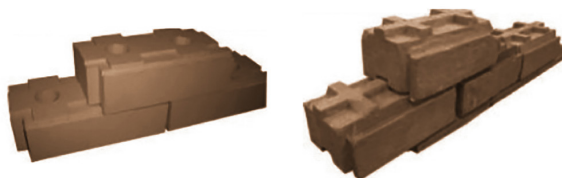
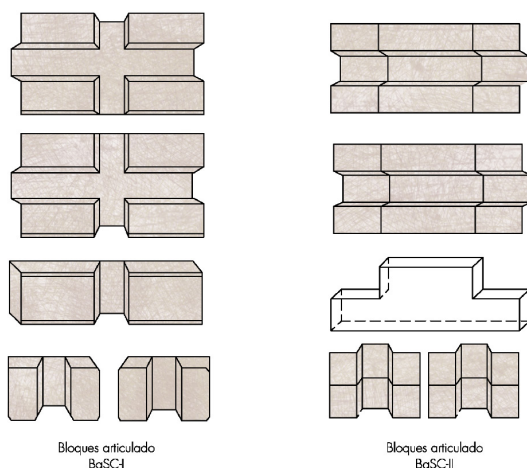
pos básicos de bloques (BaSC - I y BaSC II) que cubren todas las necesidades de trabas y terminaciones en los extremos de los tabiques. Además, contempla un tipo de bloque, BaSC III, que incluye perforaciones y facilita la colocación de estructuras sismo resistentes verticales. Además, presenta una morfología especial para una terminación estética (Figura 3.2.11). 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).

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 3.2.12). Para aprovechar las propiedades plásticas del material y la flexibilidad para dar forma a los bloques mediante moldes específicos utilizados en el proceso de prensado, se puede crear una variedad de diseños que optimicen tanto la funcionalidad como la eficiencia en la construcción de tabiques.

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 dise-

ño 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.



Bloque Articulado BaSC-III

3.2.3 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.

Al considerar 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 3.2.13), la evaluación de la humedad del suelo, análisis del límite líquido, el análisis del límite plástico (Figura 3.2.14),



Fig.3.2.12 | Ejemplo de una geometría apta para ensamble en seco de BTC. | Fuente: Autoría Propia (2024).

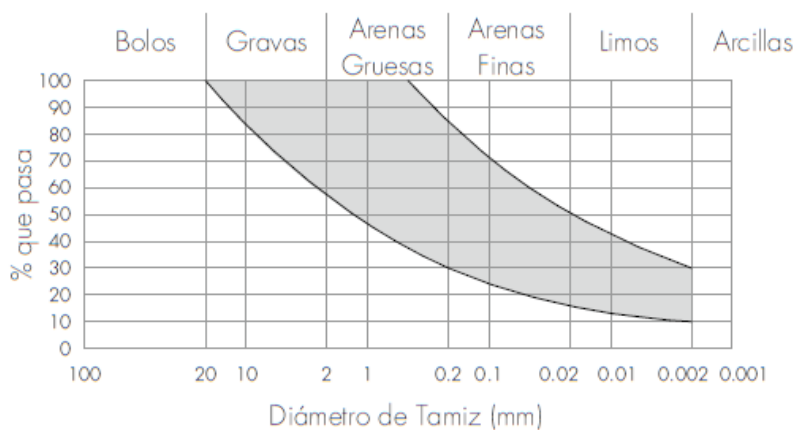


Fig.3.2.13 | Granulometría recomendada de tierras para fabricación de BTC. | Fuente: Minke, (2006).

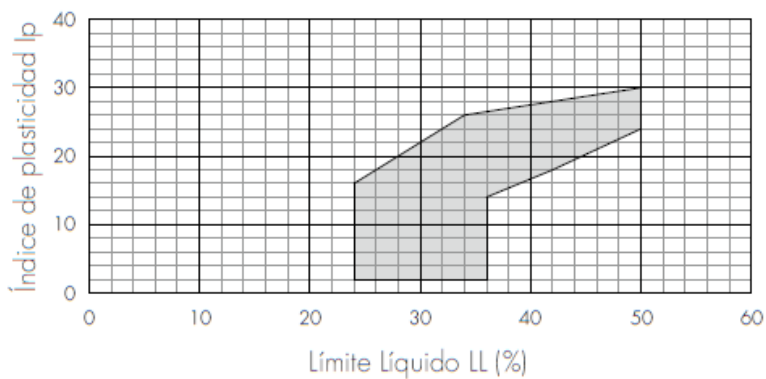


Fig. 3.2.14 | Zona recomendada en el diagrama de plasticidad de tierras para fabricación de BTC. | Fuente: Minke, (2006)

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).

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 3.2.15). La característica resistente del bloque 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).

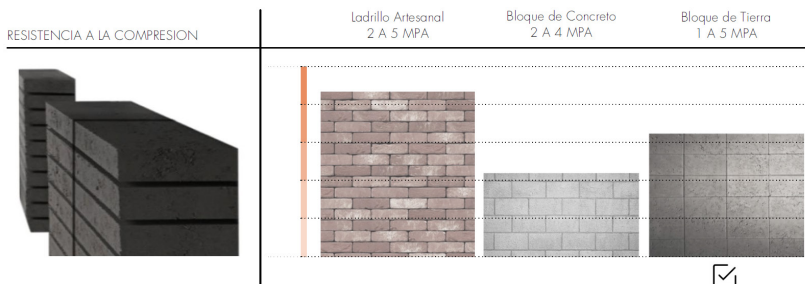


Fig. 3.2.15 | Comparación de la resistencia a compresión entre diferentes materiales convencionales y el BTC.
Fuente: Autoría Propia (2024).

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 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 términos de aislamiento térmico e inercia térmica (Figura 3.2.16). Si bien el comportamiento térmico dependerá del ancho de los tabiques y de la densidad del material, con una densidad de 1700 kg/m^3 es posible obtener un factor de conductividad de $0,81 \text{ W/mk}$. Este valor, al compararlo con la conductividad del ladrillo artesanal de arcilla cocida y del bloque tradicional de concreto, presenta un buen desempeño (Bestraten et al., 2011).

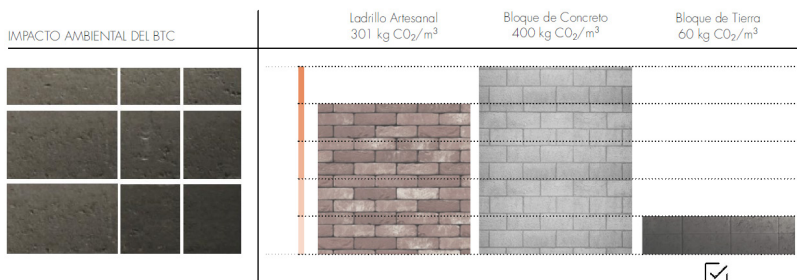


Fig. 3.2.16 | Comparación del comportamiento térmico entre diferentes materiales convencionales y el BTC.
Fuente: Autoría Propia (2024).

154 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) | CARACTERÍSTICAS DE LA TIERRA COMO MATERIAL PARA BTC

Los bloques de tierra comprimida (BTC) tienen propiedades acústicas que varían con dependencia de 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 3.2.17). 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 edificios.

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).

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

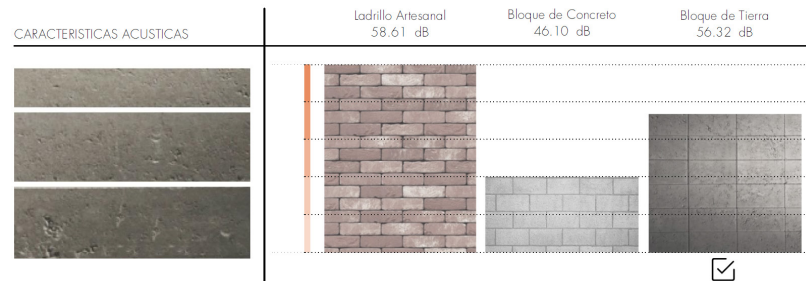


Fig. 3.2.17 | Comparación del comportamiento acústico entre diferentes materiales convencionales y el BTC.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

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 hace que estos sean respetuosos con el medio ambiente y socialmente responsables (Figura 3.2.18). 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).

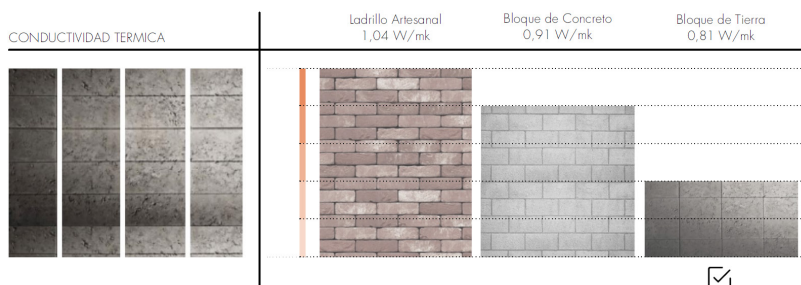


Fig. 3.2.18 | Comparación de las características sostenibles entre diferentes materiales convencionales y el BTC.
Fuente: Autoría Propia (2024).

3.3 ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA

La madera, al igual que la tierra, ha sido un material que ha acompañado al ser humano desde tiempos remotos. Desde las primeras civilizaciones que utilizaron ramas y troncos, hasta las estructuras ligeras que se popularizaron tras la revolución industrial, llegamos hasta la actual construcción con madera laminada. Así, este material ha servido para dotar a la arquitectura de elementos estructurales y elementos envolventes. El uso de madera como material estructural difiere significativamente de otros como el hormigón o el acero, debido a su naturaleza orgánica única. La madera, al ser la columna vertebral del árbol, está intrínsecamente diseñada para proporcionar soporte

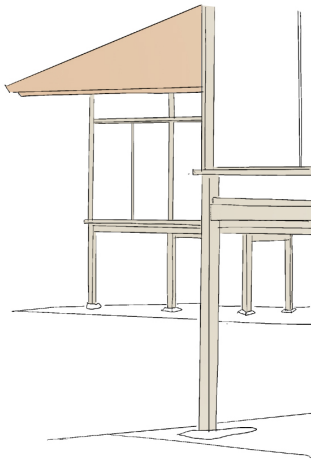


Fig. 3.3.1 | Palacio Katsura, siglo XVII, Japón.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

y resistencia. Su configuración está adaptada para cumplir eficazmente esta función. El viento es el principal agente de fuerza que actúa sobre el árbol, lo que induce flexión y genera tensiones paralelas a la dirección de las fibras de la madera. De hecho, las fibras en el árbol están orientadas de manera que resisten estas tensiones normales. En contraste con materiales como el acero o el hormigón armado, la madera extraída del árbol se considera un producto estructural desde su origen. Esto contrasta con la necesidad de un proceso significativo y energéticamente costoso para transformar el acero o el hormigón (Arriaga, 2001).

En la historia de la construcción, la madera emerge como el primer y más significativo material durante un largo período de tiempo (Figura 3.3.1) . Si bien en los albores de la civilización, hace unos 40.000 años, su uso se debía a su disponibilidad, maleabilidad y su capacidad para combinarse eficazmente con otros materiales, hoy en día es una serie de propiedades específicas la que respalda su elección como material de construcción: fabricación respetuosa con el medio ambiente, proceso de elaboración y transformación con un bajo consumo de energía no renovable, equilibrio favorable entre peso y resistencia, capacidad térmica destacada acompañada de una notable inercia térmica, diversidad de densidades y resistencias inherentes, amplia variedad de especies y variedades de madera con características únicas en cuanto a color y textura, disponibilidad de diversos métodos

de unión de alta calidad para diversas aplicaciones, amplia gama de productos semielaborados en madera y derivados con múltiples aplicaciones (Herzog, 2002).

A la hora de utilizar madera en la configuración de tabiques, es importante tener en cuenta una serie de consideraciones técnicas y formales. En términos de rendimiento estructural, es crucial seleccionar madera de calidad y resistencia adecuada que pueda soportar las cargas y fuerzas aplicadas a los tabiques. Además, es fundamental garantizar una correcta instalación y fijación de los elementos de madera para garantizar la estabilidad y durabilidad a largo

revestimientos de madera contrachapada, las posibilidades de diseño son prácticamente ilimitadas. La madera también puede combinarse con otros materiales sostenibles para crear tabiques con una apariencia contemporánea que cumpla con las necesidades de la arquitectura actual.

Desde un punto de vista estético, la madera ofrece una amplia variedad de opciones en términos de texturas, colores y acabados que pueden adaptarse al estilo y diseño de un espacio interior (Figura 3.3.2). Desde tabiques de madera maciza hasta paneles laminados y



Fig. 3.3.2 | Existe una gran variedad de acabados y tipos de madera. | Fuente: Autoría Propia (2024).

3.3.1 RESEÑA HISTÓRICA

Los entramados de madera han desempeñado un papel fundamental en la historia de la arquitectura, desde los primeros asentamientos humanos hasta la construcción contemporánea. Este método de construcción, que implica el uso de elementos de madera entrelazados para formar estructuras estables y duraderas, ha sido utilizado en diversas culturas y períodos históricos debido a su versatilidad, resistencia y disponibilidad de materia prima.

Si bien la madera ha estado presente en la formación de todas las civilizaciones, la antigua técnica de construcción en China es un

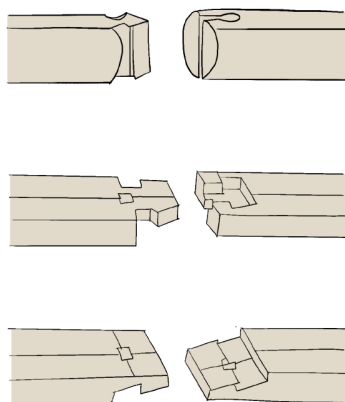


Fig. 3.3.3 | Ejemplos de ensamblajes del manual Ying-tsao Fashih. | Fuente: Autoría Propia (2024).

excelente ejemplo de cómo se desarrolló un sistema sofisticado de construcción con madera durante la dinastía Sung (960-1270). Un manual detallado llamado Ying-tsao Fashi, publicado en 1103, describió los métodos de construcción que, aunque adaptados con el tiempo, persistieron hasta principios del siglo XX en China (Figura 3.3.3). El sistema se basa en una estructura de columnas de madera apoyadas en grandes bases de piedra que sostienen una cubierta pesada. A diferencia de otros estilos, no se utilizan formas triangulares en la cubierta. Las vigas principales se colocan sobre las columnas, sobre las cuales descansan otras vigas que soportan cargas más ligeras. En la dirección opuesta se colocan correas que sostienen vigas más pequeñas y, sobre estas, se añaden

piezas que dan forma a la cubierta con su típico perfil curvado (Arriaga, 2001).

En Japón, donde también se ha empleado la madera en la construcción durante mucho tiempo, muchos edificios históricos adoptaron técnicas similares, aunque con un estilo ligeramente diferente (Figura 3.3.4). La calidad de la carpintería japonesa es destacable, con un enfoque en sistemas de unión innovadores que prescindían del uso de acero. En la tradición japonesa, el carpintero tenía una doble responsabilidad: compensar la naturaleza por el uso de la madera y servir a la sociedad. La madera se consideraba un ser vivo incluso después de ser cortada, por lo que se prefería utilizar madera de la misma región y mantener la orientación original

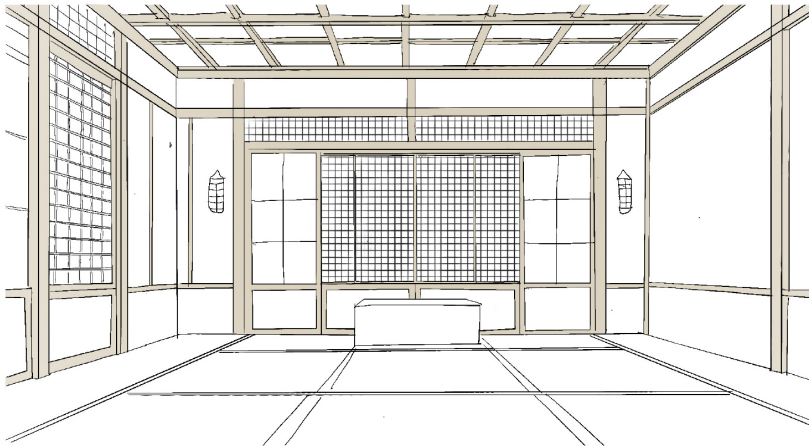


Fig. 3.3.4 | Tabiques tradicionales en la arquitectura japonesa modulados a partir de las dimensiones del Tatami.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

de los troncos para respetar su “espíritu”. Esta conexión con la naturaleza se reflejaba en la temporalidad de las viviendas, que se decoraban de forma sencilla y se amueblaron de manera discreta (Arriaga, 2001).

El entramado ligero, surgido en Norteamérica en el siglo XIX, fue una respuesta a la necesidad de construcción rápida y eficiente. Este nuevo enfoque, conocido como sistema Balloon, se caracterizaba por su ligereza y su montaje más sencillo, sin requerir la habilidad de carpinteros especializados (Figura 3.3.5). Esta técnica sentó las bases para los modernos métodos de construcción prefabricada en madera utilizados en muchas viviendas unifamiliares en América del Norte en la actualidad.

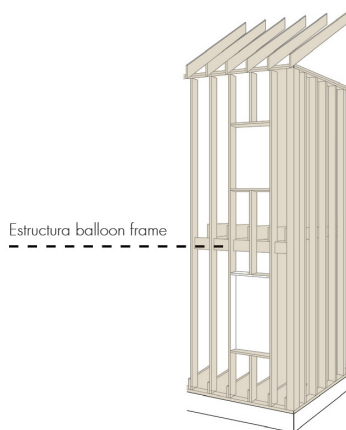


Fig.3.3.5 | Sistema Balloon frame.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

La madera laminada, introducida a principios del siglo XX, permitió la fabricación de elementos rectos y curvos de gran tamaño. Esta innovación se desarrolló significativamente durante la Segunda Guerra Mundial debido a las restricciones en el suministro de acero, lo que resultó en un aumento significativo de su uso en la construcción. En la segunda mitad del siglo XX, se inició el desarrollo de tableros derivados de la madera, como el contrachapado, que se convirtieron en elementos estructurales clave, debido a su capacidad para estabilizar y reforzar las construcciones. Estos tableros mejoraron la resistencia de las estructuras a fuerzas horizontales, como el viento y los movimientos telúricos. Actualmente, la industria de productos derivados de la madera con fines estructurales se inclina hacia la prefabricación y la simplificación de las propiedades mecánicas para una mayor eficiencia y versatilidad en la construcción.

El avance significativo en el manejo y producción de elementos de madera, impulsado por la versatilidad del material y el uso de herramientas modernas, ha facilitado la adopción exitosa de conceptos de prefabricación y modelos de producción industrializada en la construcción. Gracias a tecnologías como los cortes láser y acoples precisos, junto con un control de calidad más riguroso, la madera se consolida como un material contemporáneo y sostenible en la arquitectura actual. Este progreso permite aprovechar al máximo las cualidades de la madera, al adaptarla de manera eficiente a las demandas de la construcción contemporánea, sin comprometer su potencial como recurso renovable y respetuoso con el medio ambiente.

3.3.2 TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

Existe una gran variedad de tabiques con madera que dependen de la tecnología y los elementos utilizados. Los tabiques pesados, de madera maciza, pueden ser hechos con troncos aserrados (Figura 3.3.6) directamente apilados unos sobre otros o tabiques monolíticos de madera laminada. Los tabiques de madera laminada representan una opción estructuralmente sólida. Su capacidad para resistir cargas pesadas y movimientos estructurales, junto con su flexibilidad en diseño y acabado, los posiciona como una alternativa destacada en países que tienen una industria maderera desarrollada. Además, su producción gestionada responsablemente refuerza su atractivo en términos de sostenibilidad y eficiencia energética en la construcción (Figura 3.3.7).

En lo referente a tabiques ligeros de madera con bastidores, los componentes principales de estos son, por un lado los bastidores y, por otro lado, los paneles de revestimiento.

Tabique con madera maciza
aserrada apilada directamente

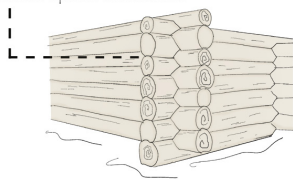


Fig.3.3.6 | Tabique con troncos aserrados directamente apilados. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Los sistemas de entramados de madera tienen sus raíces en las prácticas artesanales medievales, que se caracterizaban por elaboradas uniones con tarugos de madera y ensambles intrincados. Sin embargo, con el paso del tiempo, estas técnicas han evolucionado hacia la adopción de uniones clavadas y/o empernadas. Esta evolución ha dado lugar a la creación de sistemas como el Plataforma y Balloon, así como variantes ampliamente utilizadas en países desarrollados. La distinción entre estos sistemas radica en la secuencia de armado de los pisos y la manera en que los tabiques se integran en ellos, o viceversa (Hempel, 1987). El bastidor de madera es el esqueleto estructural del tabique ligero y está compuesto por una serie de piezas lineales que proporcionan soporte y rigidez (Figura 3.3.8). Las piezas principales que conforman el bastidor incluyen:

- El montante, también conocido como parante, es una pieza vertical del bastidor de madera que se instala a intervalos regulares a lo largo del tabique. Su función principal es proporcionar soporte estructural y dividir el espacio en secciones. Los montantes sostienen los paneles y ayudan a distribuir la carga de manera uniforme a lo largo del tabique.



Fig.3.3.7 | Tabiques monolíticos de madera laminada.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

- La solera superior es una pieza horizontal de madera que se coloca a modo de elemento de cierre del tabique, lo que une los montantes y proporciona estabilidad al conjunto. La solera superior sirve como punto de anclaje para los montantes y ayuda a mantener la integridad estructural del tabique.

- La solera inferior es una pieza horizontal de madera que se sitúa en la base del tabique. Ayuda a nivelar y estabilizar el tabique, por lo que funciona como elemento de unión entre el suelo y el tabique. Esto proporciona un punto de apoyo para los montantes para la distribución uniforme de cargas.

- El parante de abertura, también conocido como jamba, es una pieza vertical de madera que se coloca en los lados de una abertura

como una puerta o una ventana. Su función es proporcionar soporte estructural alrededor del vano y sostener el dintel.

- El alféizar es una pieza horizontal de madera que se sitúa debajo de las aberturas como, por ejemplo, ventanas. Su propósito es proporcionar un marco sólido para la abertura y soportar el peso de la estructura de la ventana sobre ella.

- El dintel es una pieza horizontal de madera que se coloca sobre una abertura, como una puerta o una ventana, para soportar el peso de la estructura que se encuentra encima. El dintel distribuye la carga de manera uniforme a los parantes de la abertura.

- El parante de dintel es una pieza vertical de

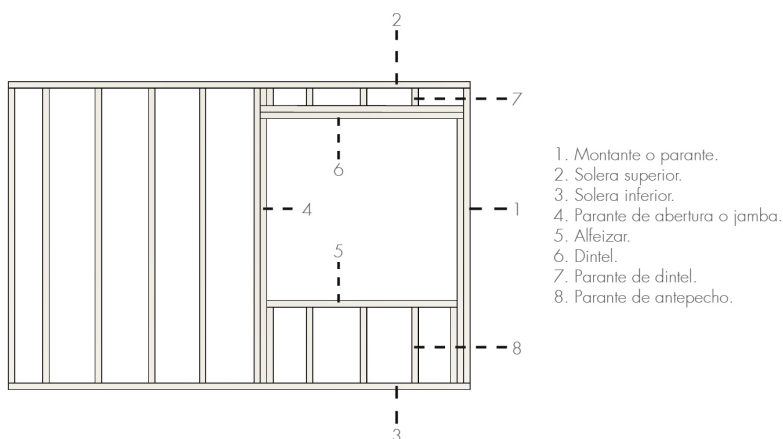


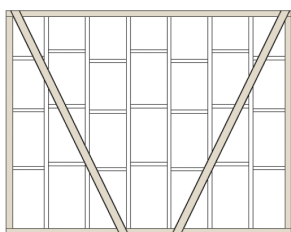
Fig. 3.3.8 | Tabique de entramado vertical con bastidores de madera. | Fuente: Autoría Propia (2024).

madera que se sitúa en los lados de una abertura, como una puerta o una ventana, justo debajo del dintel. Su función es proporcionar soporte estructural adicional al dintel y distribuir la carga de manera uniforme a lo largo de la abertura.

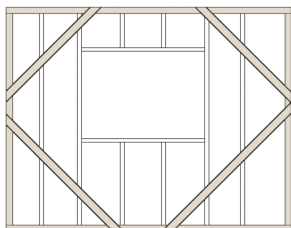
- El parante de antepecho es una pieza vertical de madera que se coloca en los lados de una abertura, como una ventana, justo encima del alféizar. Su función es proporcionar soporte estructural alrededor de la abertura y sostener el peso de la estructura sobre ella.

Adicionalmente, muchos sistemas incluyen riostras diagonales que sirven para estabilizar el tabique, sobre todo cuando este está trabajando como un elemento estructural principal dentro de la edificación. La confirmación de las diagonales puede ser realizada de diferentes formas; algunas se hace al conformar cruces de San Andrés y, otras, ubicadas en los puntos críticos que necesitan rigidización adicional (Figura 3.3.9 S).

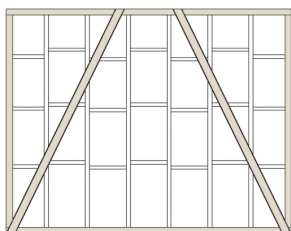
En estos sistemas, comúnmente, los bastidores son rigidizados mediante tableros de yeso-cartón o de madera que, a más de estabilizar estructuralmente el sistema, sirven como revestimiento. En este contexto, existe una gran variedad de tableros de madera como por ejemplo: tableros contrachapados, tableros de virutas orientadas (OSB, Oriented Strand Board), Tableros de partículas o aglomerado, tableros de fibras duras, tableros de fibras de densidad media, tableros de madera - cemento, paneles sándwich, etc. (Arriaga, 2001).



Rigidización con diagonales tipo A



Rigidización con diagonales tipo B



Rigidización con diagonales tipo C

Fig. 3.3.9 | Sistemas de entramado que incluyen diagonales. | Fuente: Autoría Propia (2024).

En lo referente a las uniones de elementos de madera, se puede decir que existe un gran abanico de posibilidades que depende de múltiples factores como los esfuerzos a los que estarán sometidas, los recursos, los acabados deseados, entre otros. Las limitaciones de las uniones en madera, sobre todo cuando se trata de configurar elementos estructurales, están estrechamente ligadas a su naturaleza anisotrópica, donde la resistencia perpendicular a la fibra es considerablemente menor que en la dirección paralela. Por lo general, las uniones entre piezas de madera tienden a ser articuladas o semi-rígidas, ya que es difícil lograr uniones completamente rígidas. Comúnmente, las uniones entre bastidores de madera son resueltas mediante la configuración de montantes unidos entre sí, estabilizados con las placas de recubrimiento (Figuras 3.3.10).

Dentro de la gran variedad de elementos de unión disponibles, y si se tiene en consideración que cada uno cuenta con sus propias características y aplicaciones específicas, podemos mencionar los siguientes (Arriaga, 2001):

- Las uniones encoladas o uniones con pegamento tienen gran resistencia. Suelen emplearse resinas epoxi, resinas de poliuretano, entre otras. Las uniones pegadas pueden ser eficaces, siempre y cuando los elementos no estén sometidos a esfuerzos a esfuerzos sobreesfuerzos.
- Las uniones mecánicas incluyen todas aquellas que incorporan elementos metálicos a modo de pasadores y placas y se dividen

168 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

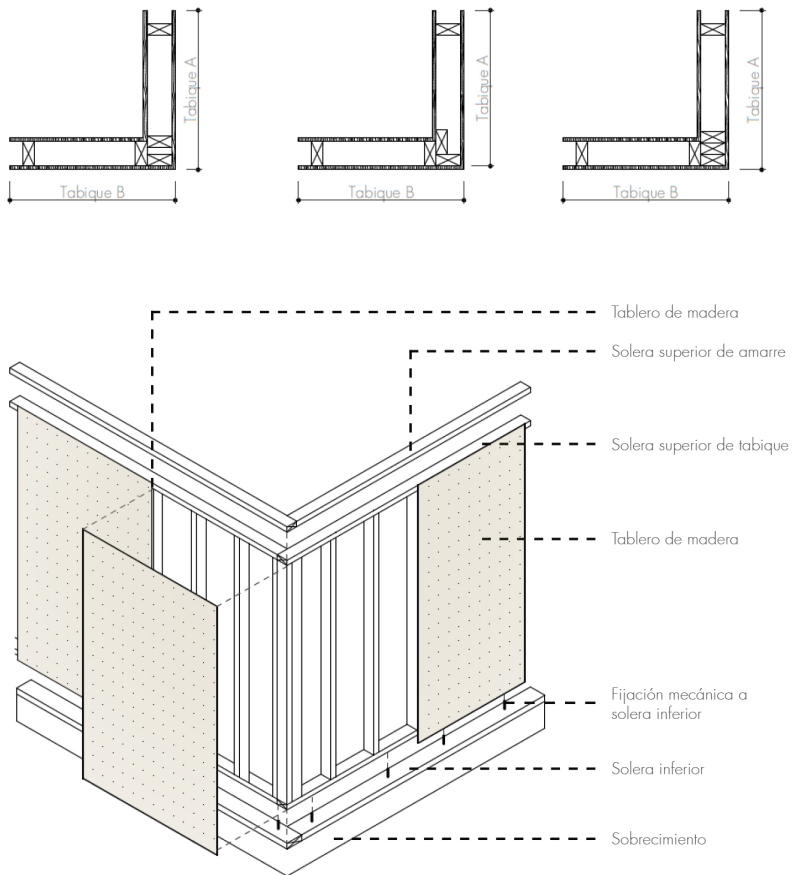


Fig. 3.3.10 | Diferentes tipos de uniones entre tabiques con bastidores A. | Fuente: Autoría Propia (2024).

CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

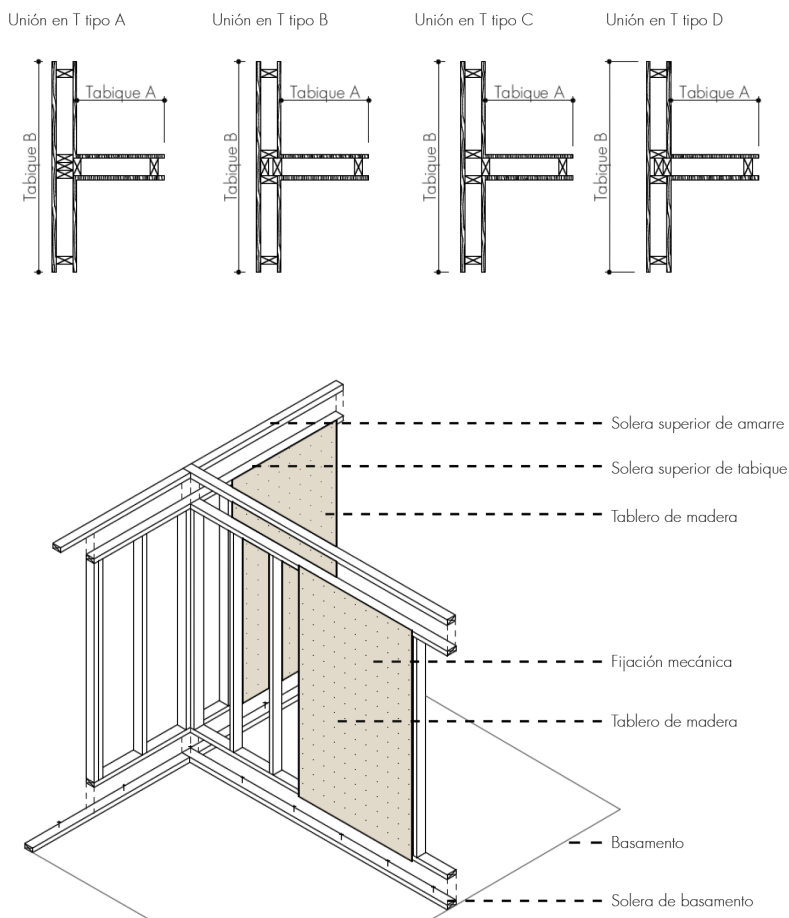


Fig. 3.3.10 | Diferentes tipos de uniones entre tabiques con bastidores B. | Fuente: Autoría Propia (2024).

170 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

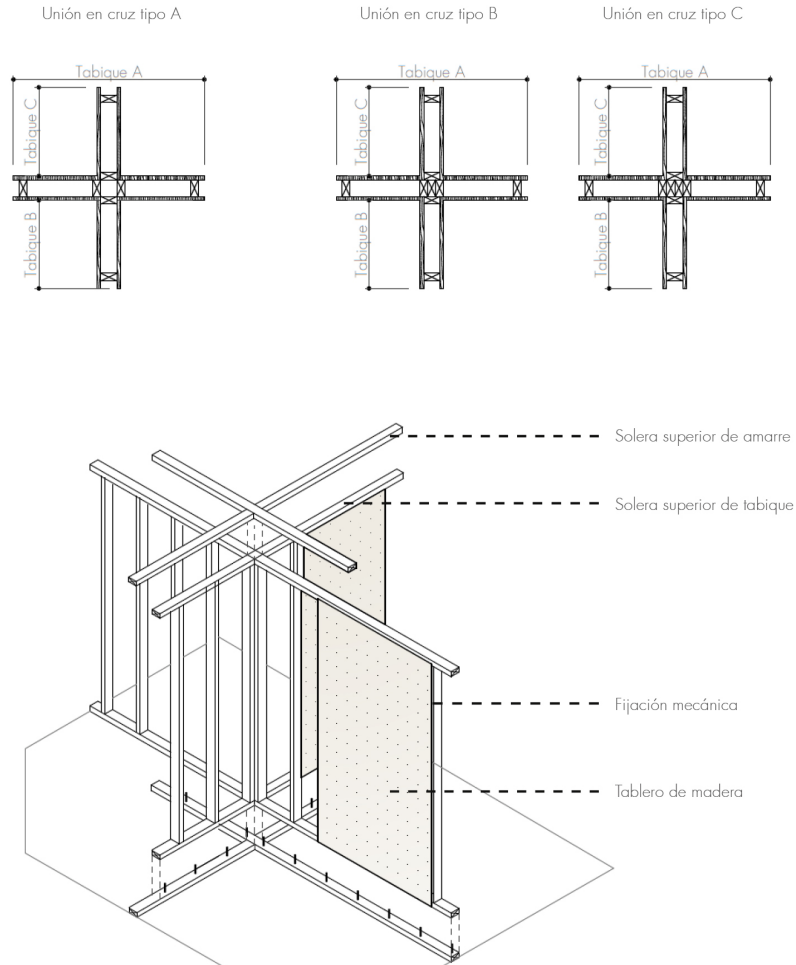


Fig. 3.3.10 | Diferentes tipos de uniones entre tabiques con bastidores C. | Fuente: Autoría Propia (2024).

en uniones de fijación directa como clavos, tirafondo, pernos, pasadores (Figura 3.3.11), grapas, y las uniones mediante elementos de superficie, es decir placas, ángulos (Figura 3.3.12), conectores (Figura 3.3.13), etc. En el caso de los clavos el diámetro, varía entre los 3 y 8 mm y la longitud entre los 40 y 200 mm. Los tirafondos o tornillos tienen un diámetro que puede variar entre los 6 y 20 mm y la longitud entre 25 y 300 mm. En lo referente a pernos, el diámetro varía entre 12 y 30 mm y la longitud se asemeja a la de los tornillos. Los pasadores suelen tener diámetros que oscilan entre 16 y 20 mm, mientras que las grapas tienen longitudes que van de 12 a 63 mm, comúnmente. En lo referente a conectores, pueden ser de diferentes tipos, como anillo y placa (60 - 260 mm) (Figura 3.3.14), dentado (38 - 165 mm) (Figura 3.3.15), o de madera (hasta 75 mm).

- Las uniones de ensambles de carpintería, comunes en la construcción tradicional son aquellas que, mediante criterios geométricos, buscan la unión a través de ensambles (Figura 3.3.16). Estas uniones cayeron en desuso debido a la dificultad del trabajo y a que, en el contexto de la industrialización, cada vez se hizo más complicado encontrar carpinteros que realizaran adecuadamente la aplicación técnica, lo que elevó los costos de estas uniones. Sin embargo, en la actualidad, gracias al trabajo asistido por computador y a las herramientas modernas de corte, es posible obtener ensambles que ocupan esta tecnología. Son incluso más eficientes que las uniones realizadas con elementos metálicos.

- Las uniones mixtas, por otra parte, pueden reunir dos o más tipos de uniones como solución para emparejar elementos de madera.

La elección de las uniones es esencial para garantizar la estabilidad de los elementos de madera, así como para obtener el acabado deseado en lo referente al resultado formal. Dentro de las uniones por ensambles de car-

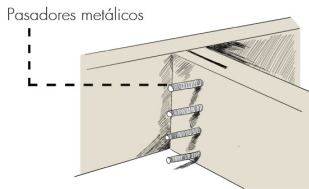


Fig.3.3.11 | Unión con pasadores.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

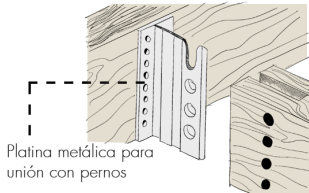


Fig.3.3.12 | Unión con ángulos.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

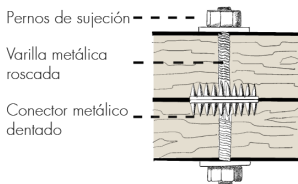


Fig.3.3.15 | Unión con conectores dentados.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

pintería podemos encontrar un gran número de soluciones heredadas de la arquitectura tradicional. Por ejemplo, en la arquitectura japonesa, famosa por el trabajo de la madera y las respuestas tecnológicas válidas hasta la actualidad, podemos encontrar varios tipos de uniones, como por ejemplo: ensambles longitudinales (Figura 3.3.17), ensambles oblicuos (Figura 3.3.18), ensambles en ángulo y en cruz (Figura 3.3.19), ensambles planos (Figura 3.3.20).

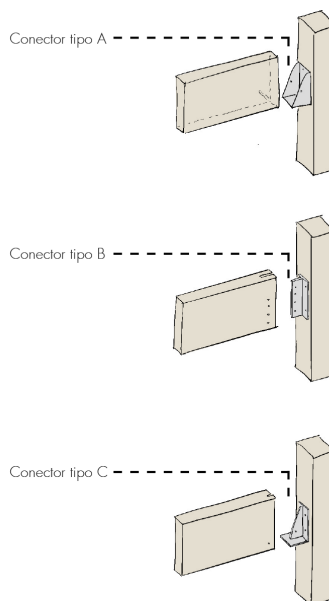


Fig.3.3.13 | Unión con conectores.
| Fuente: Autoría Propia (2024).

174 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

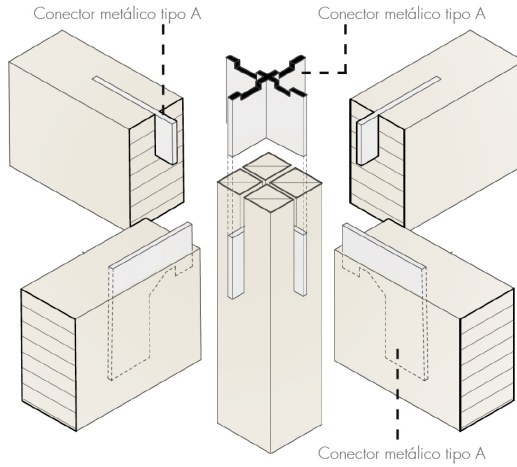


Fig. 3.3.14 | Unión con conectores múltiples. | Fuente: Autoría Propia (2024).

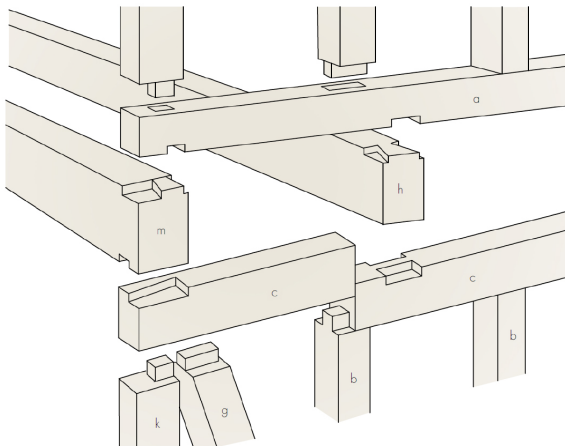


Fig. 3.3.16 | Unión con ensambles. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Ensamblajes Longitudinales

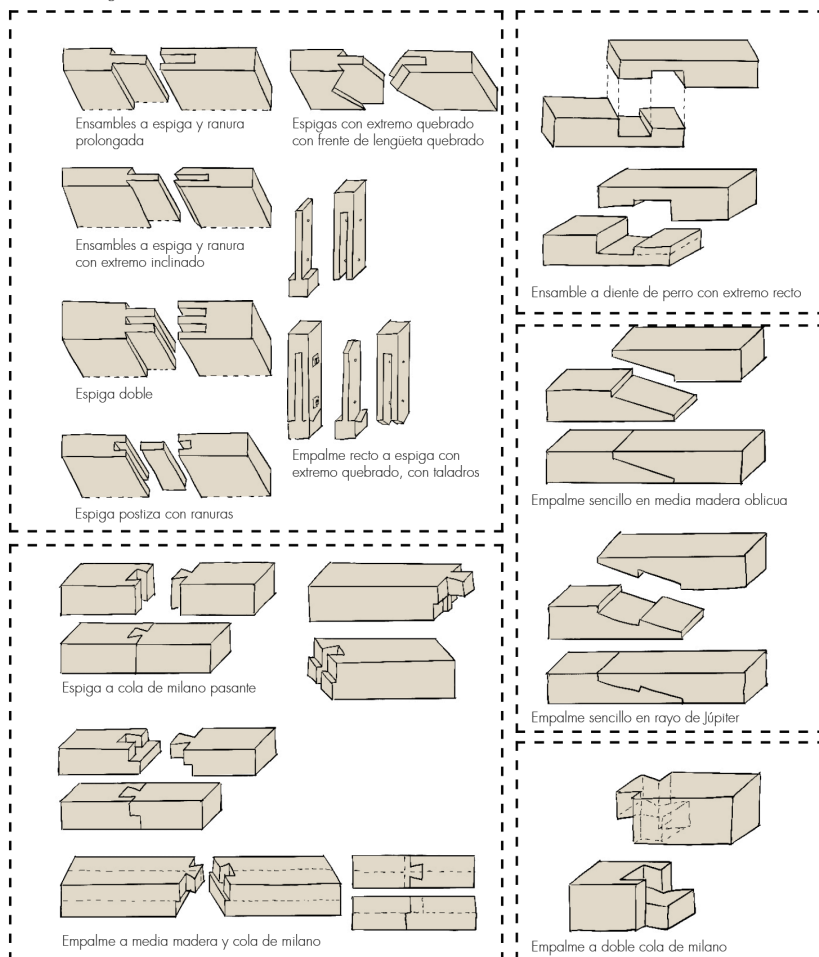


Fig. 3.3.17 | Ejemplos de ensamblajes longitudinales - A. | Fuente: Autoría Propia (2024).

176 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

Ensamblajes Longitudinales

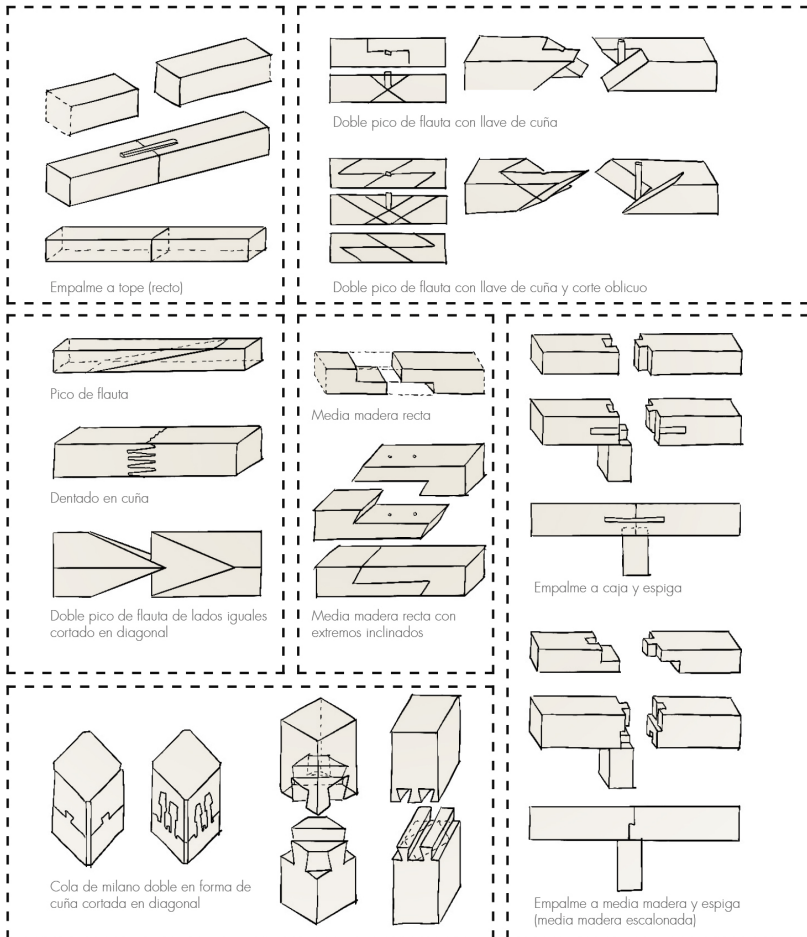


Fig. 3.3.17 | Ejemplos de ensamblajes longitudinales - B. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Ensamblajes Oblicuos

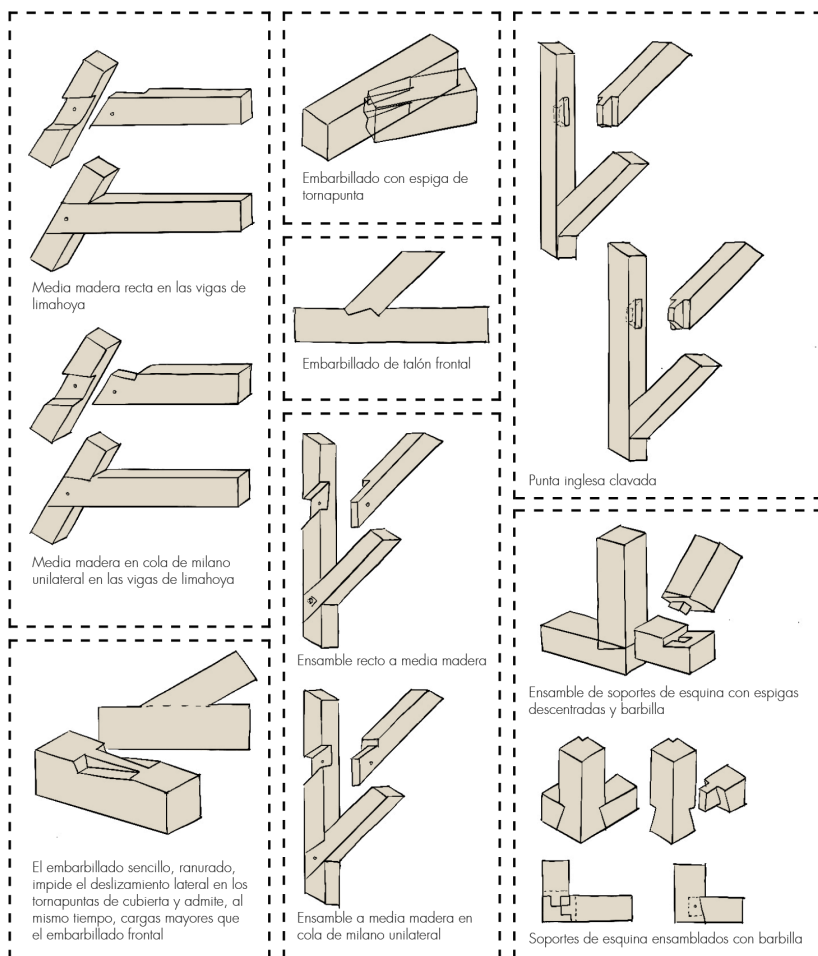


Fig. 3.3.18 | Ejemplos de ensamblajes oblicuos. | Fuente: Autoría Propia (2024).

178 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

Ensamblajes Ángulo y Cruz

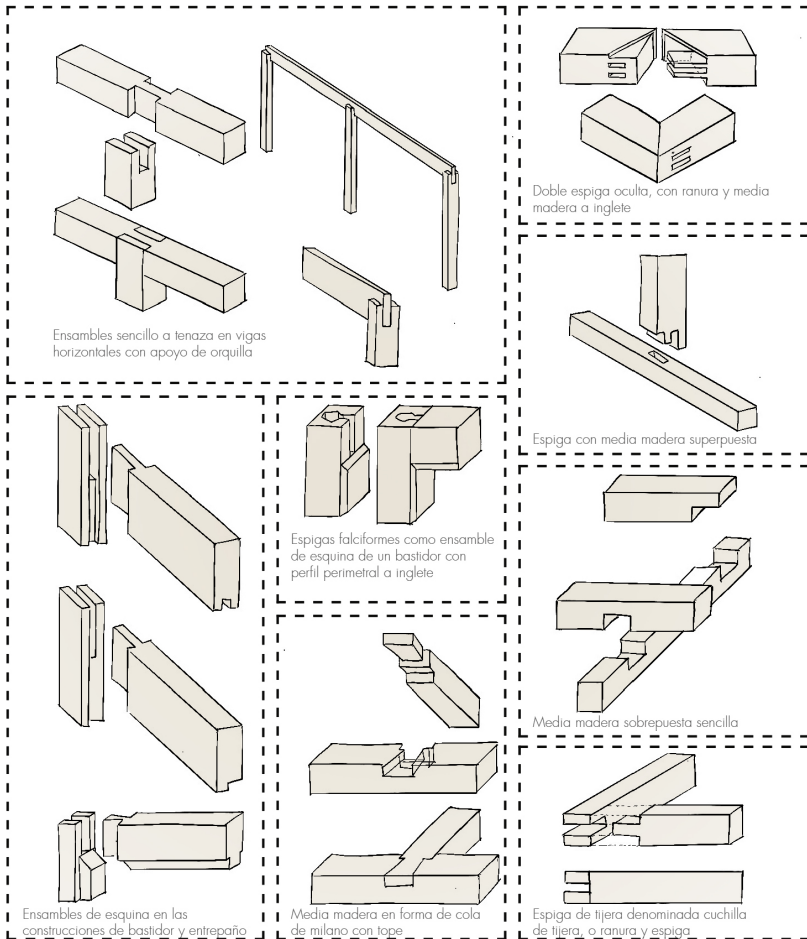


Fig. 3.3.19 | Ejemplos de ensamblajes en ángulo y en cruz - A. | Fuente: Autoría Propia (2024).

Ensamblés Ángulo y Cruz

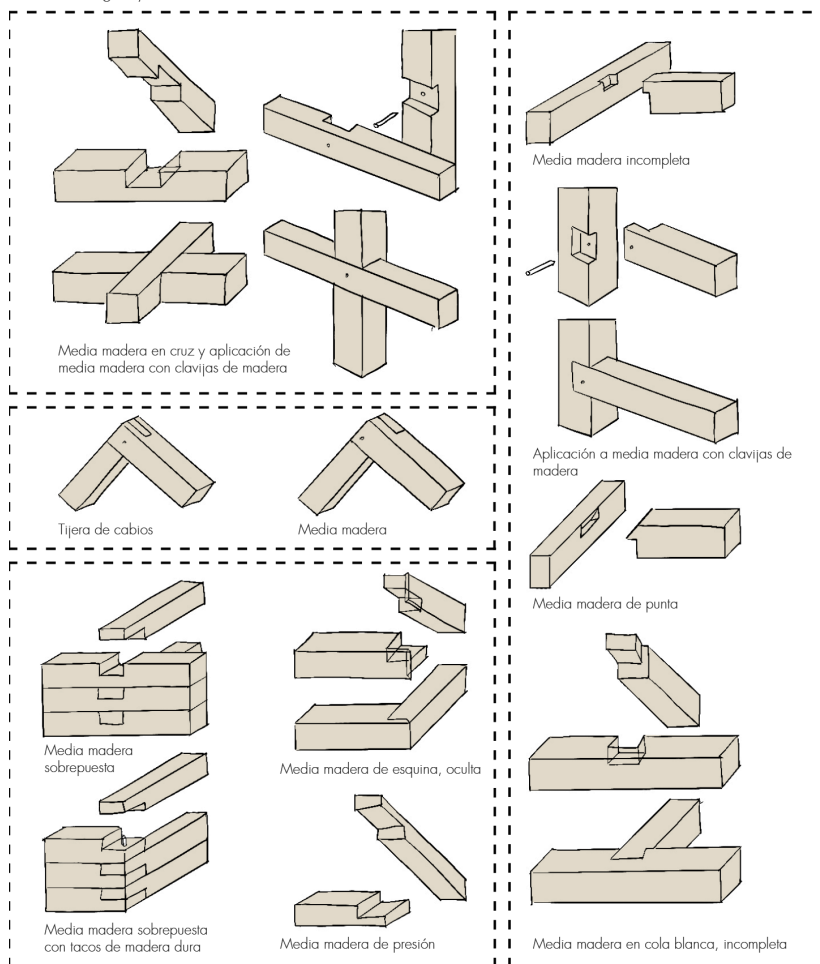


Fig. 3.3.19 | Ejemplos de ensamblés en ángulo y en cruz - B. | Fuente: Autoría Propia (2024).

180 CAPÍTULO 3 | MATERIALES Y ELEMENTOS SELECCIONADOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS SOSTENIBLES Y MODULARES DE TABIQUERÍA: EL BTC Y LA MADERA | ENTRAMADOS CON ELEMENTOS DE MADERA | TIPOS DE PIEZAS Y UNIONES EN ENTRAMADOS CON MADERA PARA TABIQUES

Ensamblajes Planos

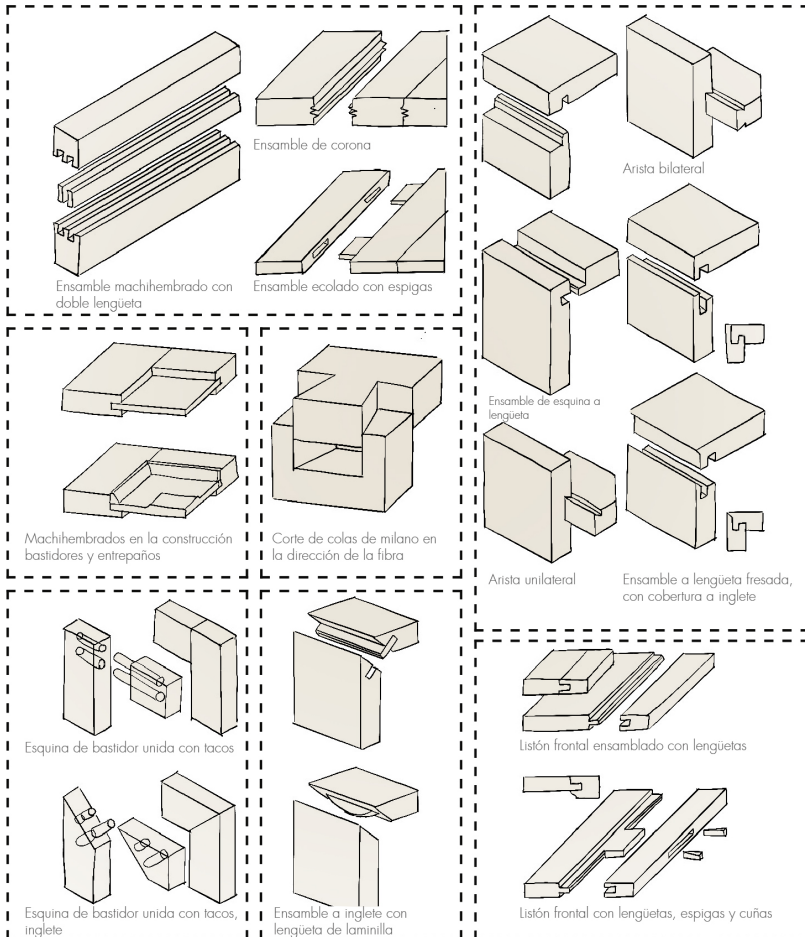


Fig. 3.3.20 | Ejemplos de ensamblajes planos. | Fuente: Autoría Propia (2024).

3.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

La madera es un material no homogéneo que, de acuerdo a la especie natural y a la región a la que pertenece, adquiere características particulares. Si se considera que la madera es un material anisotrópico, posee altas resistencias en sentido de las fibras que la componen, y un comportamiento moderado en sentido paralelo a ellas. Esto determina la posición de las uniones, la orientación de los elementos, etc. Contrario a lo que se podría pensar, la madera es extremadamente duradera, si se trata y mantiene correctamente; es capaz de soportar altas cargas y resistir durante siglos. Los tratamientos contra termitas y humedad pueden prolongar significativamente la vida útil de las estructuras de madera.

Aunque la madera es inflamable, su comportamiento ante el fuego es complejo y varía según varios factores como la densidad, la humedad y el tamaño de la sección transversal. A diferencia de otros materiales, como el acero, la madera tiene la capacidad de formar una capa de carbón cuando se expone al fuego, lo que puede proteger el interior de la estructura y ralentizar la propagación del incendio. Además, la madera maciza suele mantener su integridad estructural durante más tiempo que otros materiales cuando está expuesta al fuego, lo que permite a los ocupantes más tiempo para evacuar de manera segura.

En lo referente a la humedad, por ser higroscópica, un contenido superior al 20% de humedad continua provocará la aparición de

hongos e insectos nocivos y la putrefacción de las piezas. Por tanto, es importante un correcto aislamiento y, en caso de ser inevitable el contacto esporádico con la humedad, propiciar una correcta ventilación, donde se facilite la salida inmediata del agua que pueda estar en contacto con el material. Adicionalmente, es necesario considerar los cambios en el volumen de los elementos debido a la hinchazón del material, o su contracción, debido a la humedad.

Por otra parte, la madera tiene un comportamiento destacado ante esfuerzos dinámicos propios de sismos. Esta característica ha sido utilizada ampliamente por la arquitectura tradicional en diferentes continentes. La flexibilidad inherente de la madera le permite absorber y disipar energía, lo que es particularmente ventajoso en áreas propensas a terremotos. Los edificios de madera pueden soportar movimientos sísmicos mejor que las construcciones de concreto o mampostería, lo que reduce el riesgo de colapso.

En lo referente al comportamiento acústico, la madera presenta propiedades destacables en comparación a materiales convencionales como el hormigón, el vidrio, el acero, entre otros. Sin embargo, en el caso de paneles divisorios livianos, cuando se trata de aislamiento acústico, se recomienda optimizar su

funcionamiento mediante la adición de capas y materiales que aislen las frecuencias bajas y sonidos de impacto.

La madera es un recurso renovable, lo que la convierte en una opción sostenible para la construcción. Los bosques, gestionados de manera sostenible, pueden proporcionar madera sin agotar los recursos ni dañar el medio ambiente. Además, la madera almacena carbono durante su ciclo de vida, lo que reduce la cantidad de CO₂ en la atmósfera. El uso de productos de madera en la construcción puede significar una importante contribución a la mitigación del cambio climático, gracias a su capacidad de almacenamiento de carbono y su menor energía incorporada en comparación con materiales como el acero o el concreto.

El uso de la madera en la construcción está normalizado en la mayoría de los países, lo que ayuda considerablemente a la revisión de las características requeridas y el control de calidad de elementos de madera dentro de la arquitectura. A continuación, se adjuntan las fichas técnicas de diferentes especies que pueden ser utilizadas para configuración de entramados de madera: seike (Figura 3.3.21), cedro (Figura 3.3.22), teca (Figura 3.3.23), nogal (Figura 3.3.24), chanul (Figura 3.3.25), eucalipto (Figura 3.3.26), pino (Figura 3.3.27) y ciprés (Figura 3.3.28).

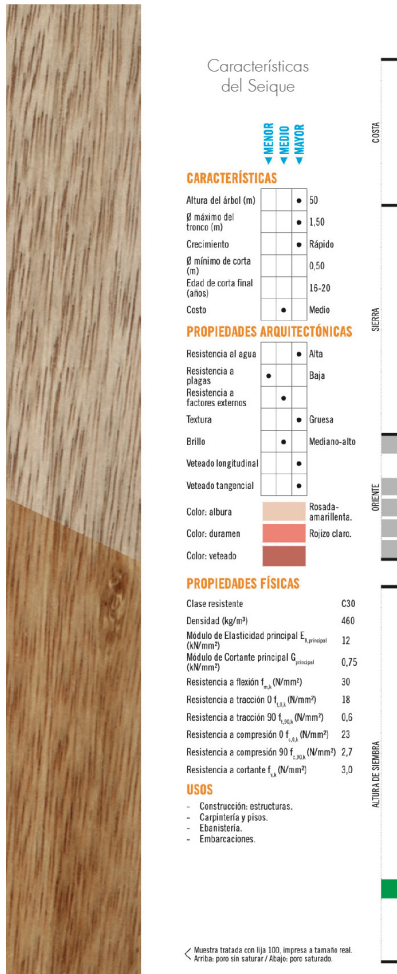


Fig.3.3.21 | Características del seique.
| Fuente: Arpi, et al. (2018).

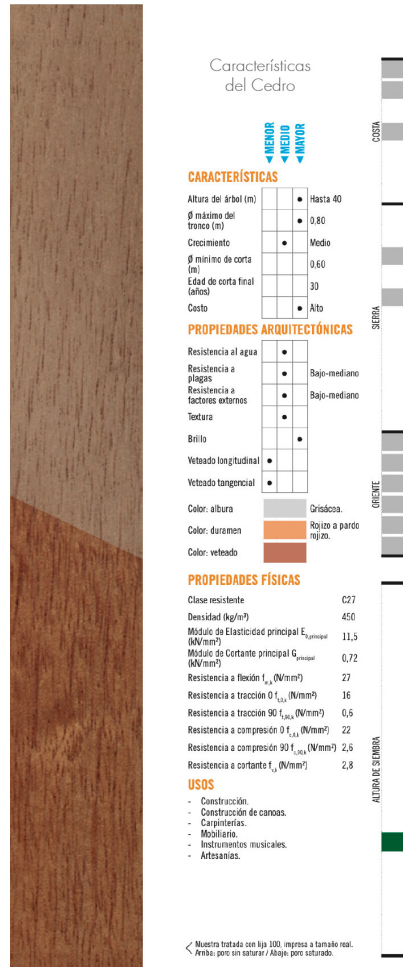


Fig.3.3.22 | Características del cedro.
| Fuente: Arpi, et al. (2018).

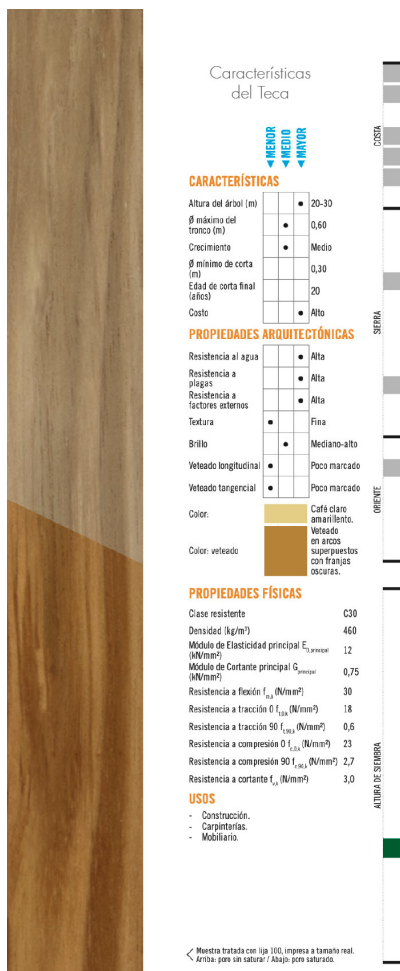


Fig.3.3.23 | Características de la teca.
| Fuente: Arpi, et al. (2018).

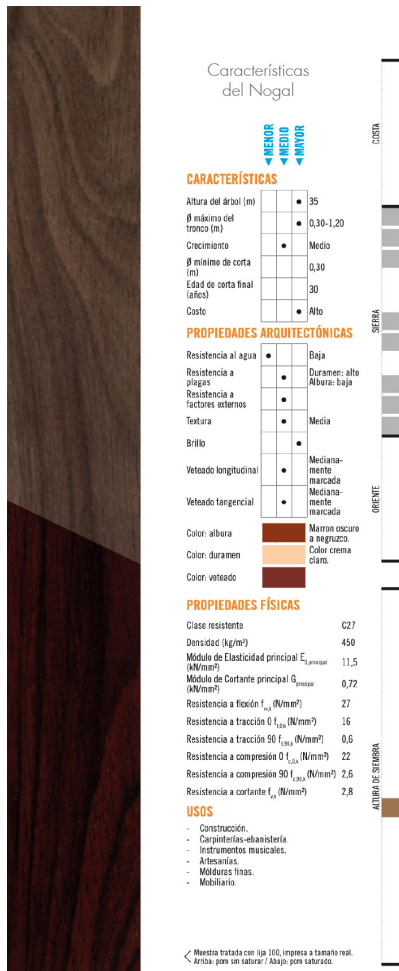


Fig.3.3.24 | Características del nogal.
| Fuente: Arpi, et al. (2018).

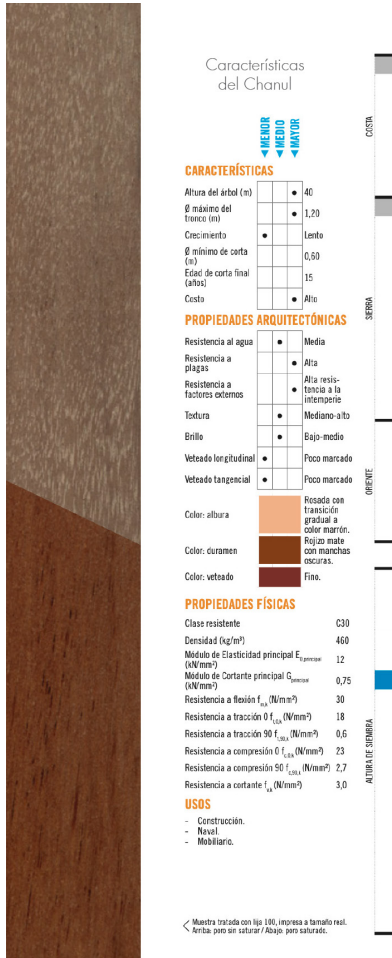


Fig. 3.3.25 | Características del chanul.
 | Fuente: Arpi, et al. (2018).

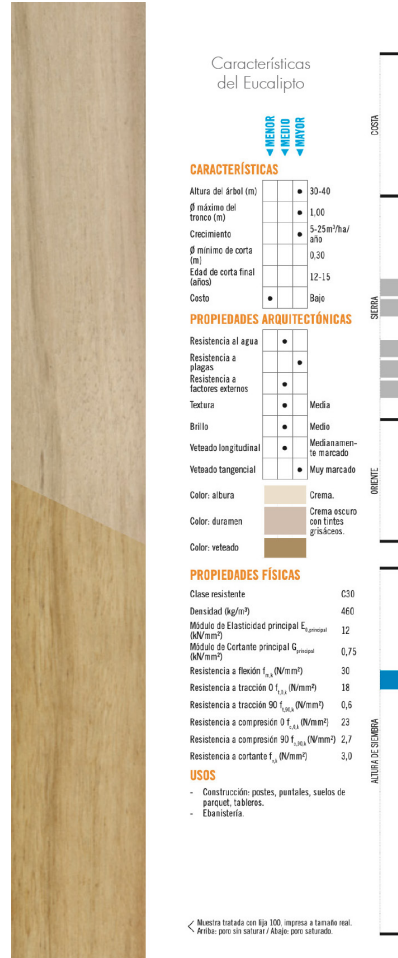


Fig. 3.3.26 | Características del eucalipto.
 | Fuente: Arpi, et al. (2018).

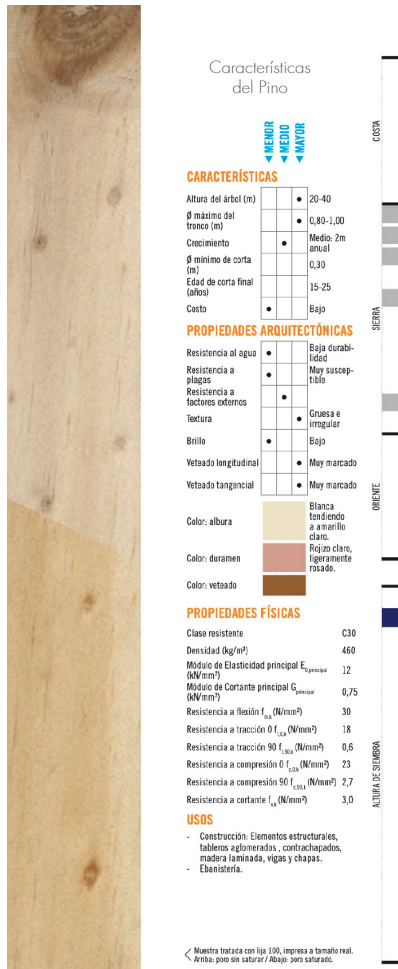


Fig.3.3.27 | Características del pino.
Fuente: Arpi, et al. (2018).

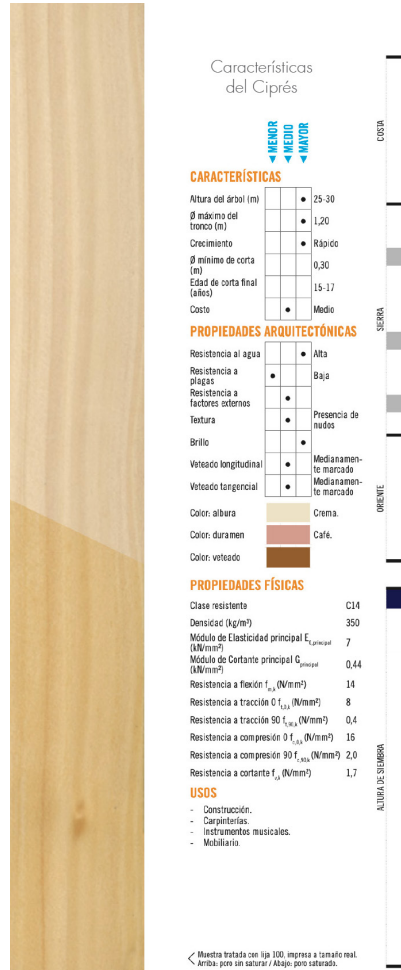


Fig.3.3.28 | Características del ciprés.
Fuente: Arpi, et al. (2018).

3.4 CONCLUSIONES

La implementación de bloques de tierra comprimida (BTC) en sistemas de construcción de tabiques divisorios, como sustituto de mampuestos convencionales que incorporan gran cantidad de energía, puede aportar ventajas desde el punto de vista sostenible, no solo desde una perspectiva ambiental, sino también desde una perspectiva social y económica en países en vías de desarrollo. La producción de BTC, caracterizada por el aprovechamiento de recursos locales, no solo contribuye a la disminución de la huella de carbono mediante la reducción del transporte y la producción de materiales convencionales, sino que también promueve entornos saludables, gracias a sus propiedades higroscópicas, que regulan la humedad interior de los ambientes.

La capacidad de adaptación de los bloques de tierra comprimida (BTC) a diferentes formatos, desde procesos de fabricación manual hasta métodos industrializados, subraya su flexibilidad y su potencial para ajustarse a diversas necesidades en localidades rurales y urbanas. La posibilidad de diseñar bloques de tierra comprimida (BTC) con tamaños, formas y ca-

racterísticas específicas, representa una alternativa a materiales convencionales en pro de una arquitectura sostenible.

El sistema de construcción que se propone combina el uso de mampuestos con elementos de madera. Esta integración se basa en métodos constructivos tradicionales, como los sistemas de mampuestos para la configuración de tabiques, los sistemas de entramados de bahareque y los paneles con bastidores, que evolucionaron, posteriormente, con la revolución industrial. Los componentes de madera sirven como la estructura principal tanto de los tabiques como de los bloques de tierra comprimida (BTC) utilizados. Para ensamblar los tabiques, se diseñan piezas que se conectan entre sí a través de ensambles y pasadores, también inspirados en los ensambles de la arquitectura tradicional. Estos pueden fabricarse con facilidad en la actualidad mediante tecnologías modernas como el corte láser, o a través de métodos de carpintería más tradicionales.

En este contexto, al hablar del armazón de madera del panel y al tener principalmente piezas que se encuentran en esquina, en prolongación o en encuentros perpendiculares, se pueden

aplicar un sinnúmero de soluciones de ensambles tradicionales en reemplazo de fijaciones mecánicas de acero que incluyen placas, ángulos, pletinas, etc. De igual manera, para la unión entre tabiques, ya sea cuando se trata de una prolongación, un encuentro en esquina, un encuentro perpendicular o un encuentro en cruz, se recurre al uso de elementos de madera para resolver todo tipo de encuentro. Se debe dejar un espacio destinado al paso de instalaciones verticales.

Finalmente, el encuentro con el forjado inferior se da mediante piezas de madera que, por geometría y mediante el uso de pasadores, generan la fijación del panel al piso. El encuentro con el forjado superior también se realiza con el mismo criterio, donde se incluye, adicionalmente, un cajón, compuesto por elementos de madera, capaz de permitir el paso de instalaciones horizontales.

A continuación, se exponen seis prototipos que han sido desarrollados con los criterios de diseño antes mencionados.

CAPITULO 4: TABIQUES SOSTENIBLES Y MODULARES A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE TIERRA Y PIEZAS DE MADERA: DISEÑO DE PROTOTIPOS

4.1 INTRODUCCIÓN

4.2 PROTOTIPOS

4.2.1 Prototipo 01

4.2.2 Prototipo 02

4.2.3 Prototipo 03

4.2.4 Prototipo 04

4.2.5 Prototipo 05

4.2.6 Prototipo 06

4.3 CONCLUSIONES

4.1. INTRODUCCIÓN

Los prototipos diseñados se presentan como una alternativa sostenible a tabiques divisorios que incorporan una gran cantidad de energía, como, por ejemplo, aquellos contruidos con elementos como el ladrillo de arcilla cocida, el bloque de hormigón, o paneles compuestos con elementos de acero y otros materiales que, en muchos casos, no cumplen con los estándares necesarios para abordar la crisis medioambiental actual.

Si se parte de los estudios previos expuestos en el capítulo 3, se plantea la posibilidad de generar mampuestos prefabricados capaces de adaptarse a sistemas constructivos mixtos que incorporen elementos prefabricados de madera. El diseño de los prototipos contempla que, estructuralmente, los mampuestos trabajan en la admisión y transmisión de esfuerzos a com-

presión dentro del tabique, mientras que los elementos de madera cumplen con absorber esfuerzos de flexión, tracción, cortante y demás esfuerzos mecánicos que puedan presentarse en el sistema de tabiquería. Se consideró que la estructura de sostén del edificio es independiente de la estructura de cada elemento divisorio planteado y, por tanto, estos no contemplan la admisión de cargas adicionales a su propio peso.

Al tomar como referentes a las técnicas constructivas tradicionales que utilizan mampuestos de tierra y entramados de madera, se han diseñado diferentes tipos de BTC que varían en tamaño y forma, pensados para ser compatibles con distintos tipos de bastidores de madera. El propósito de este enfoque es demostrar el amplio rango de posibilidades estéticas, estruc-

turales y funcionales que emergen de la integración de estos dos materiales.

Los prototipos han sido diseñados Los prototipos han sido diseñados mediante la aplicación de diversos principios de modulación, prefabricación y coordinación dimensional, con el objetivo de alinear el proceso de producción de estos tabiques con los requerimientos constructivos, estéticos y funcionales dictados por la arquitectura contemporánea. Este planteamiento asegura que las soluciones propuestas sean no solo viables y eficientes, sino que además cumplan con las actuales expectativas de sostenibilidad y control de calidad exigidas en el ámbito de la construcción.

Los prototipos pueden ensamblarse Los prototipos pueden ensamblarse en una fábrica o taller y luego ser trasladados al sitio de construcción; sin embargo, también es posible transportar los distintos componentes prefabricados para ensamblar los tabiques directamente in situ. En el primer escenario, se requiere el uso de grúas o montacargas, mientras que en el segundo se puede optar por mano de obra, incluso no especializada. Las propuestas de prototipos están concebidas como sistemas de construcción en seco, diseñados para agilizar los tiempos

de ejecución y garantizar resultados óptimos en lo referente a acabados.

El diseño de seis prototipos, cinco de los cuales han sido concebidos por estudiantes de la Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte de la Universidad del Azuay, demuestra cómo la aplicación de principios de diseño escogidos despliega un vasto espectro de posibilidades en términos de forma, función y estructura, que están al alcance de arquitectos y constructores. En cuanto a su composición, el prototipo 01 integra dos variantes de BTC, el prototipo 02 incorpora tres variantes, el prototipo 03 utiliza cuatro variantes, el prototipo 04 se distingue por incluir seis tipos de BTC, el prototipo 05 se caracteriza por contar con una única variante de BTC, y el prototipo 06 hace uso de dos variantes de BTC.

Los tabiques incorporan una variedad de componentes de madera que difieren de un prototipo a otro, destinados a la creación de bastidores que alojan los BTC. Estos marcos están interconectados mediante ensambles y fijaciones mecánicas de sencilla aplicación. Para la conexión de tabiques, ya sea en extensiones lineales, en ángulos rectos, en intersecciones perpendiculares o en configuraciones en forma

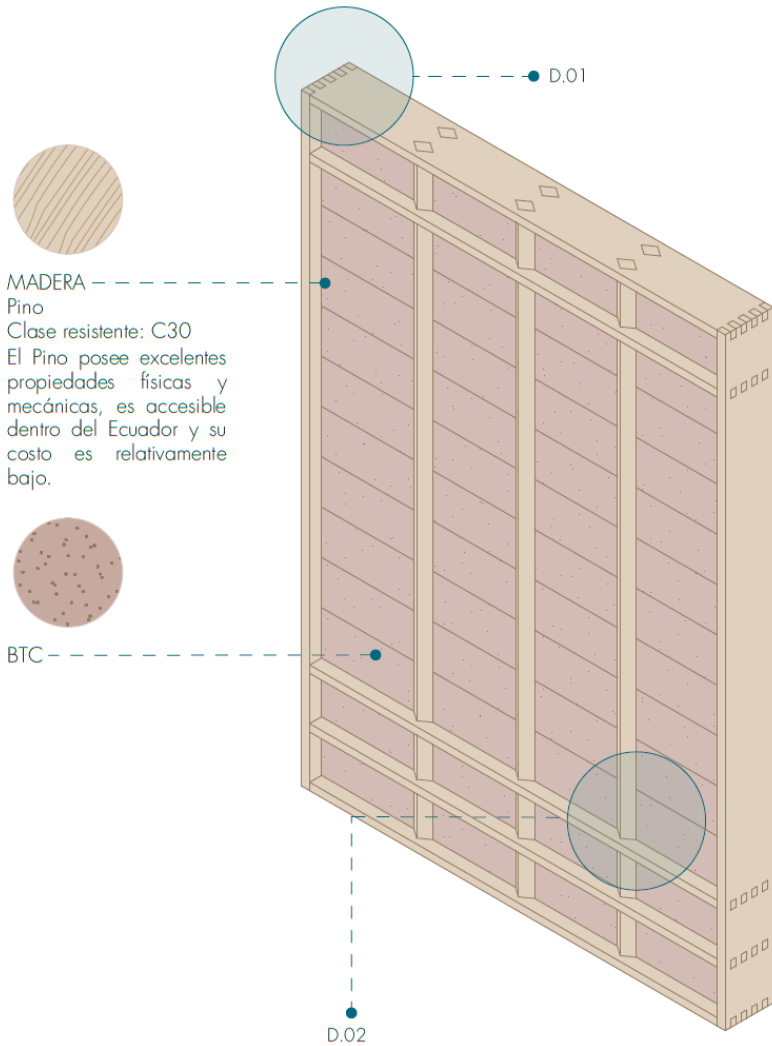
de cruz, se adoptan soluciones que emplean elementos de madera diseñados específicamente para facilitar el paso de instalaciones verticales. Asimismo, para fijar los tabiques a los forjados, se utiliza una estrategia similar que implica el uso de componentes de madera preparados para permitir el paso de instalaciones horizontales.

Los tabiques han sido diseñados como elementos separadores de espacios interiores independientes de la envolvente. Sin embargo, se adiciona información sobre las propiedades térmicas de cada prototipo, ya que se realiza una comparativa con los desempeños térmicos de tabiques hechos de ladrillos, de arcilla cocida y de bloques de hormigón. El análisis muestra que el comportamiento térmico de los bloques de tierra comprimida utilizados en los prototipos supera al de los materiales mencionados anteriormente. Además, si se toma en cuenta la información presentada en el capítulo 3, el rendimiento acústico y la sostenibilidad del bloque de tierra, en comparación con los materiales convencionales antes citados, es superior. Así, se presenta como una alternativa atractiva y viable desde perspectivas funcionales, ambientales, sociales y económicamente sostenibles.



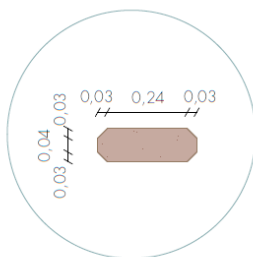
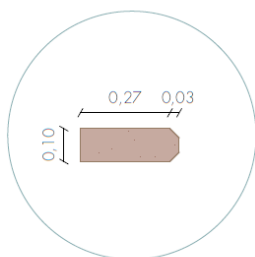
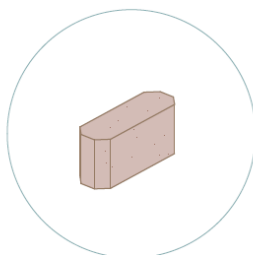
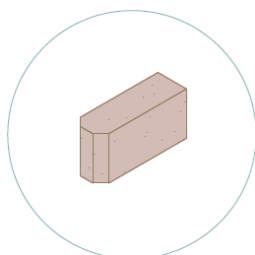


PROTOTIPO 01



Autores: Juan Carlos Calderón - Ana Sofía Idrovo
Cristina Ayora - David Saavedra
Revisión: Juan Carlos Calderón

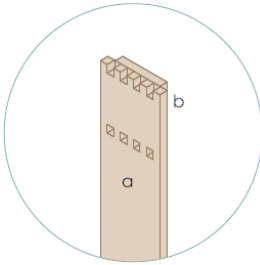
PANEL PROTOTIPO 01



BLOQUE TIPO 1
Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 32 unidades

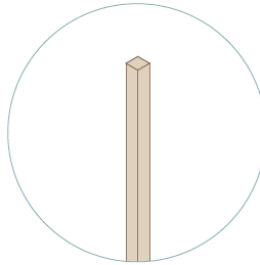
BLOQUE TIPO 2
Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 32 unidades

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	10cmx30cmx15cm
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. RA	45 dBA



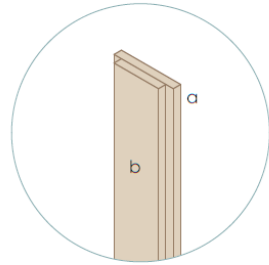
TABLÓN LATERAL

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



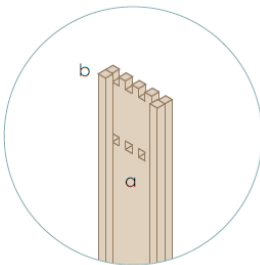
LISTÓN

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
4cmx4cmx240cm
Cantidad: 6 unidades



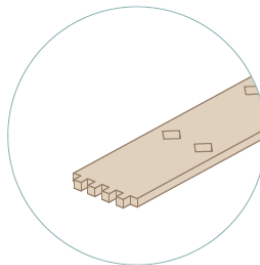
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx240cm e:2,5cm
b. 15cmx240cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



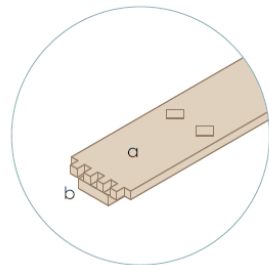
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx240cm e:2,5cm
b. 2,5cmx2,5mx240cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



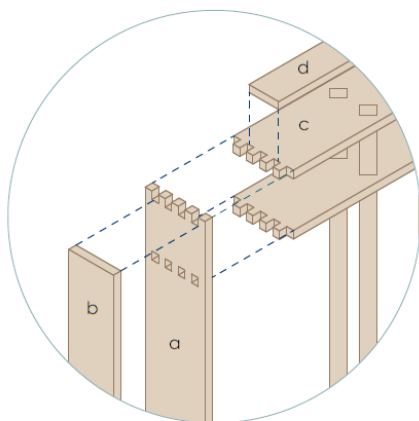
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
20cmx125cm e:2,5cm
Cantidad: 3 unidades

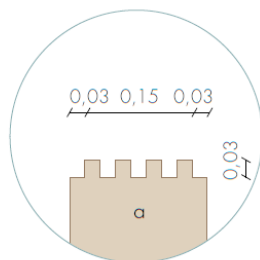


TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

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



D.01



UNIÓN, ESQUINA DE TABIQUE, EN EPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino

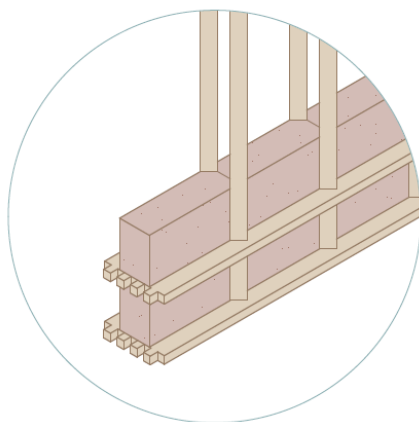
Dimensiones:

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 Comprimida (BTC).

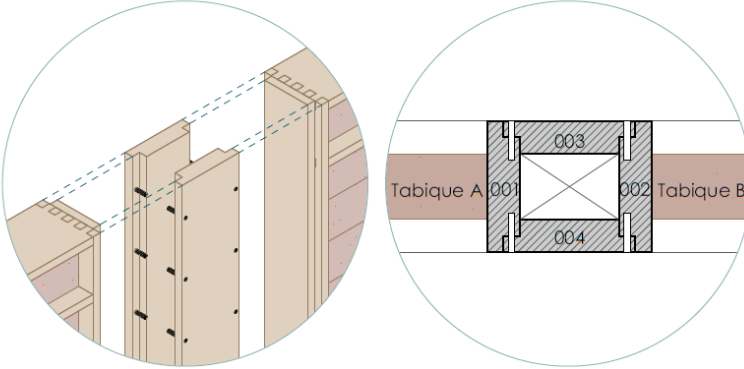
Dimensiones: 30cmx15cm e:10cm

- Tablón intermedio:

Dimensiones:

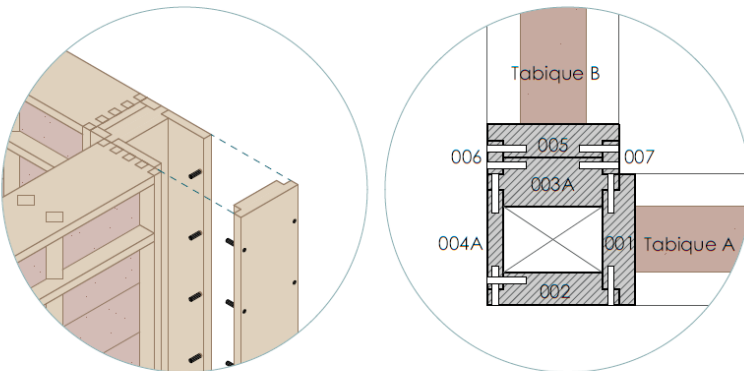
20cmx125cm e:2,5cm

200 CAPÍTULO 4 | PROTOTIPO 01 | UNIONES | ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN - ENCUENTRO EN ESQUINA



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tableros laterales y tableros superiores/inferiores para unión con techo.

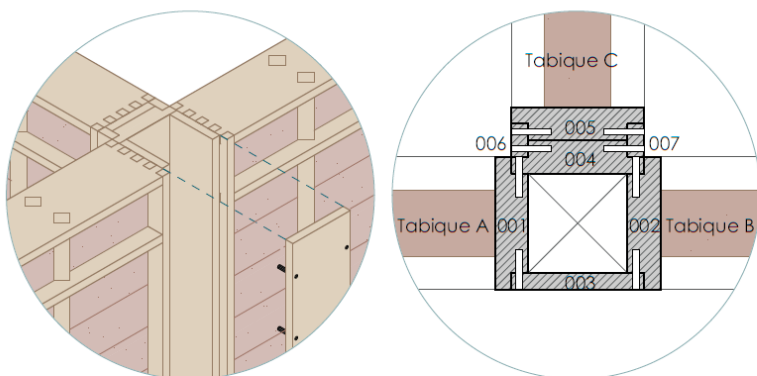


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tableros laterales y tableros superiores/inferiores para unión con techo.

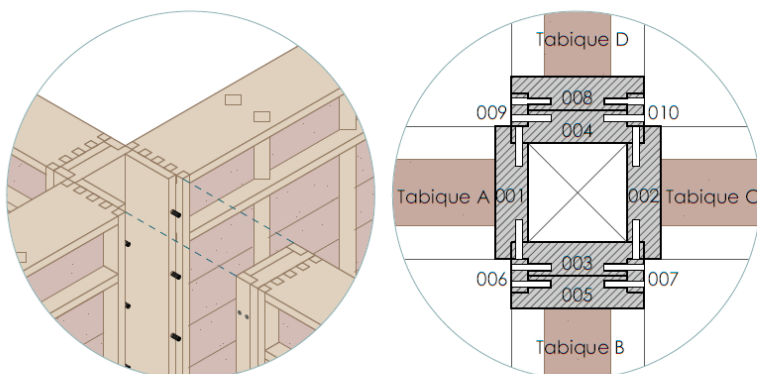
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

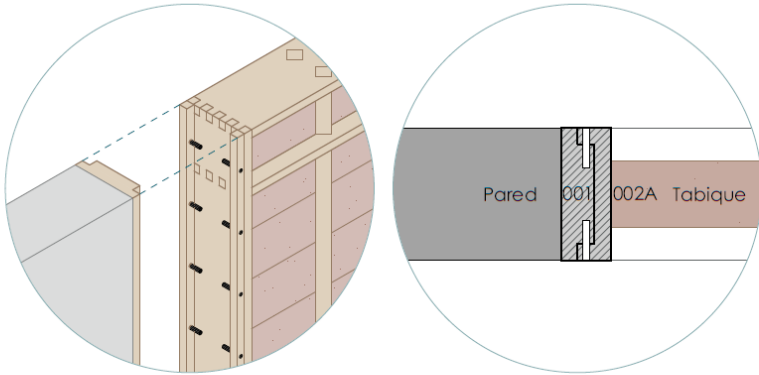


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

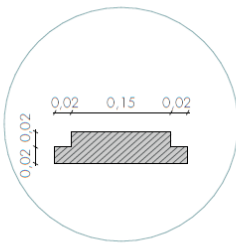


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUENTRO CON PARED

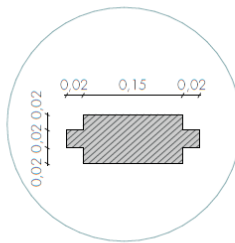
Encuentro de pared con 1 tabique compuesto por tabloncillos laterales para unión con pared y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

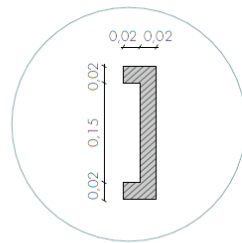
- Las piezas se colocan según el orden numérico de las mismas.



001 - 002 - 003 - 004 - 005 - 008



003A



002A

Especificaciones Técnicas

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

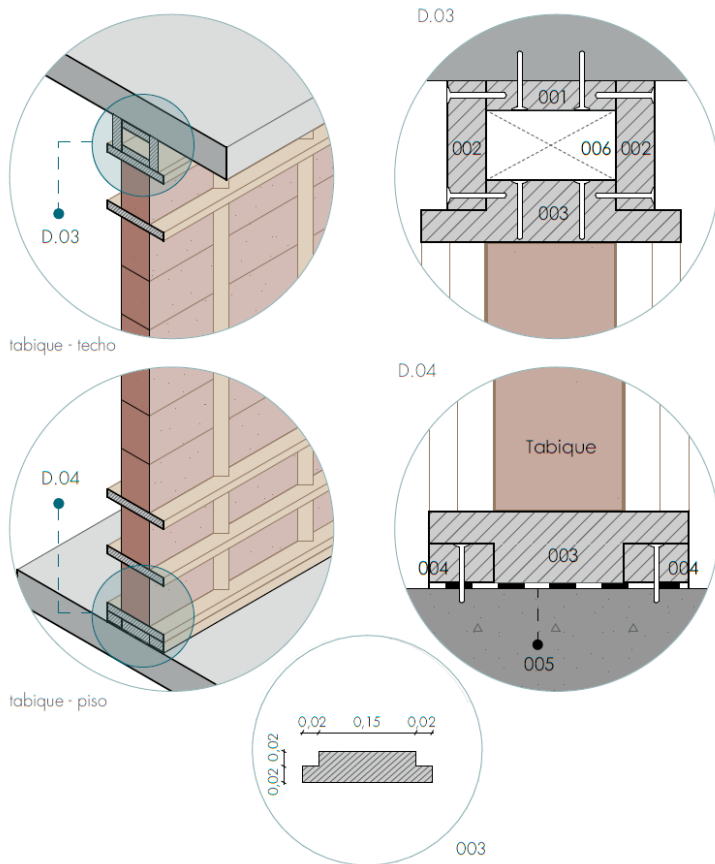
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

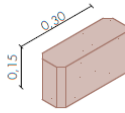
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

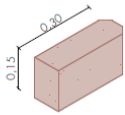
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

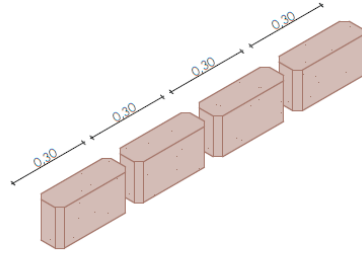
006 - Ducto de 100mmx54mm.



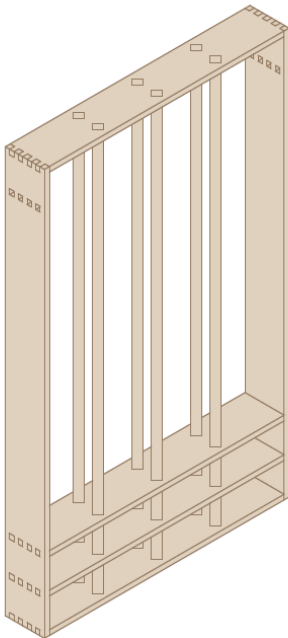
Bloque Tipo 1



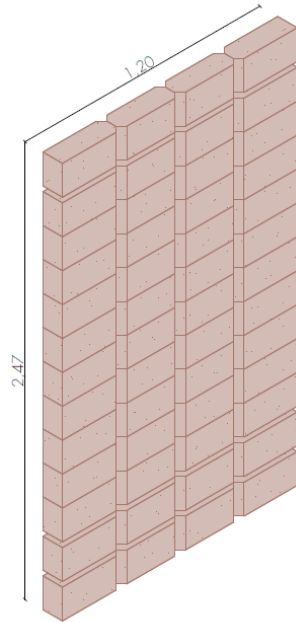
Bloque Tipo 2



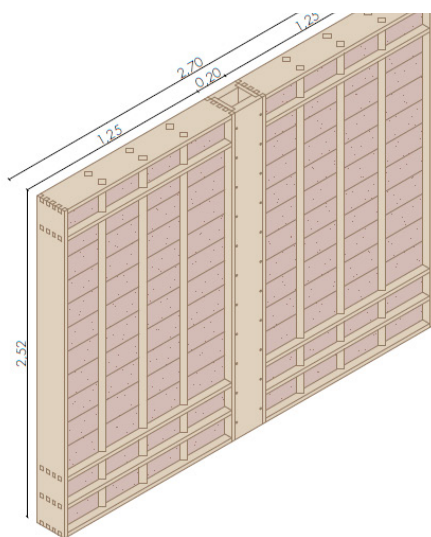
Módulo de bloques Tipo 1 y 2



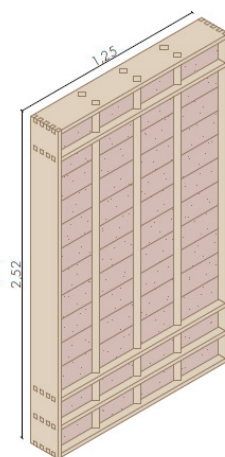
Amazona para muro de bloques



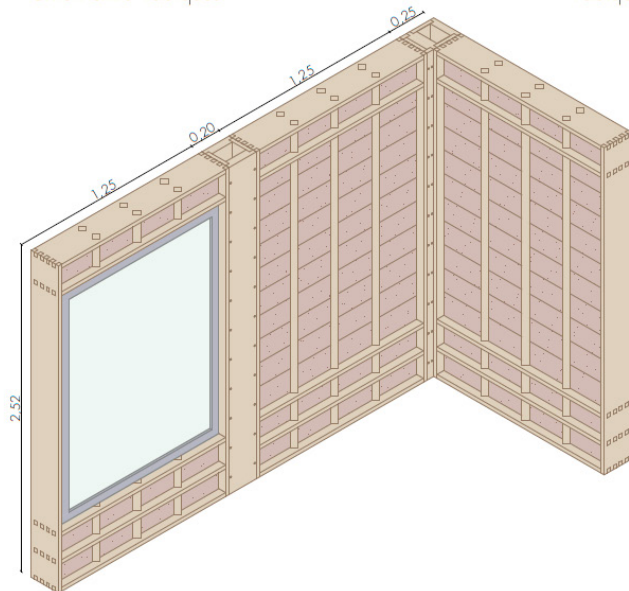
Muro de bloques



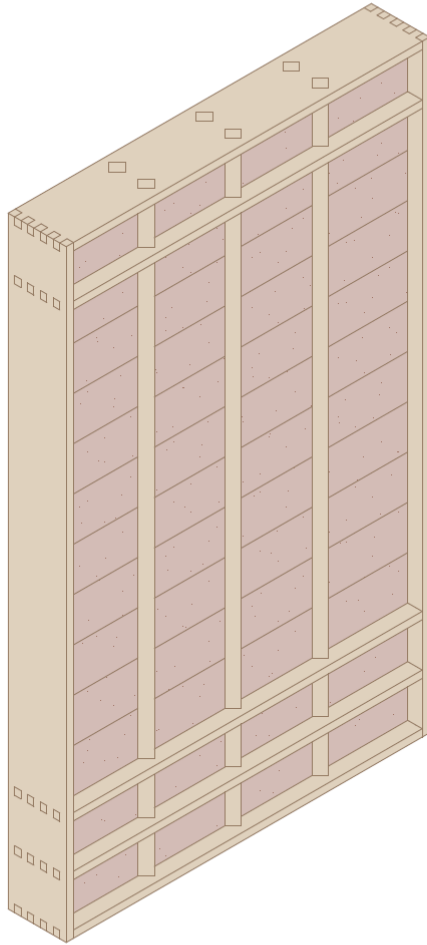
Unión entre Tabiques

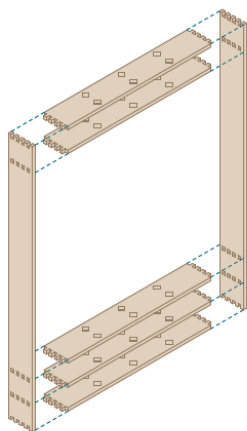


Tabique Individual

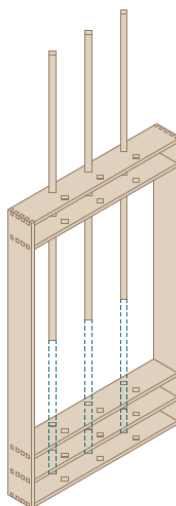


Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana

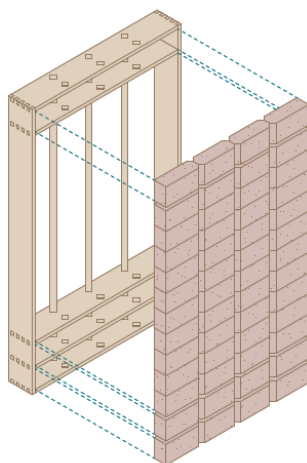




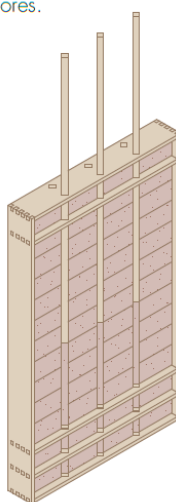
Paso 1
Tablones laterales e intermedios.



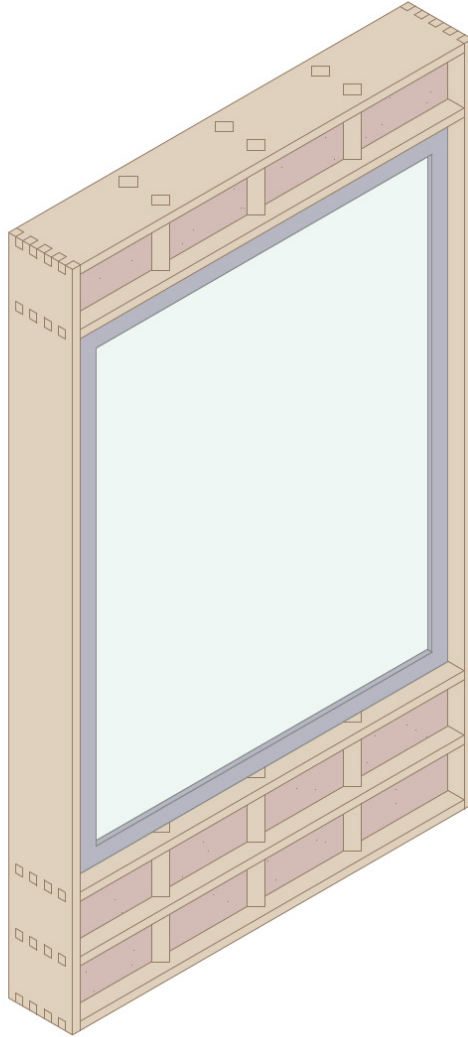
Paso 2
Listones posteriores.

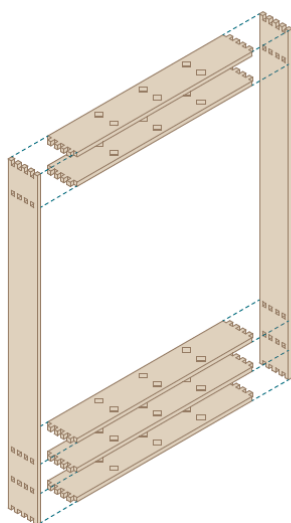


Paso 3
Sistema de trabado: tablones intermedios, listones posteriores y bloques.

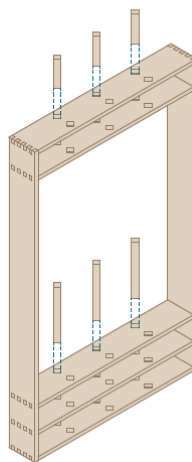


Paso 4
Sistema de trabado: listones frontales.

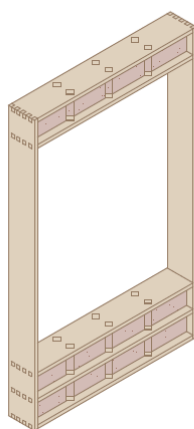




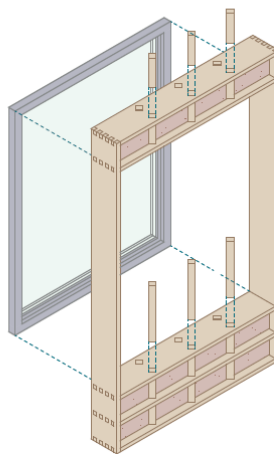
Paso 1
Tablones laterales e intermedios.



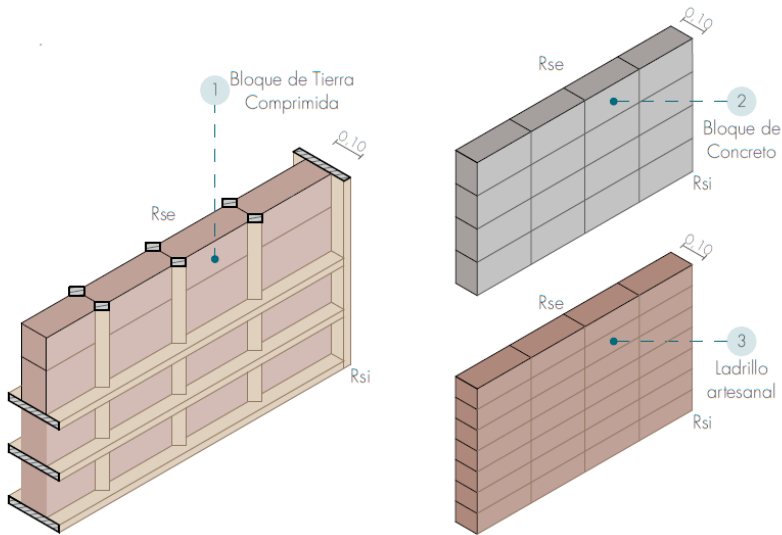
Paso 2
Listones posteriores.



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



Paso 4
Listones frontales y ventana dentro de la estructura del tabique.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \quad (W/m^2 \cdot K)$$

e = Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica (W/K * m)

Cálculo Transmitancia Térmica

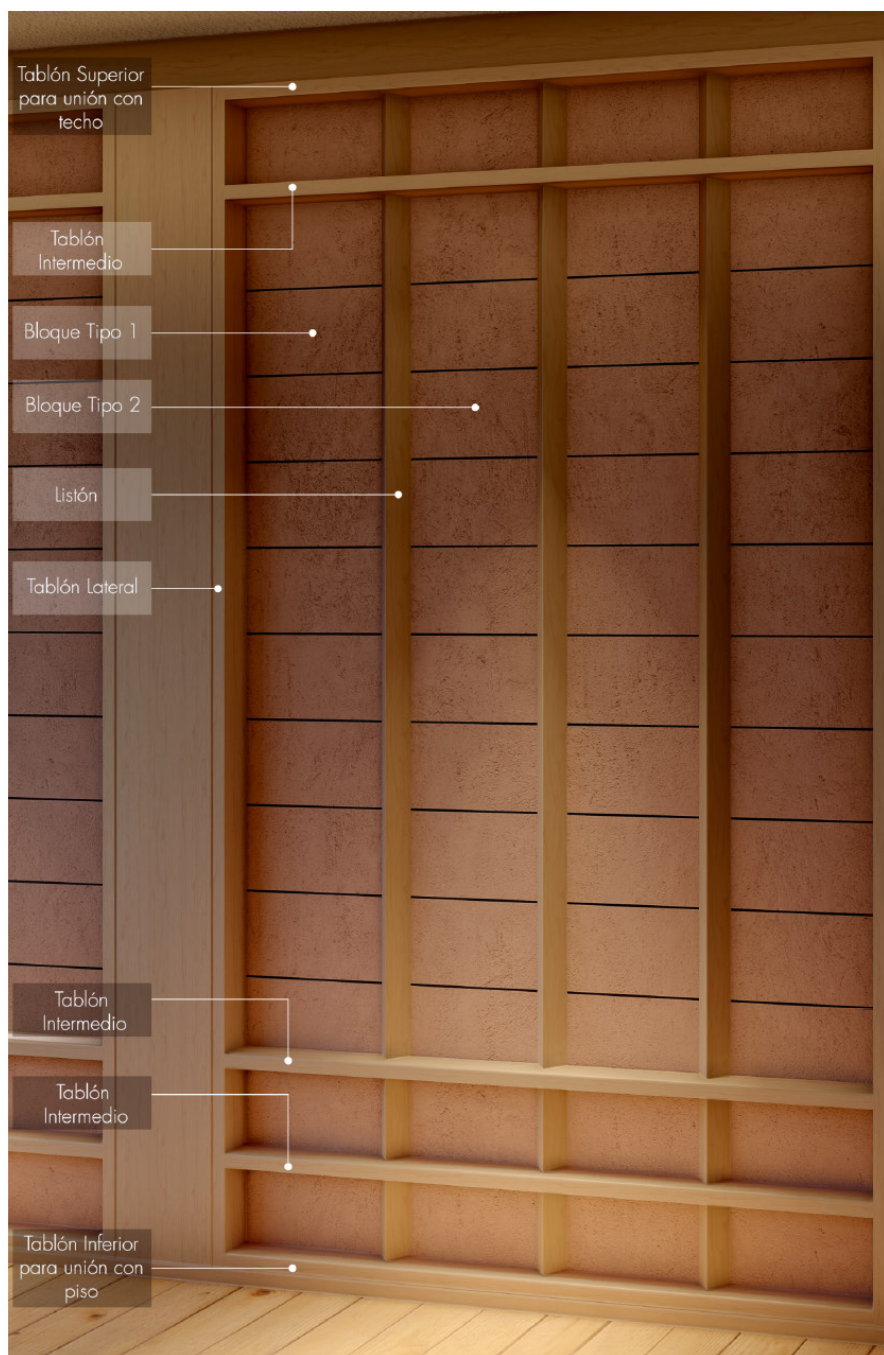
$$U = 1 / RT \quad (W/m^2 \cdot K)$$

RT = Transmitancia Térmica Total (m²*K/W)

RT = Resistencia térmica superficial interior (Rsi)
 + Resistencia térmica elemento 1 (R1)
 + Resistencia térmica elemento 2 (R2)
 + Resistencia térmica elemento 3 (R3) + RN
 + Resistencia térmica superficial exterior (Rse)

Material	Capa	e (m)	λ (W/K * m)	R (m ² *K/W)
Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	Rsi	—	—	0,13
	1	0,10	0,81	0,12
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,29
	U (W/m ² *K)			3,45
Bloque de Concreto	Rsi	—	—	0,13
	2	0,10	0,91	0,11
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,28
	U (W/m ² *K)			3,57
Ladrillo artesanal	Rsi	—	—	0,13
	3	0,10	1,04	0,10
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,26
	U (W/m ² *K)			3,85

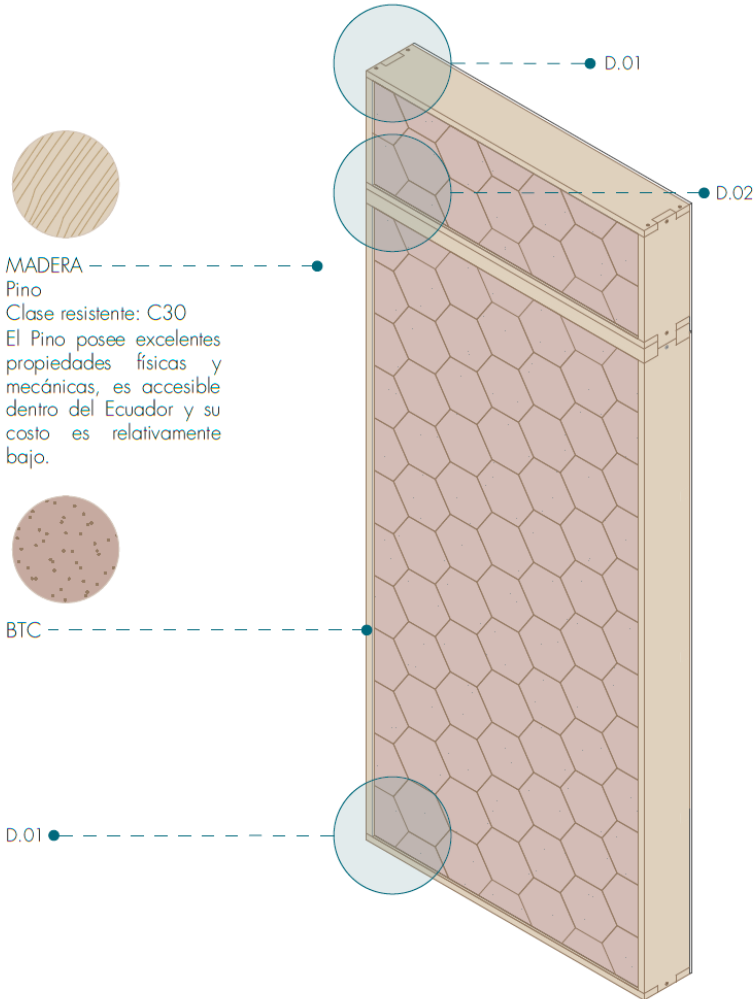
*El tabique de bloques de tierra comprimida (BTC) tiene un mejor comportamiento térmico que los tabiques de bloque de concreto y ladrillo artesanal.

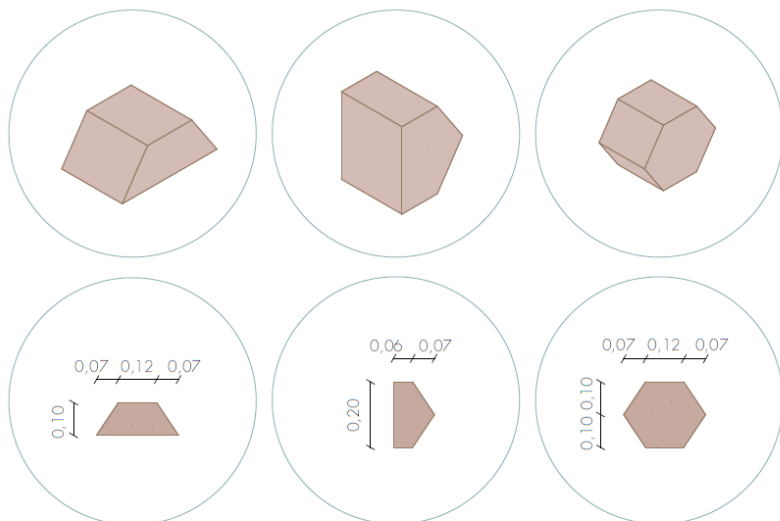






PROTOTIPO 02





MITAD DE BLOQUE
HEXAGONAL

Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 9 unidades

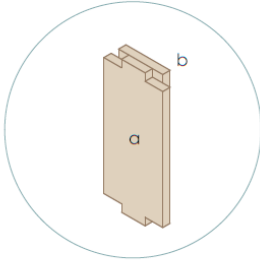
BLOQUE LATERAL

Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 28 unidades

BLOQUE HEXAGONAL

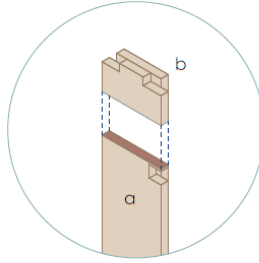
Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 64 unidades

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	Especificadas gráficamente 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



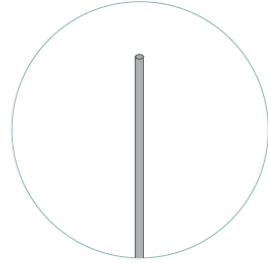
TABLÓN LATERAL SUPERIOR

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx45cm e:2,5cm
b. 15cmx45cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



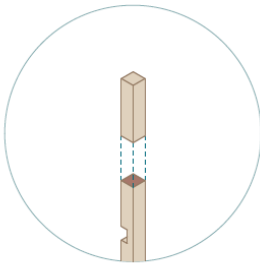
TABLÓN LATERAL INFERIOR CON DESTAJE

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx245cm e:2,5cm
b. 15cmx245cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



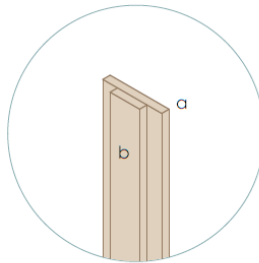
VARILLA METÁLICA

Material: Acero
Dimensiones:
Varilla Tipo 1
e:2cm | largo: 242cm
Cantidad: 3 unidades
Varilla Tipo 2
e:2cm | largo: 42cm
Cantidad: 3 unidades



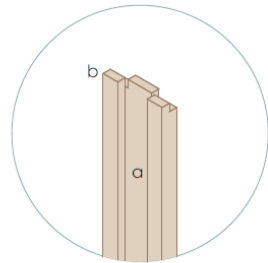
LISTÓN INFERIOR CON DESTAJE

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
4cmx4cmx240cm
Cantidad: 1 unidad



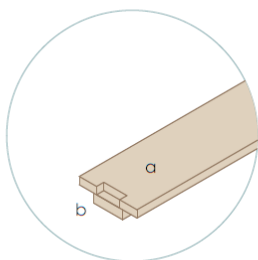
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx293cm e:2,5cm
b. 10cmx293cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



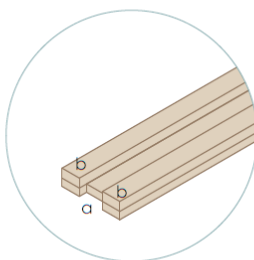
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino -
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. tablón lateral superior + inferior
b. 5cmx293cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



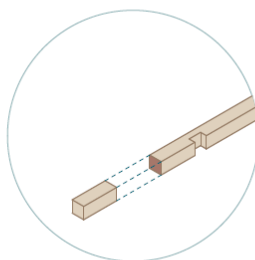
TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx122cm e:2,5cm
b. 10cmx122cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 1 unidades



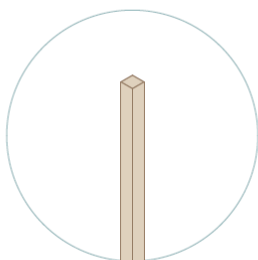
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx122cm e:2,5cm
b. 6cmx122cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 1 unidad



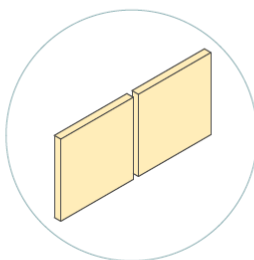
LISTÓN CON DESTAJE

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
4cmx4cmx122cm.
Cantidad: 3 unidades



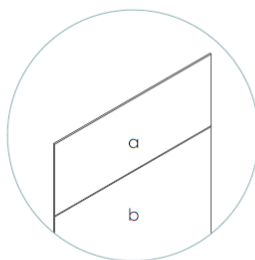
LISTÓN SUPERIOR

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
4cmx4cmx40cm
Cantidad: 1 unidad



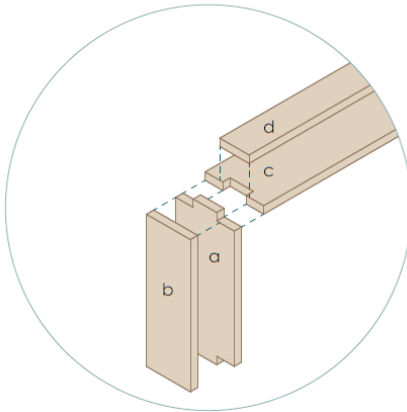
ASLANTE TÉRMICO

Material: Lana de Roca
Dimensiones: largo y ancho variable e:4cm
Cantidad: 10 unidades

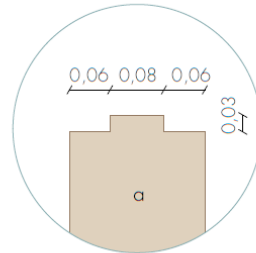


FIBROCEMENTO

Material: Fibrocemento
Dimensiones:
a. 122cmx48cm e:1cm
b. 122cmx244cm e:1cm
Fijación:
Tornillos.
Cantidad: 2 unidades



D.01

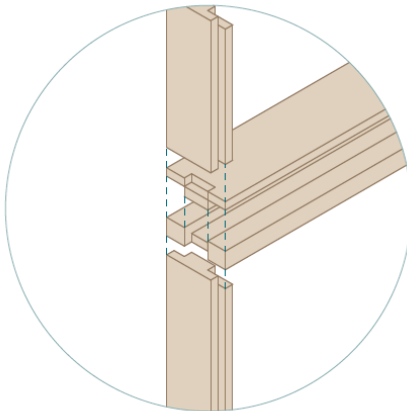


UNIÓN, ESQUINA DE TABIQUE, EN ESPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino

Dimensiones:

- a. 20cmx45cm e:2,5cm
- b. 15cmx45cm e:2,5cm
- c. 20cmx122cm e:2,5cm
- d. 10cmx122cm e:2,5cm



D.02

UNIÓN MÓDULO SUPERIOR E INFERIOR DEL TABIQUE

Materiales:

- Tablón Lateral Superior

Dimensiones:

- a. 20cmx45cm e:2,5cm
- b. 15cmx45cm e:2,5cm

- Tablón Lateral Inferior con destaje

Dimensiones:

- a. 20cmx245cm e:2,5cm
- b. 15cmx245cm e:2,5cm

- Tablón Intermedio

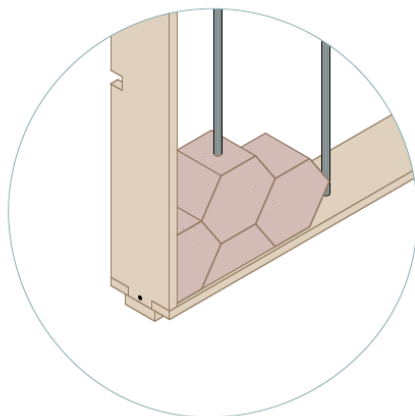
Dimensiones:

- a. 20cmx122cm e:2,5cm
- b. 6cmx122cm e:2,5cm

- Tablón Superior/Inferior

Dimensiones:

- a. 10cmx122cm e:2,5cm
- b. 20cmx122cm e:2,5cm



D.03

TRABADO: TABLÓN INFERIOR Y SUPERIOR CON BLOQUE Y VARILLA METÁLICA

Materiales:

- Varilla Tipo 1

Dimensiones:

e: 2cm | largo: 242cm

- Tablón lateral inferior con destaje

Dimensiones:

a. 20cmx245cm e: 2,5cm

b. 15cmx245cm e: 2,5cm

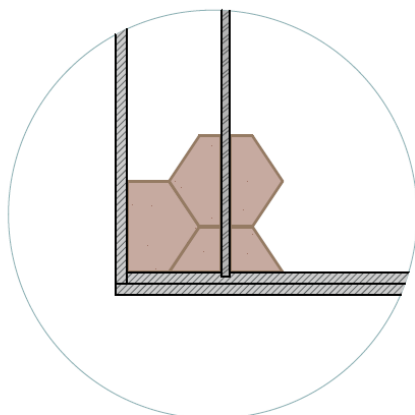
- Tablón inferior para unión con piso

Dimensiones:

a. 20cmx122cm e: 2,5cm

b. 10cmx122cm e: 2,5cm

- Bloques de Tierra Comprimida (BTC) hexagonales.



D.03

UNIÓN VARILLA METÁLICA CON TABLÓN INFERIOR

Materiales:

- Varilla Tipo 1

Dimensiones:

e: 2cm | largo: 242cm

- Tablón lateral inferior con destaje

Dimensiones:

a. 20cmx245cm e: 2,5cm

b. 15cmx245cm e: 2,5cm

- Tablón inferior para unión con piso

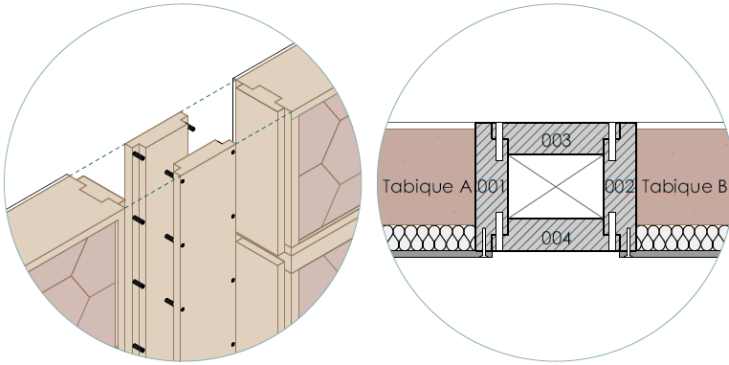
Dimensiones:

a. 20cmx122cm e: 2,5cm

b. 10cmx122cm e: 2,5cm

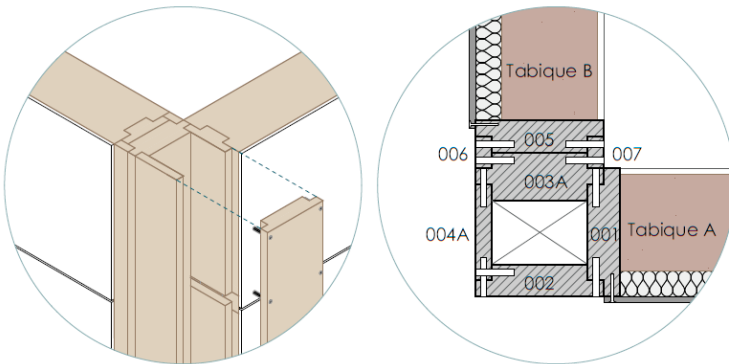
- Bloques de Tierra Comprimida (BTC) hexagonales.

220 CAPÍTULO 4 | PROTOTIPO 02 | UNIONES | ENCuentRO DE PROLONGACIÓN - ENCuentRO EN ESQUINA



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCuentRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

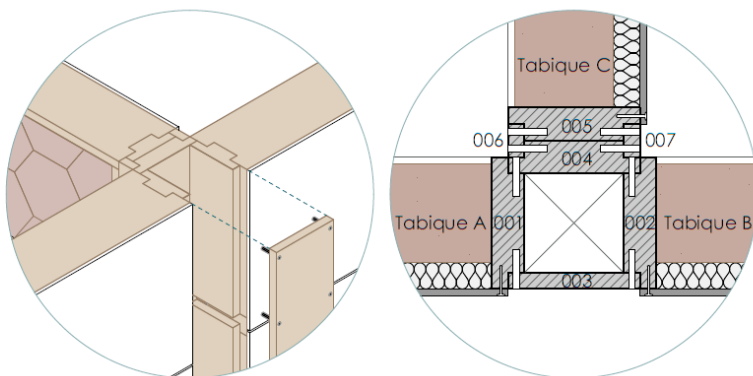


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCuentRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

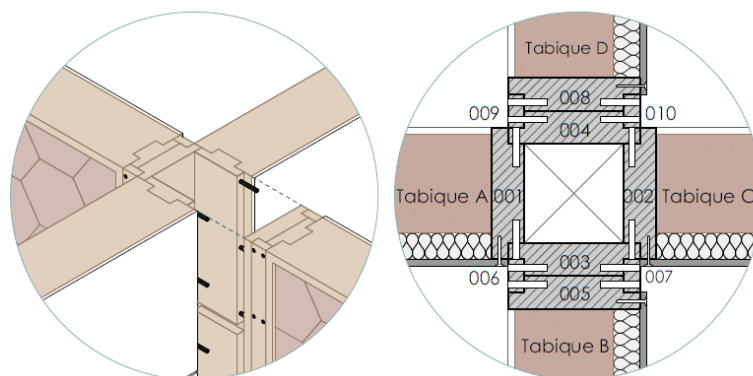
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

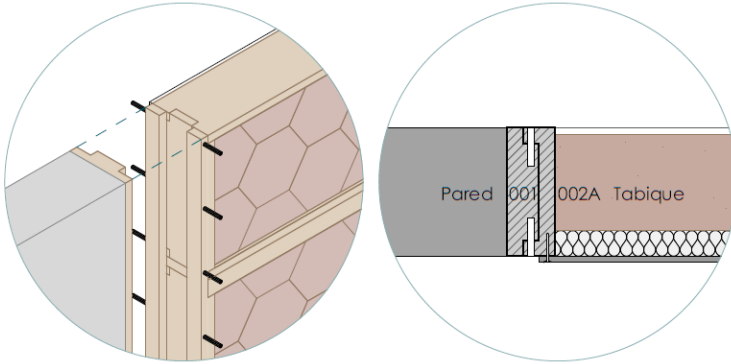


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

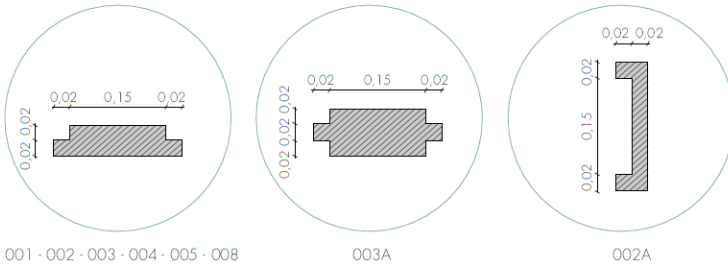


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUESTRO CON PARED

Encuentro de pared con 1 tabique 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.



001 - 002 - 003 - 004 - 005 - 008

003A

002A

Especificaciones Técnicas

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

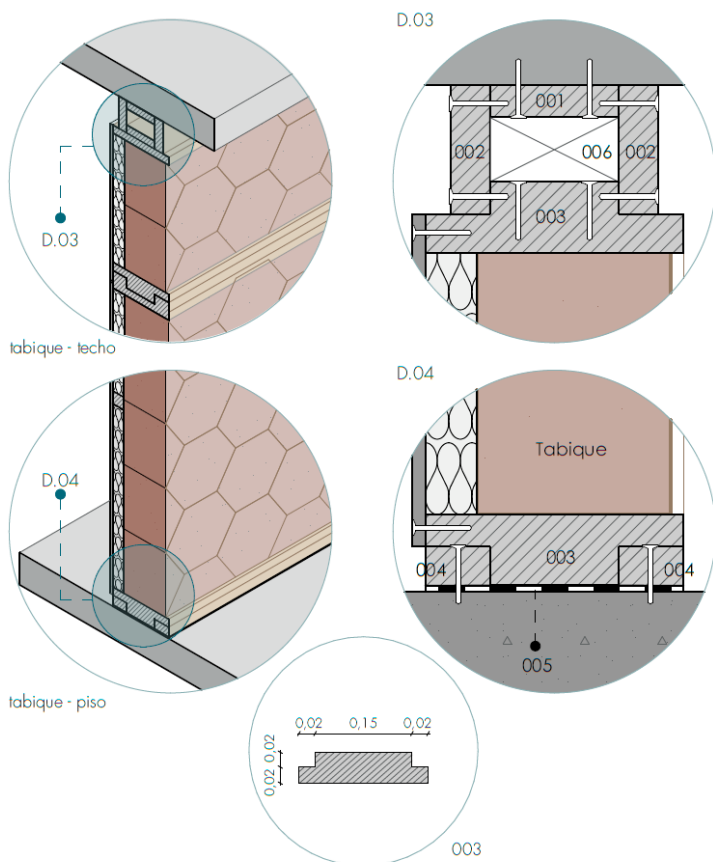
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

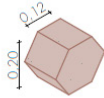
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

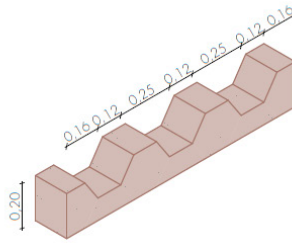
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

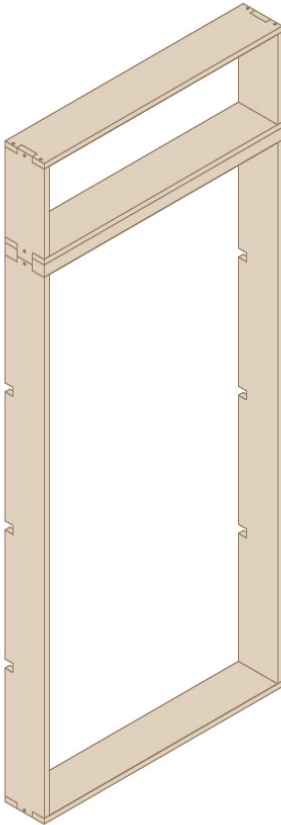
006 - Ducto de 100mmx54mm.



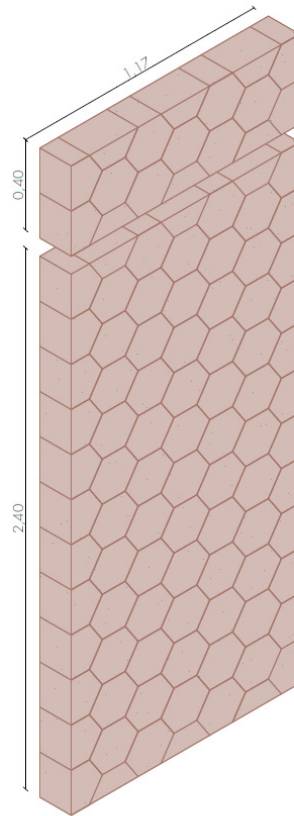
Bloque Tipo 3



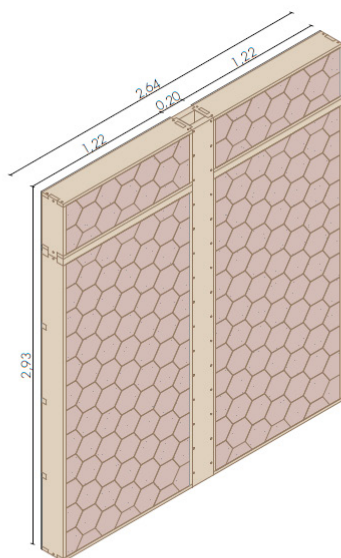
Módulo de bloques



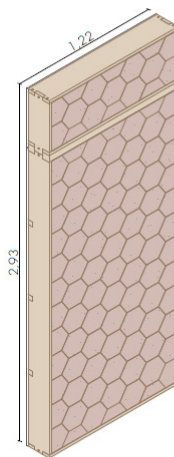
Armazón para muro de bloques



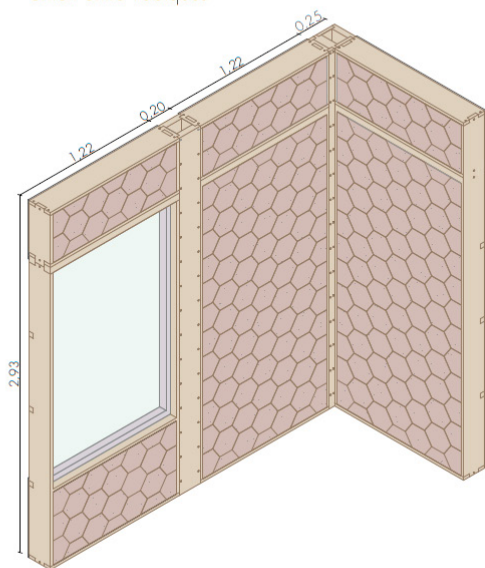
Muro de bloques



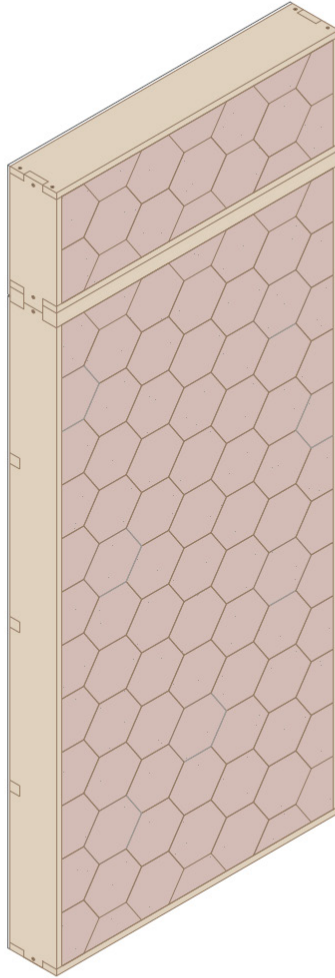
Unión entre Tabiques

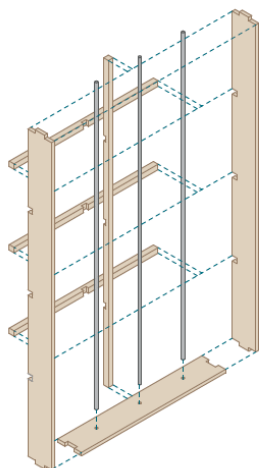


Tabique Individual

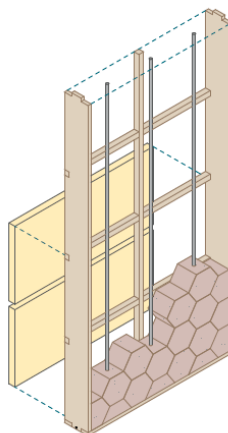


Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana

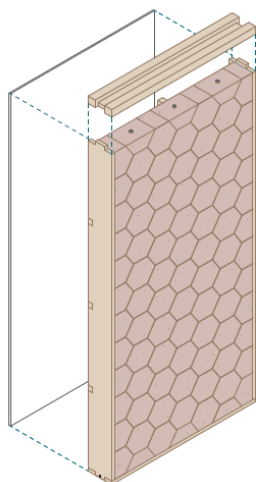




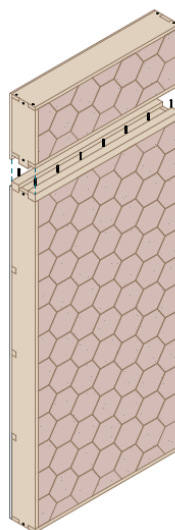
Paso 1
Tablones inferior y laterales, listones intermedios y refuerzos de acero.



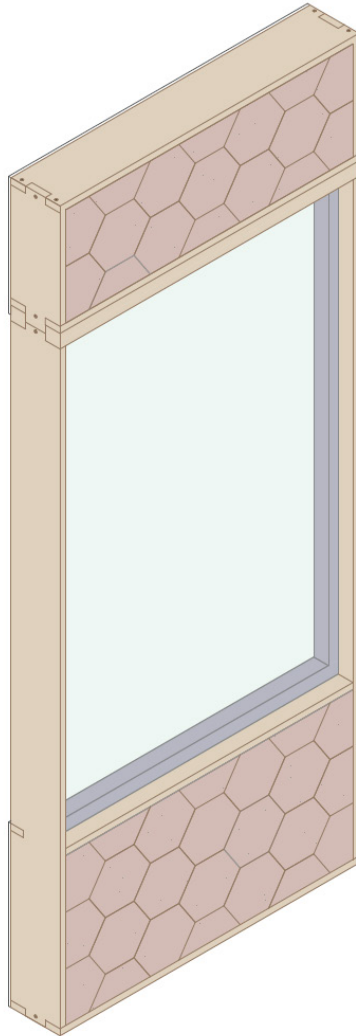
Paso 2
Instalación de bloques y aislante.

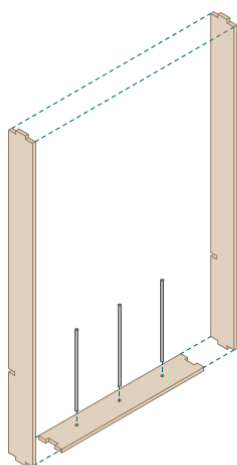


Paso 3
Instalación de tablón superior y panel de yeso cartón.

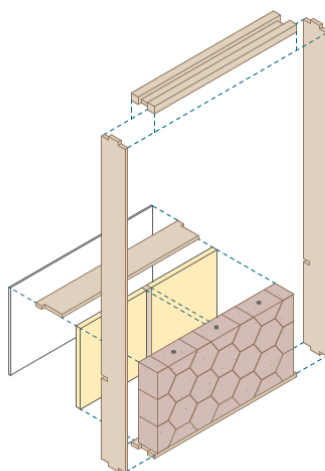


Paso 4
Instalación de tabique superior.

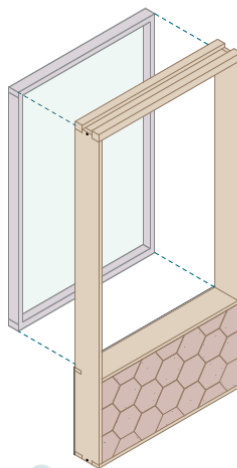




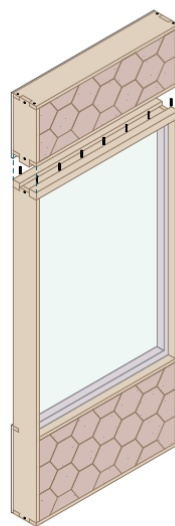
Paso 1
Tableros inferior y laterales y refuerzos de acero.



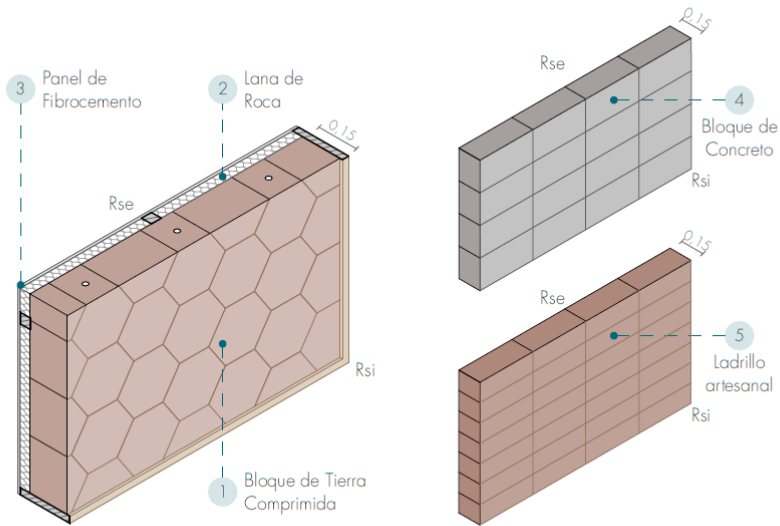
Paso 2
Bloques y listón inferiores, aislante, panel de yeso cartón y tableros intermedios y superior.



Paso 3
Ventana dentro de la estructura del tabique.



Paso 4
Instalación de tabique superior.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \quad (W/m^2 \cdot K)$$

e = Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica ($W/K \cdot m$)

Cálculo Transmittancia Térmica

$$U = 1 / RT \quad (W/m^2 \cdot K)$$

RT = Transmittancia Térmica Total ($m^2 \cdot K/W$)

RT = Resistencia térmica superficial interior (R_{si})
 + Resistencia térmica elemento 1 (R_1)
 + Resistencia térmica elemento 2 (R_2)
 + Resistencia térmica elemento 3 (R_3) + R_N
 + Resistencia térmica superficial exterior (R_{se})

Material	Capa	e (m)	λ ($W/K \cdot m$)	R ($m^2 \cdot K/W$)
Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	R_{si}	—	—	0,13
	1	0,15	0,81	0,19
	2	0,04	0,036	1,11
	3	0,01	0,93	0,01
	R_{se}	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			1,48
				U ($W/m^2 \cdot K$)
Bloque de Concreto	R_{si}	—	—	0,13
	4	0,10	0,91	0,11
	R_{se}	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			0,28
	U ($W/m^2 \cdot K$)			3,57
Ladrillo artesanal	R_{si}	—	—	0,13
	5	0,10	1,04	0,10
	R_{se}	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			0,26
	U ($W/m^2 \cdot K$)			3,85

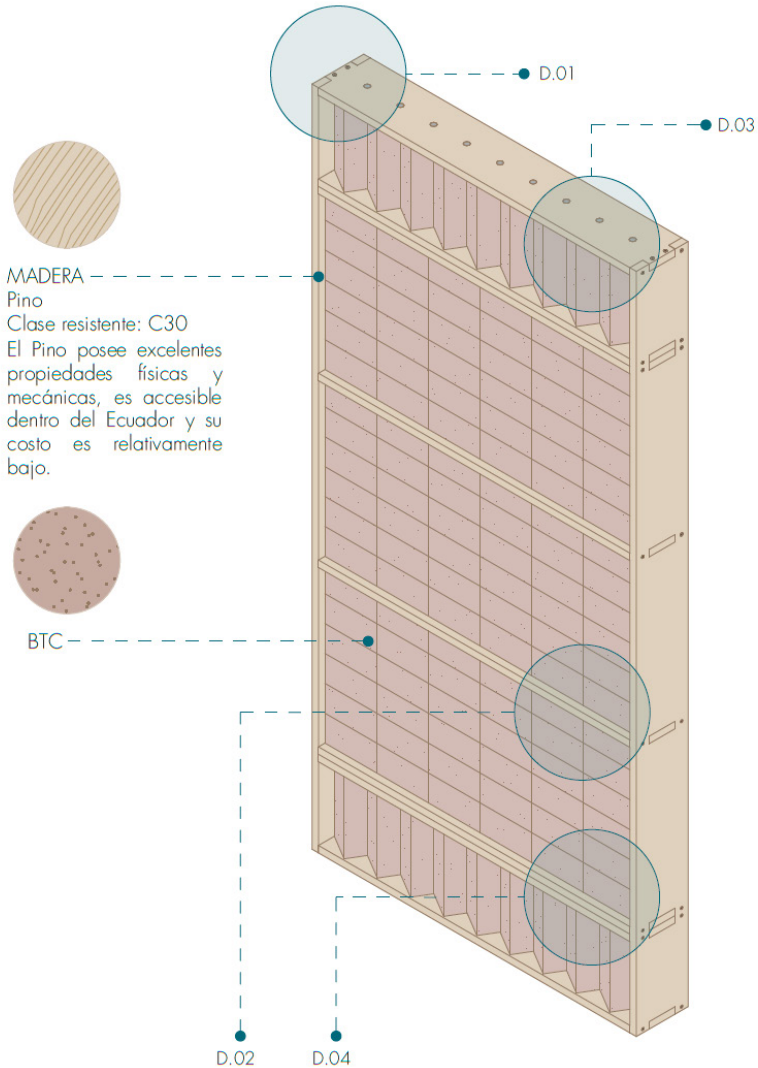
*El tabique de bloques de tierra comprimida (BTC) tiene un mejor comportamiento térmico que los tabiques de bloque de concreto y ladrillo artesanal.





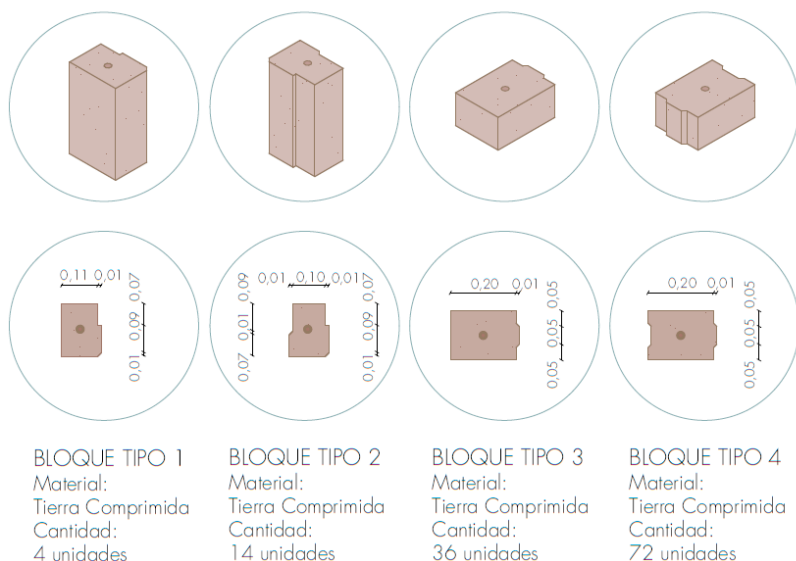


PROTOTIPO 03

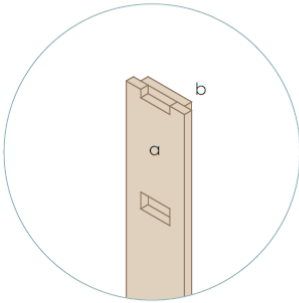


Autora: Cristina Ayora
Revisión: Juan Carlos Calderón

PANEL PROTOTIPO 03



BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	Bloque Tipo 1: 16cmx12cmx28cm Bloque Tipo 2: 16cmx12cmx28cm Bloque Tipo 3: 15cmx21cmx10cm Bloque Tipo 4: 15cmx21cmx10cm
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



TABLÓN LATERAL

Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

Dimensiones:

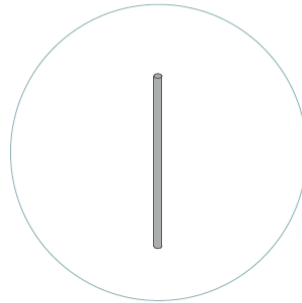
a. 20cmx256cm e:2,5cm

b. 15cmx256cm e:2,5cm

Fijación:

Tomillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



VARILLA

Material: Acero

Dimensiones:

Varilla Tipo 1

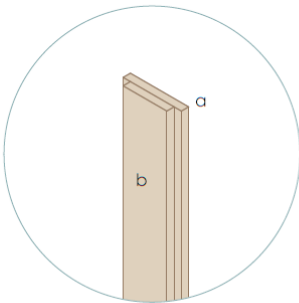
e:20mm | largo: 33cm

Cantidad: 18 unidades

Varilla Tipo 2

e:20mm | largo: 143cm

Cantidad: 6 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

Dimensiones:

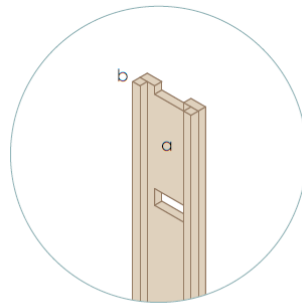
a. 20cmx256cm e:2,5cm

b. 15cmx256cm e:2,5cm

Fijación:

Tomillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

Dimensiones:

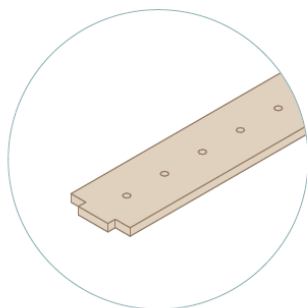
a. 20cmx256cm e:2,5cm

b. 2,5cmx2,5cmx256cm

Fijación:

Tomillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



TABLÓN INTERMEDIO TIPO 1

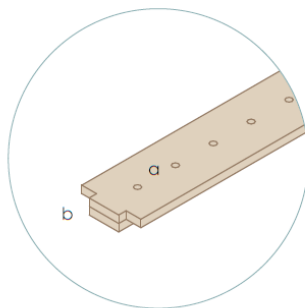
Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

Dimensiones:

20cmx125cm e:2,5cm

Cantidad: 2 unidades



TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

Dimensiones:

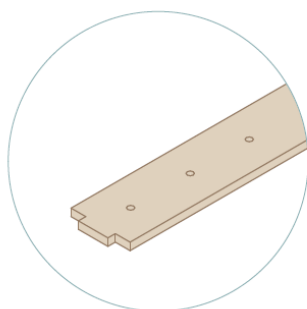
a. 20cmx125cm e:2,5cm

b. 10cmx125cm e:2,5cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



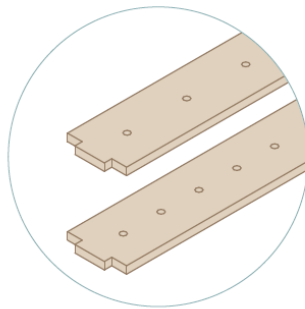
TABLÓN INTERMEDIO TIPO 2

Material: Madera de Pino

Clase resistente: C30

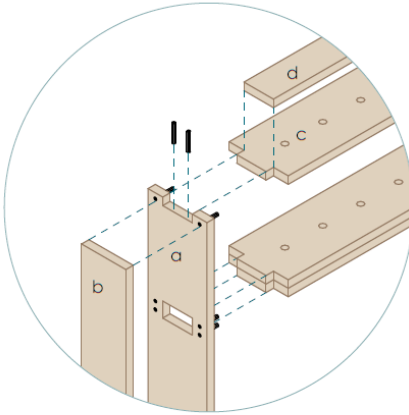
Dimensiones: 20cmx125cm e:2,5cm

Cantidad: 4 unidades

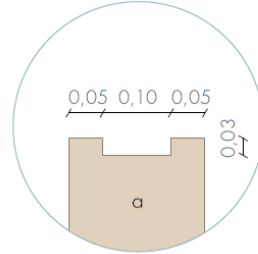


Observaciones:

- Los tableros superiores/inferiores y los tableros intermedios tipo 1 constan de 9 perforaciones circulares mientras los tableros intermedios tipo 2 constan de 6 perforaciones circulares.



D.01



UNIÓN, ESQUINA DE TABIQUE, EN EPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino

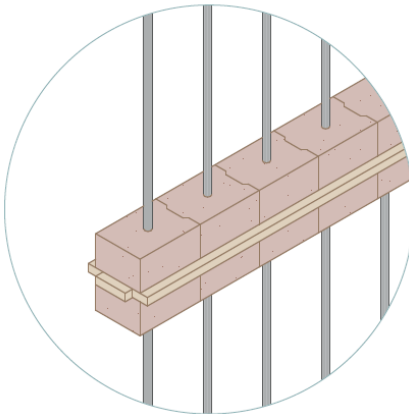
Dimensiones:

a. 20cmx256cm e:2,5cm

b. 15cmx256cm e:2,5cm

c. 20cmx125cm e:2,5cm

d. 10cmx125cm e:2,5cm



D.02

TRABADO: TABLÓN INTERMEDIO CON BLOQUES TIPO 3 - 4 Y VARILLAS TIPO 2

Materiales:

- Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

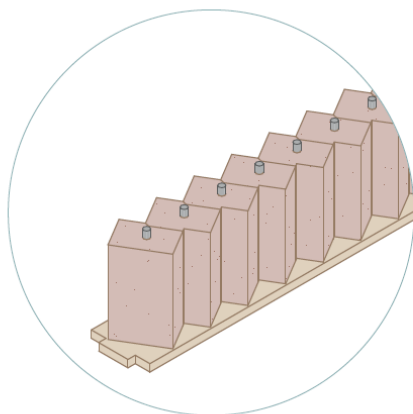
Dimensiones: 10cmx20cm e:15cm

- Tablón intermedio.

Dimensiones: 20cmx125cm e:2,5cm

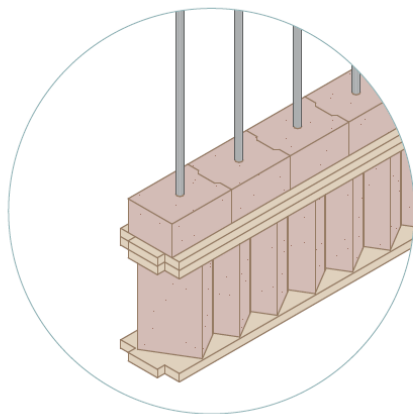
- Varilla Tipo 2.

Dimensiones: e:20mm|largo: 143cm



D.03

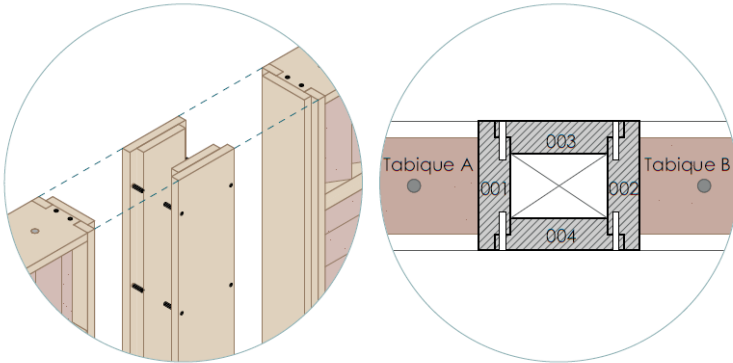
**TRABADO BLOQUES TIPO 1 - 2
CON TABLÓN SUPERIOR/
INFERIOR Y CON VARILLAS TIPO 1**
- Bloques de Tierra Comprimida (BTC).
Dimensiones: 16cmx28cm e:11cm
- Tablón superior/inferior:
20cmx125cm e:2,5cm
- Varilla Tipo 1
Dimensiones: e:20mm|Largo: 143cm



D.04

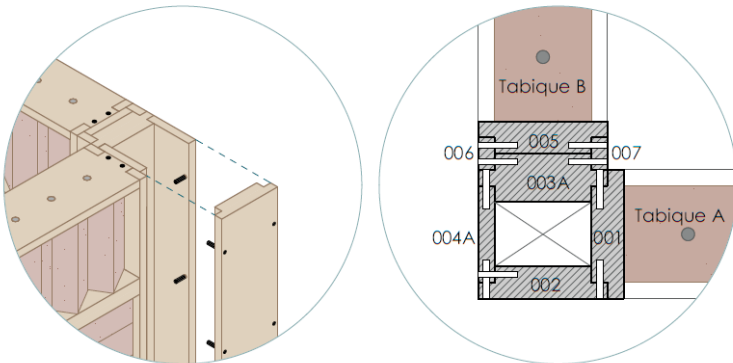
**TRABADO: TABLÓN INTERMEDIO,
TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR
CON BLOQUES TIPO 1-2-3-4 Y
VARILLAS TIPO 1-2**
Materiales:
- Bloques (BTC) Tipo 1-2.
Dimensiones: 10cmx20cm e:15cm
- Bloques (BTC) Tipo 3-4. Dimensiones:
16cmx28cm e:11cm
- Tablón superior/inferior/intermedio.
Dimensiones: 20cmx125cm e:2,5cm
- Tablón intermedio Tipo 1-2.
Dimensiones: 20cmx125cm e:2,5cm
- Varilla Tipo 1
Dimensiones: e:20mm|Largo: 33cm
- Varilla Tipo 2
Dimensiones: e:20mm|Largo: 143cm

240 CAPÍTULO 4 | PROTOTIPO 03 | UNIONES | ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN - ENCUENTRO EN ESQUINA



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

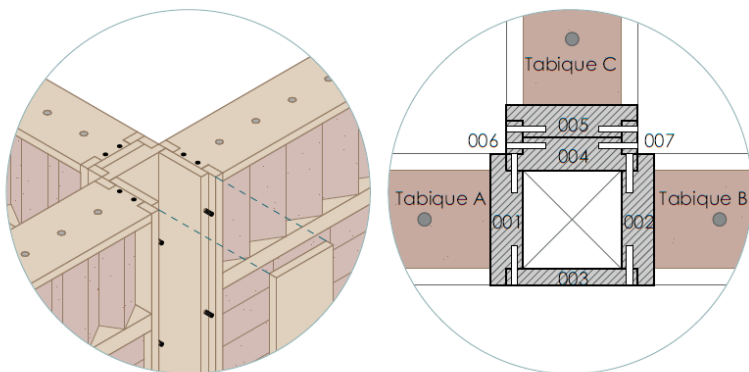


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

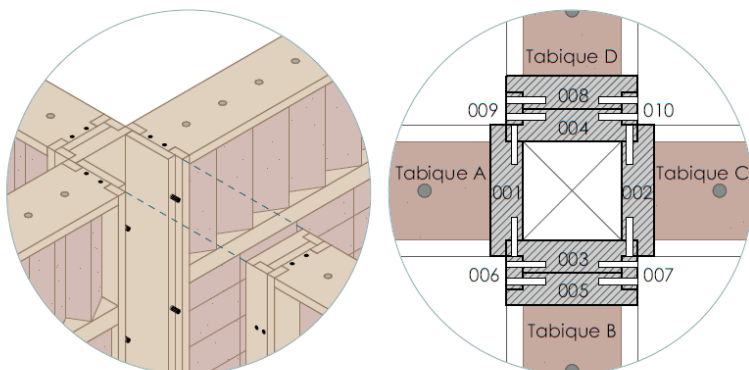
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

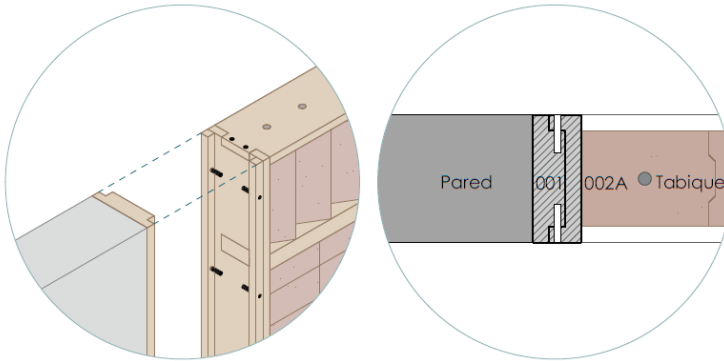


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

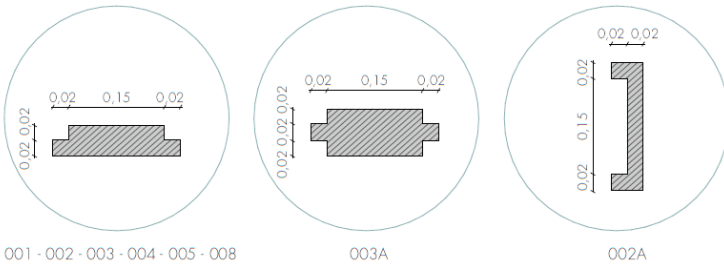


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUENTRO CON PARED

Encuentro de pared con 1 tabique compuesto por tabloncillos laterales para union 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.

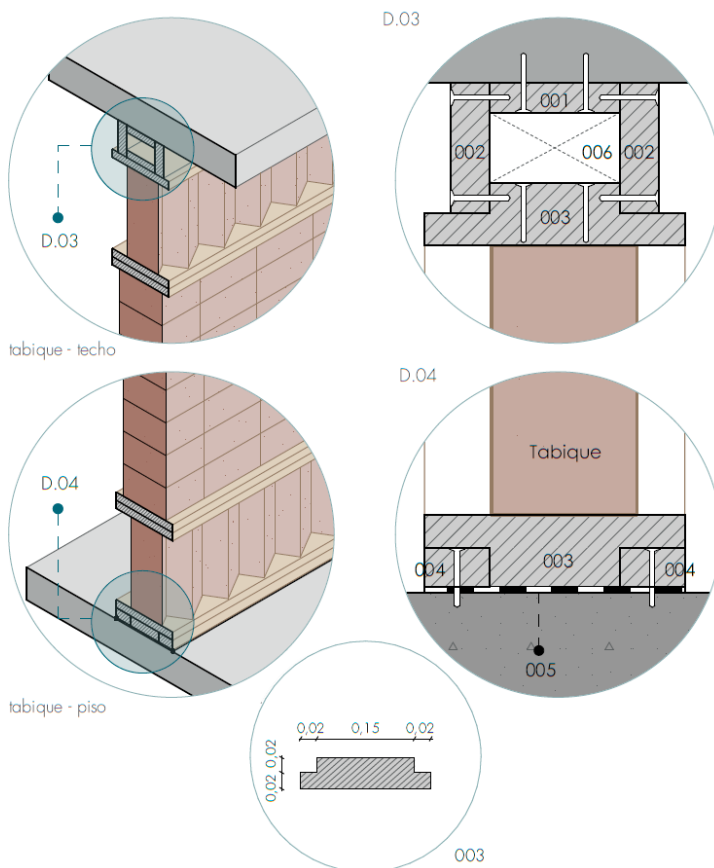
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

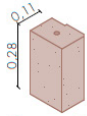
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

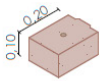
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

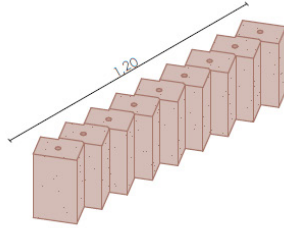
006 - Ducto de 100mmx54mm.



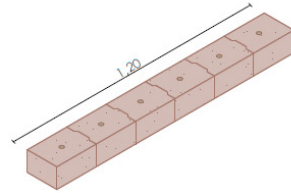
Bloque Tipo 1



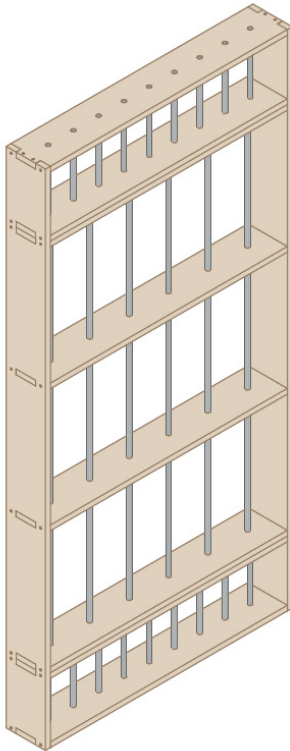
Bloque Tipo 3



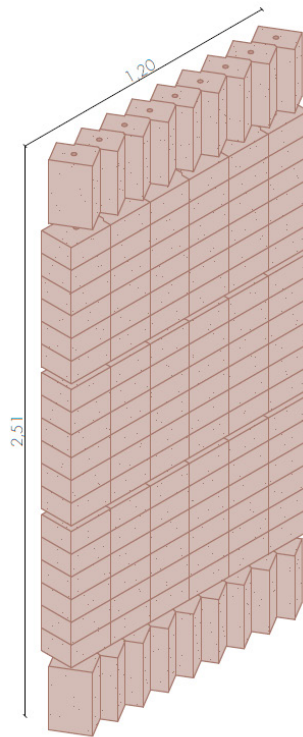
Módulo de bloques tipo 1-2



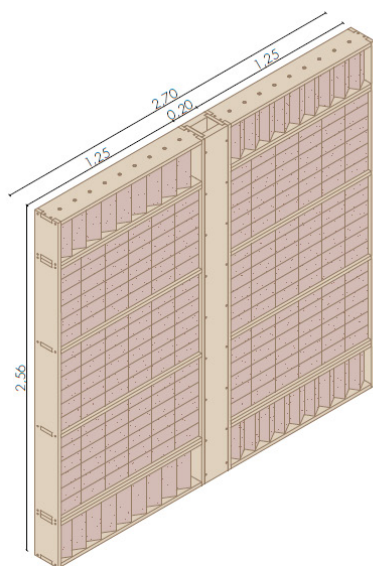
Módulo de bloques tipo 3-4



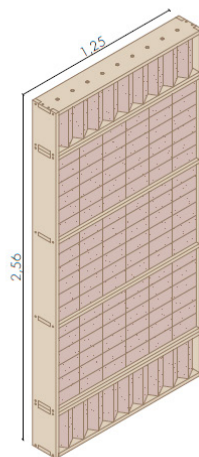
Armazón para muro de bloques



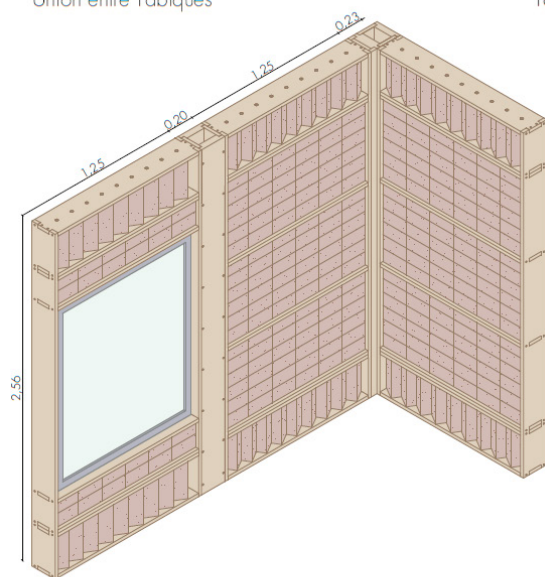
Muro de bloques



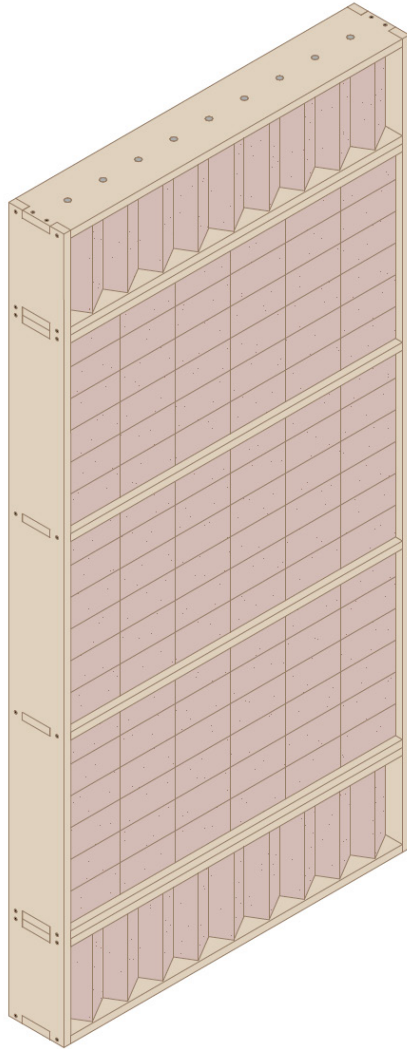
Unión entre Tabiques

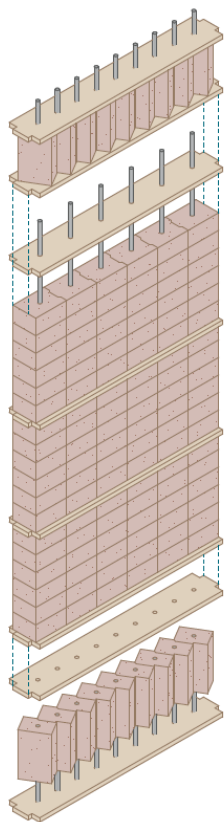


Tabique Individual



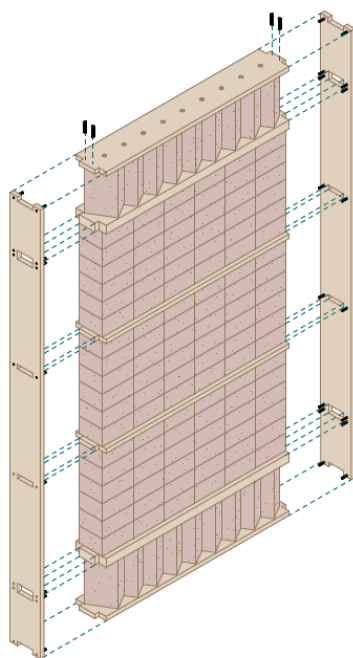
Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana





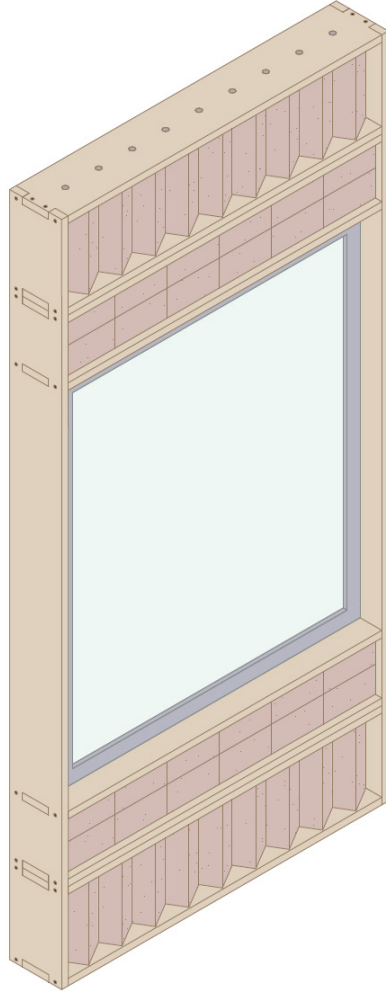
Paso 1

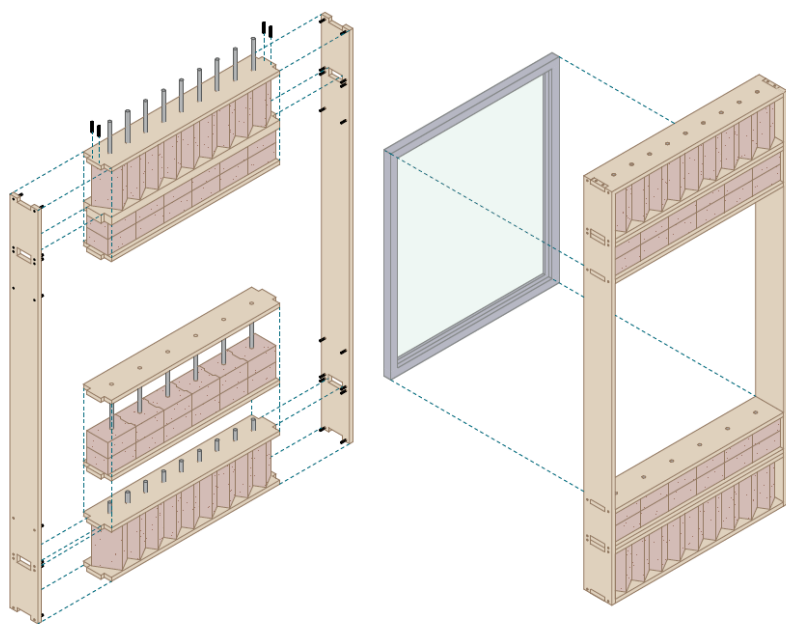
Tableros superiores/inferiores, tableros intermedios tipo 1-2, bloques tipo 1-2-3-4 y varillas tipo 1-2.



Paso 2

Tableros laterales y tarugos.



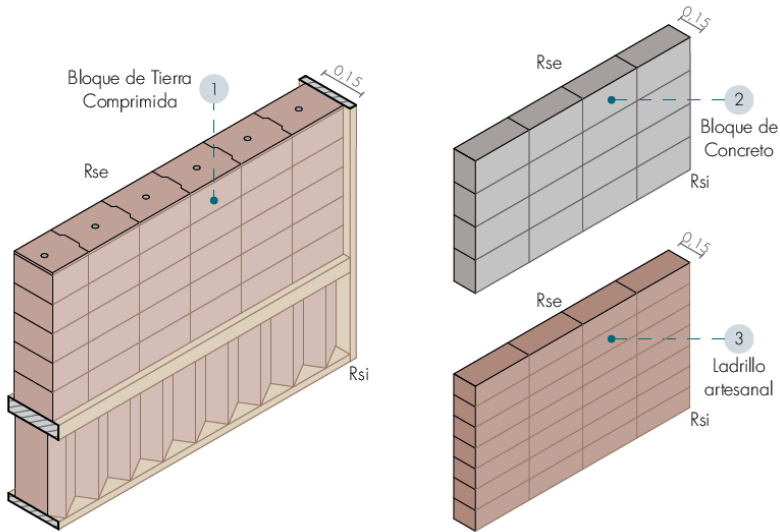


Paso 1

Tablones superiores/inferiores, tablones intermedios tipo 1-2, bloques tipo 1-2-3-4 y varillas tipo 1-2.

Paso 2

Ventana dentro de la estructura del tabique.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \text{ (W/m}^2\text{*k)}$$

e= Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica (W/K *m)

Cálculo Transmitancia Térmica

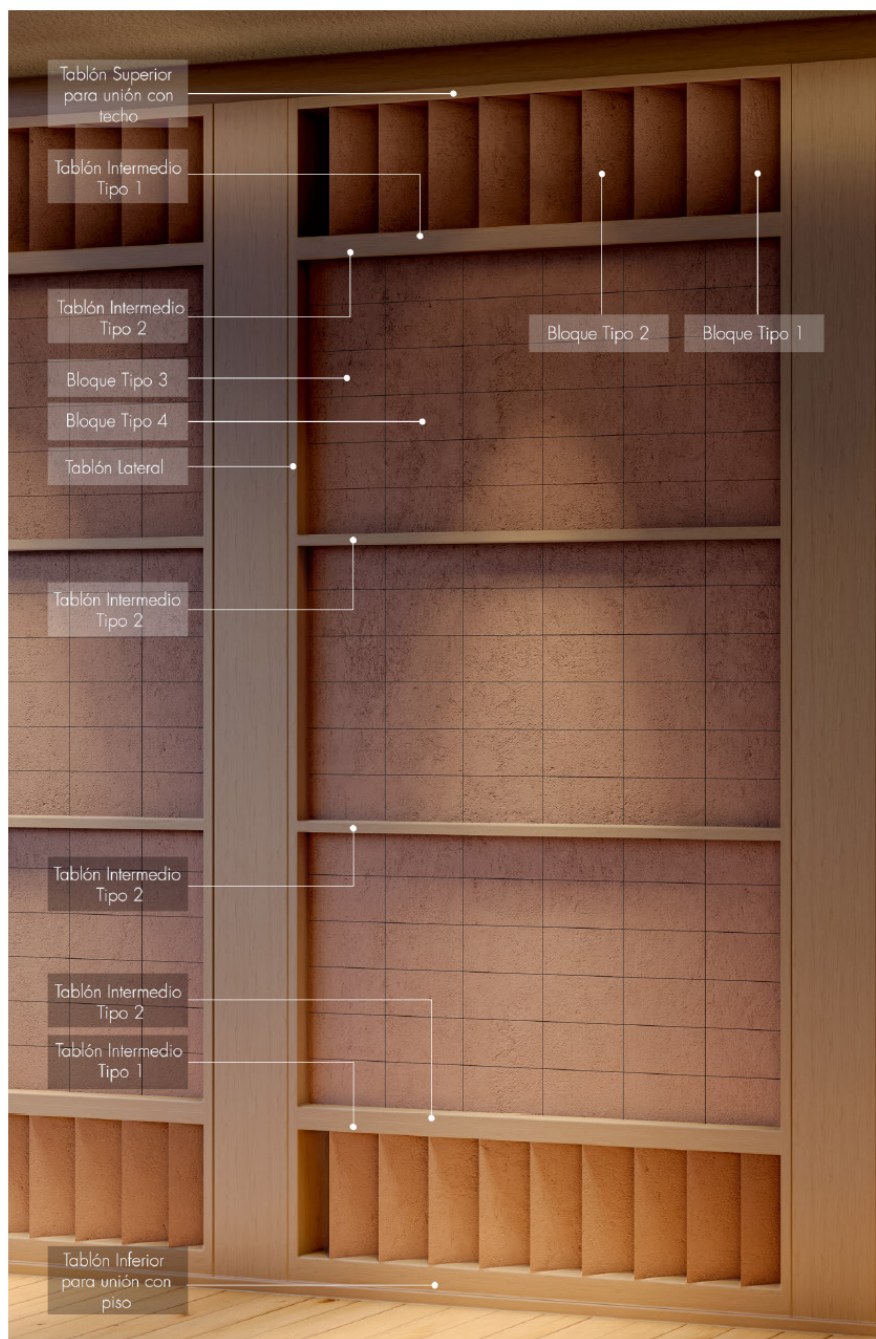
$$U = 1 / RT \text{ (W/m}^2\text{*k)}$$

RT=Transmitancia Térmica Total (m²*K/W)

RT= Resistencia térmica superficial interior (Rsi)
 +Resistencia térmica elemento 1(R1)
 +Resistencia térmica elemento 2(R2)
 +Resistencia térmica elemento 3(R3)+RN
 +Resistencia térmica superficial exterior (Rse)

Material	Capa	e (m)	λ (W/K *m)	R (m ² *K/W)
Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	Rsi	—	—	0,13
	1	0,15	0,81	0,19
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,36
	U (W/m ² *k)			2,78
Bloque de Concreto	Rsi	—	—	0,13
	2	0,15	0,91	0,16
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,33
	U (W/m ² *k)			3,03
Ladrillo artesanal	Rsi	—	—	0,13
	3	0,15	1,04	0,14
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,31
	U (W/m ² *k)			3,22

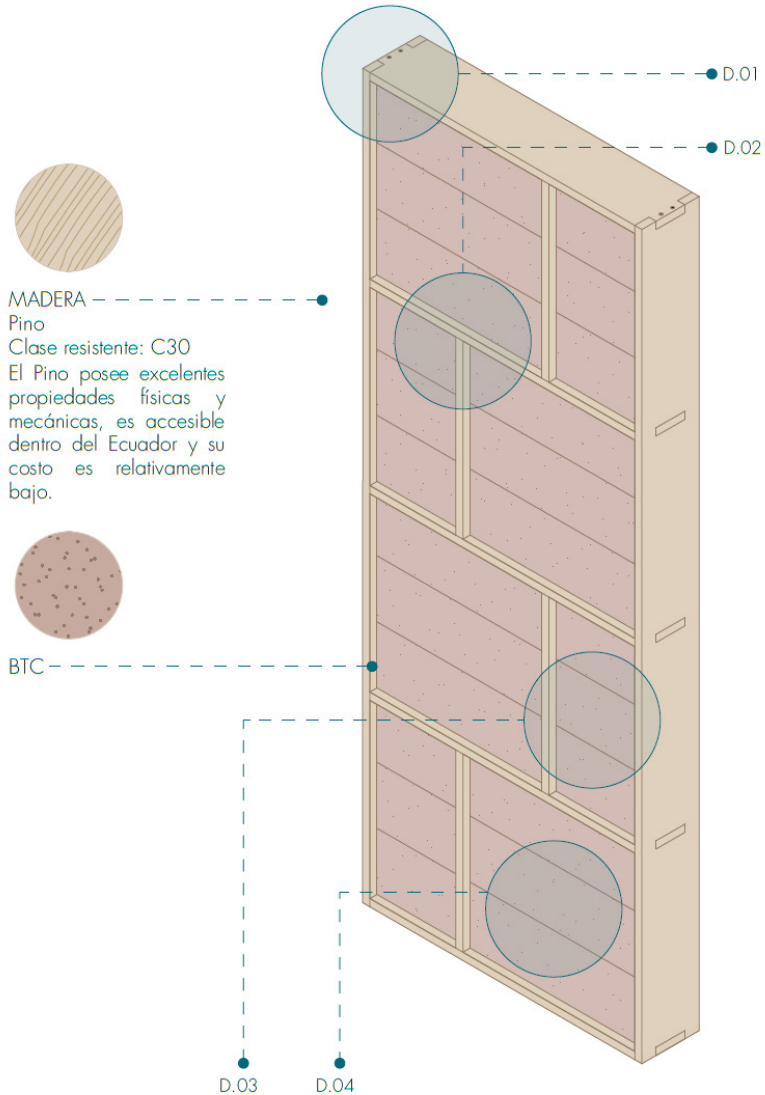
*El tabique de bloques de tierra comprimida (BTC) tiene un mejor comportamiento térmico que los tabiques de bloque de concreto y ladrillo artesanal.





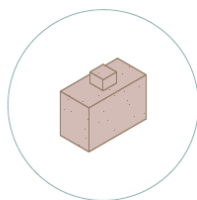


PROTOTIPO 04



Autoras: Natalia Mosquera - Ana Sofía Idrovo
Revisión: Juan Carlos Calderón

PANEL PROTOTIPO 04

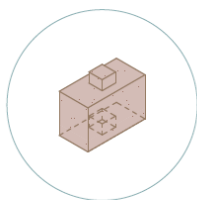


BLOQUE TIPO 1

Material:

Tierra Comprimida

Cantidad: 4 unidades

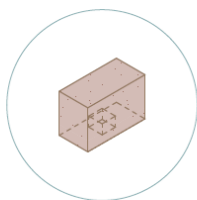


BLOQUE TIPO 2

Material:

Tierra Comprimida

Cantidad: 4 unidades

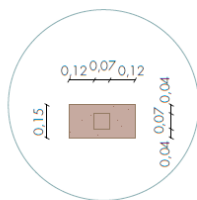


BLOQUE TIPO 3

Material:

Tierra Comprimida

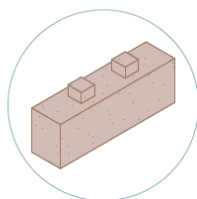
Cantidad: 4 unidades



BLOQUE TIPO 1

BLOQUE TIPO 2

BLOQUE TIPO 3

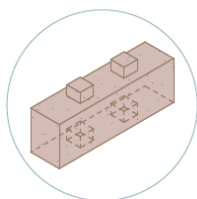


BLOQUE TIPO 4

Material:

Tierra Comprimida

Cantidad: 4 unidades

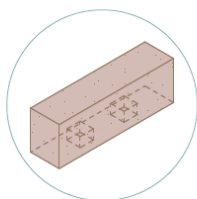


BLOQUE TIPO 5

Material:

Tierra Comprimida

Cantidad: 4 unidades

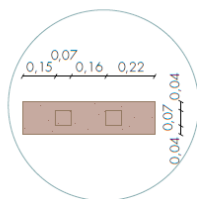


BLOQUE TIPO 6

Material:

Tierra Comprimida

Cantidad: 4 unidades

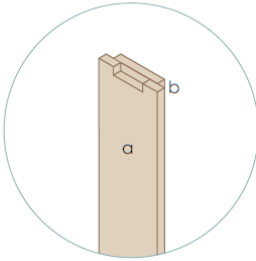


BLOQUE TIPO 4

BLOQUE TIPO 5

BLOQUE TIPO 6

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	Bloque Tipo 1: 15cmx30cmx20cm Bloque Tipo 2: 15cmx30cmx20cm Bloque Tipo 3: 15cmx30cmx20cm Bloque Tipo 4: 15cmx60cmx20cm Bloque Tipo 5: 15cmx60cmx20cm Bloque Tipo 6: 15cmx60cmx20cm
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
Coeficiente de conductividad térmica	0,81 W/m·K
Reacción al fuego	A 1
Índice global de reducción acústica. R _A	45 dBA



TABLÓN LATERAL

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

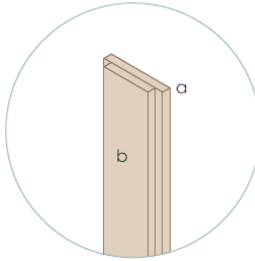
a. 20cmx253cm e:2,5cm

b. 15cmx253cm e:2,5cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

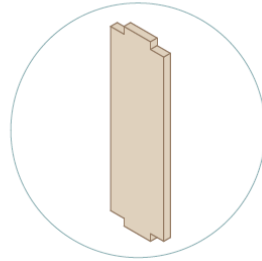
a. 20cmx253cm e:2,5cm

b. 15cmx253cm e:2,5cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



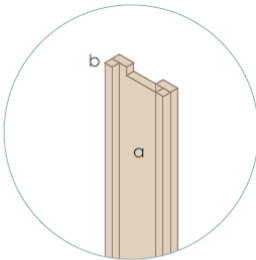
TABLÓN VERTICAL INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

20cmx65cm e:2,5cm

Cantidad: 4 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

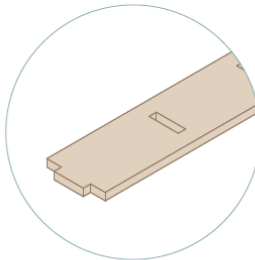
a. 20cmx253cm e:2,5cm

b. 2,5cmx2,5cmx253cm

Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



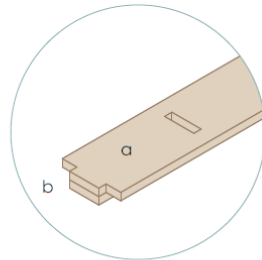
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

20cmx98cm e:2,5cm

Cantidad: 3 unidades



TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30

Dimensiones:

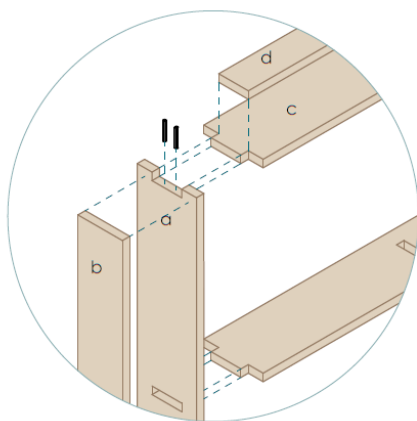
a. 20cmx98cm e:2,5cm

b. 10cmx98cm e:2,5cm

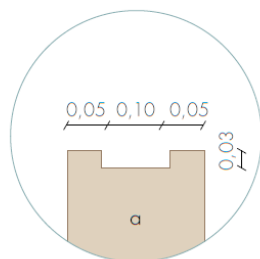
Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.

Cantidad: 2 unidades



D.01



UNIÓN, ESQUINA DE PANEL, EN ESPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino
-Tablones intermedios horizontales

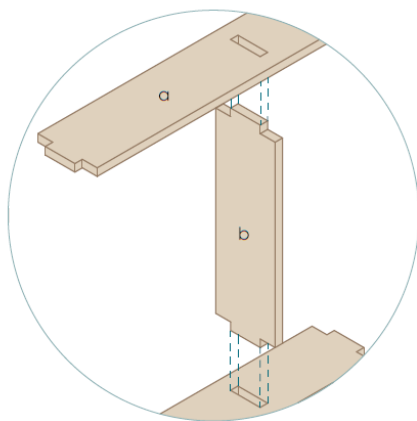
Dimensiones:

a. 20cmx253cm e:2,5cm

b. 15cmx253cm e:2,5cm

c. 20cmx98cm e:2,5cm

d. 10cmx98cm e:2,5cm



D.02

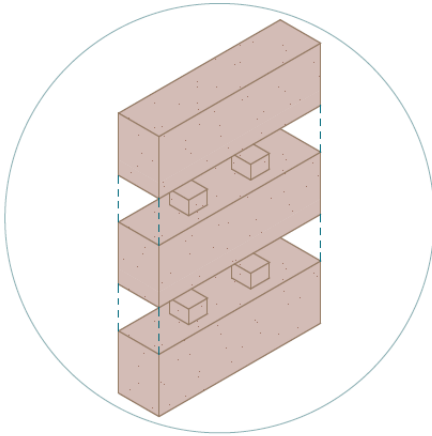
UNIÓN TABLONES INTERMEDIOS VERTICALES

Material: Tablones de madera de Pino

Dimensiones:

a. 20cmx98cm e:2,5cm

b. 20cmx60cm e:2,5cm



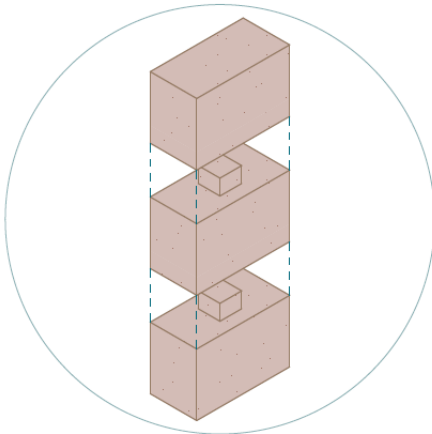
TRABADO BLOQUES

TIPO 1 - 2 - 3

- Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

Dimensiones:
30cmx15cm e:20cm

D.03



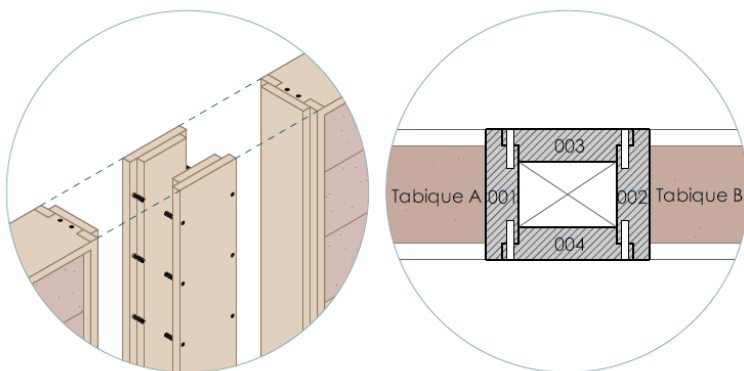
TRABADO BLOQUES

TIPO 4 - 5 - 6

- Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

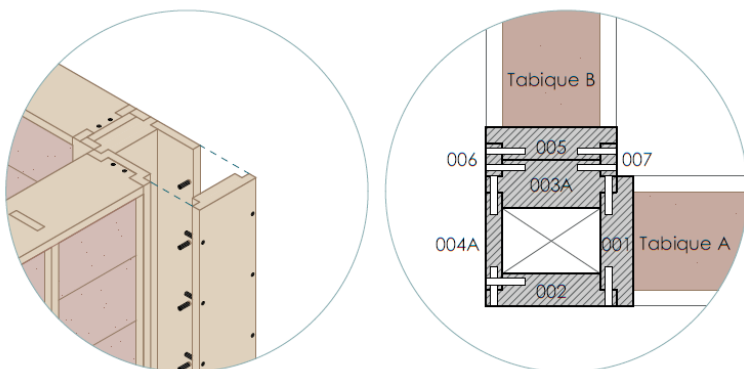
Dimensiones:
60cmx15cm e:20cm

D.04



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

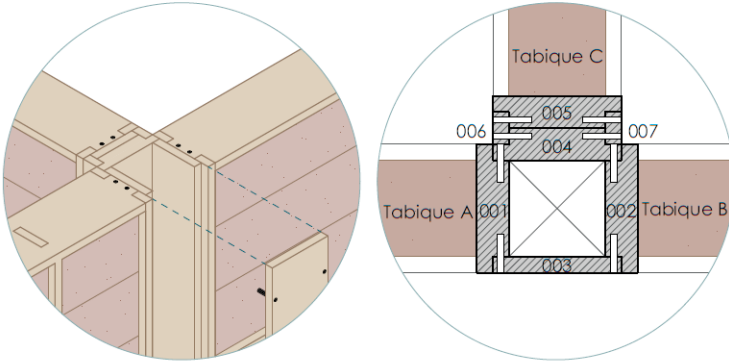


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

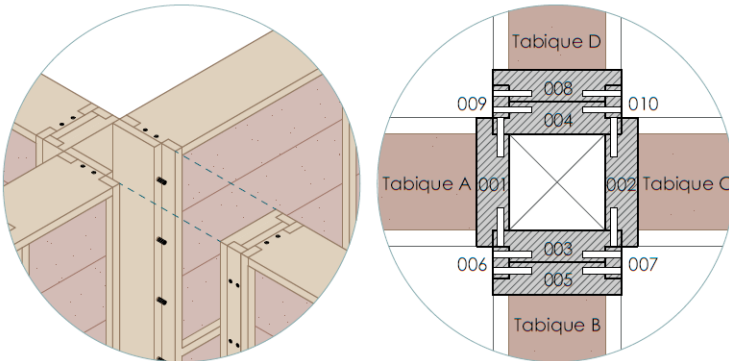
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

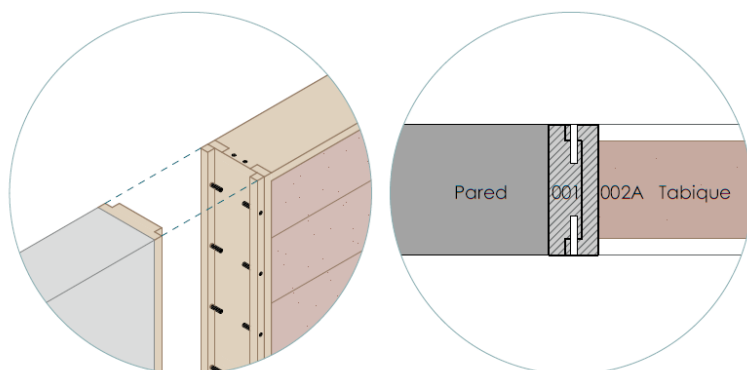


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

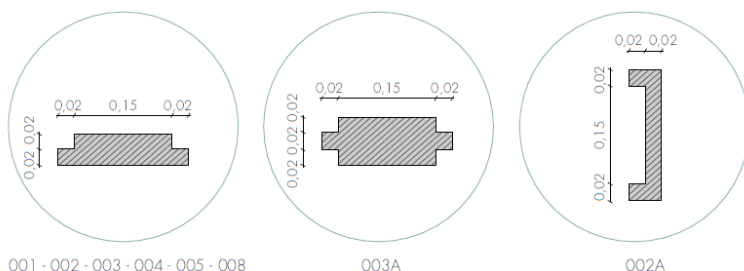


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUENTRO CON PARED

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

Observaciones:

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



001 - 002 - 003 - 004 - 005 - 008

003A

002A

Especificaciones Técnicas

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

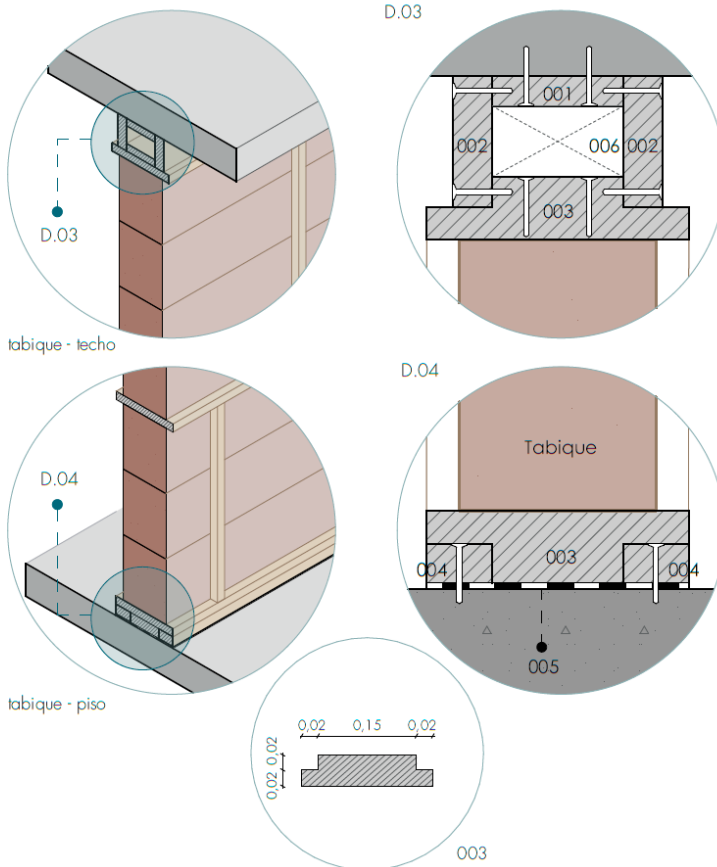
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

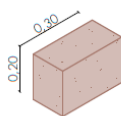
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

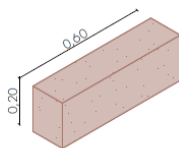
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

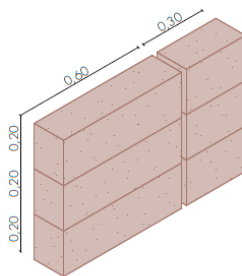
006 - Ducto de 100mmx54mm.



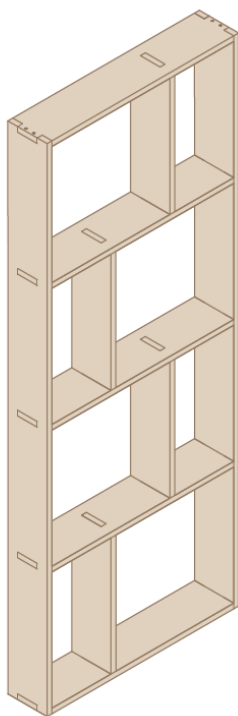
Bloque Tipo 1-2-3



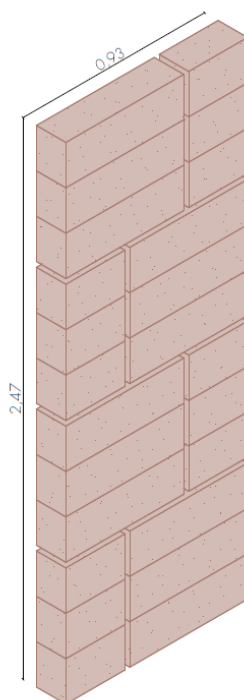
Bloque Tipo 4-5-6



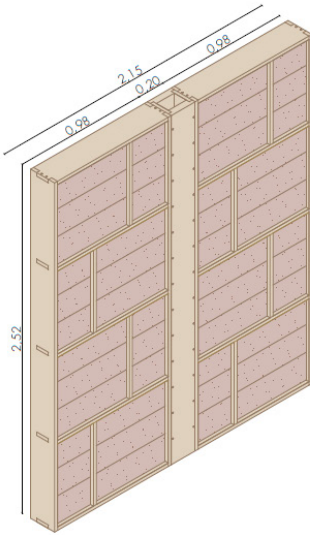
Módulo de Bloques
Tipo 1-2-3-4-5-6



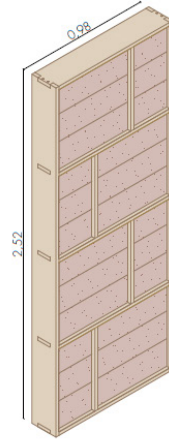
Armazón para muro de bloques



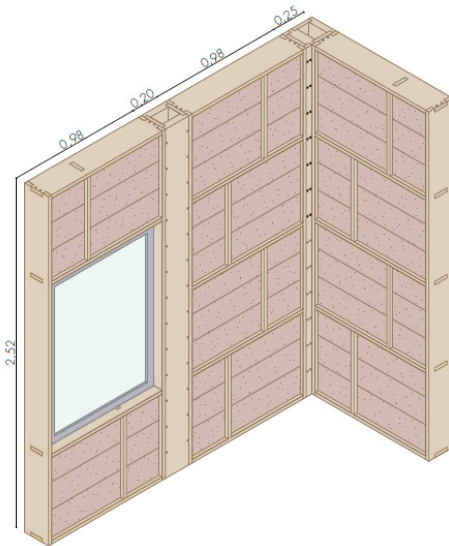
Muro de bloques



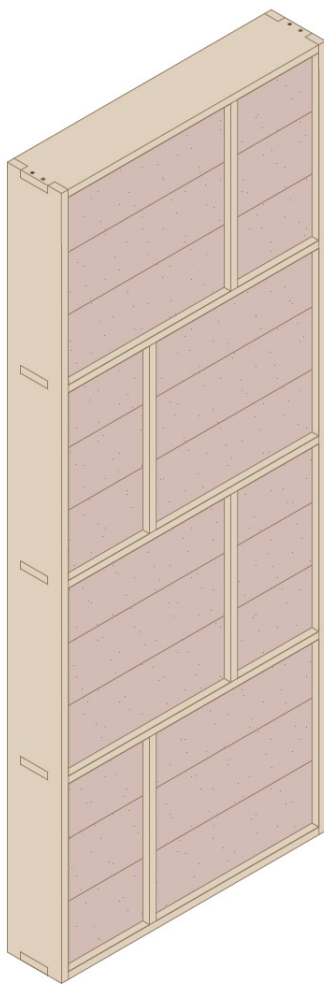
Unión entre Tabiques

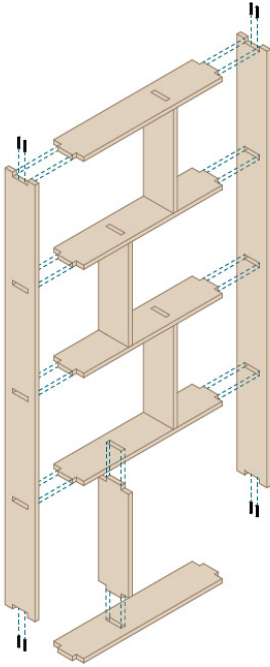


Tabique Individual

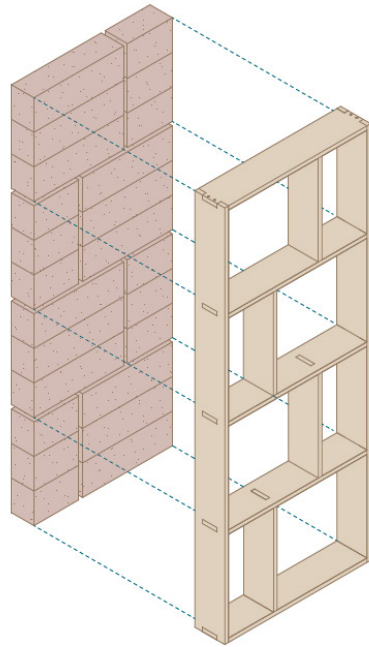


Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana

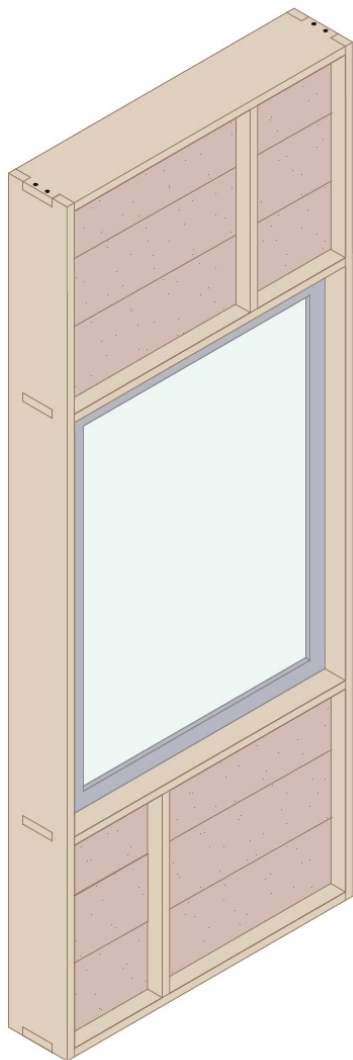


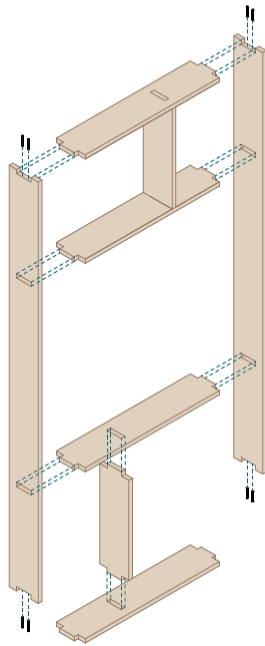


Paso 1
Tableros laterales e intermedios.

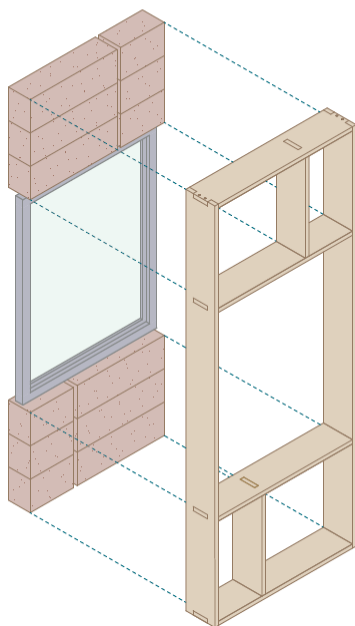


Paso 2
Sistema de trabado: bloques dentro de los tableros intermedios.





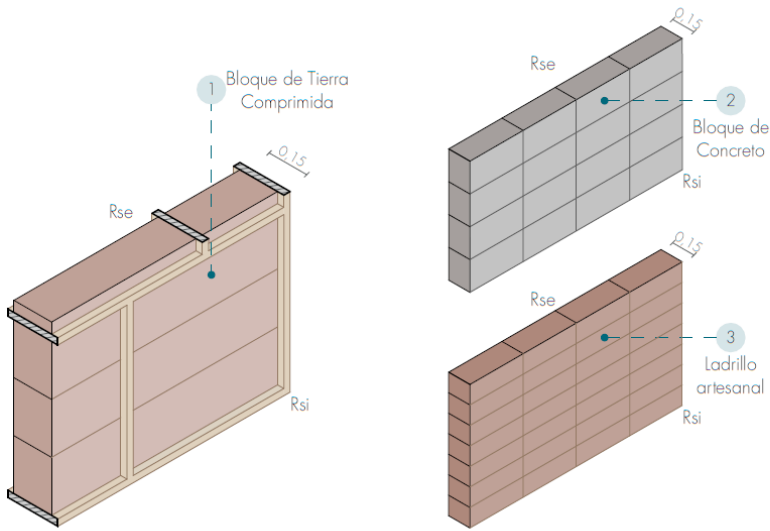
Paso 1
Tablones laterales e intermedios.



Paso 2

Sistema de trabado: bloques dentro de los bloques intermedios.

Ventana dentro de la estructura del tabique.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \quad (W/m^2 \cdot K)$$

e = Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica ($W/K \cdot m$)

Cálculo Transmitancia Térmica

$$U = 1 / RT \quad (W/m^2 \cdot K)$$

RT = Transmitancia Térmica Total ($m^2 \cdot K/W$)

RT = Resistencia térmica superficial interior (Rsi)
 + Resistencia térmica elemento 1 (R1)
 + Resistencia térmica elemento 2 (R2)
 + Resistencia térmica elemento 3 (R3) + RN
 + Resistencia térmica superficial exterior (Rse)

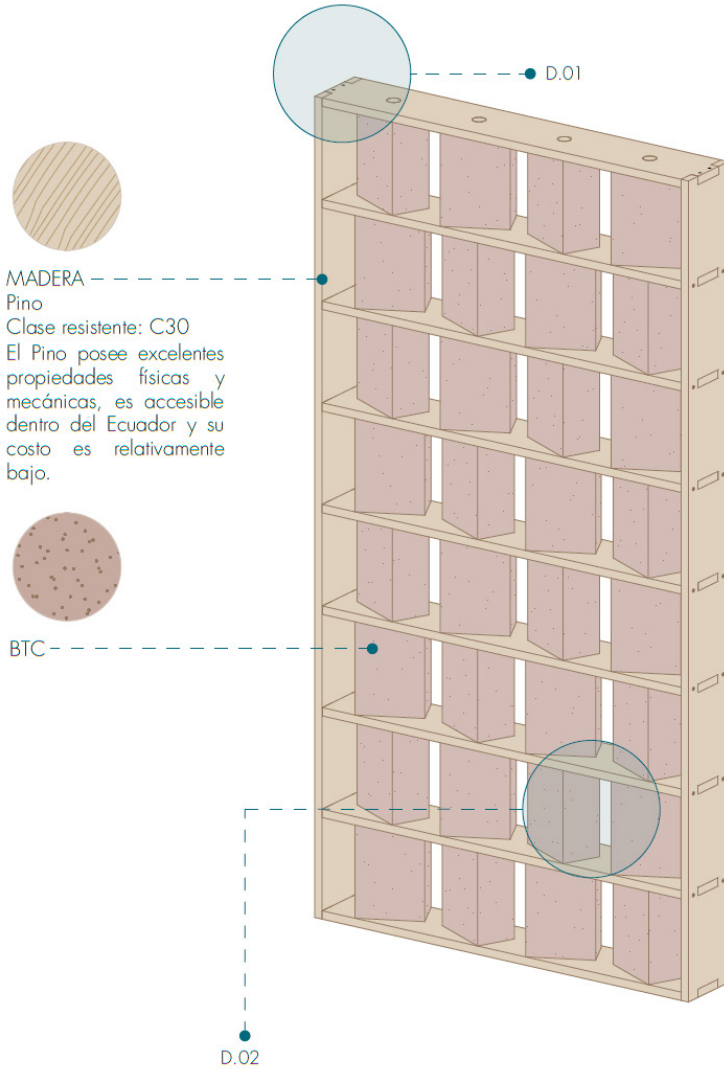
Material	Capa	e (m)	λ ($W/K \cdot m$)	R ($m^2 \cdot K/W$)
Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	Rsi	—	—	0,13
	1	0,15	0,81	0,19
	Rse	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			0,36
	U ($W/m^2 \cdot K$)			2,78
Bloque de Concreto	Rsi	—	—	0,13
	2	0,15	0,91	0,16
	Rse	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			0,33
	U ($W/m^2 \cdot K$)			3,03
Ladrillo artesanal	Rsi	—	—	0,13
	3	0,15	1,04	0,14
	Rse	—	—	0,04
	RT ($m^2 \cdot K/W$)			0,31
	U ($W/m^2 \cdot K$)			3,22

*El tabique de bloques de tierra comprimida (BTC) tiene un mejor comportamiento térmico que los tabiques de bloque de concreto y ladrillo artesanal.



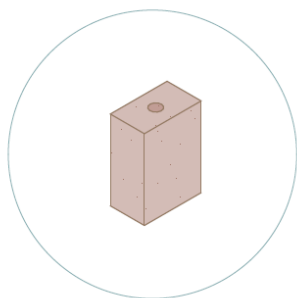




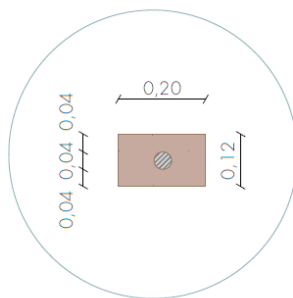


Autora: Camila Gálvez - Cristina Ayora
Revisión: Juan Carlos Calderón

PANEL PROTOTIPO 05

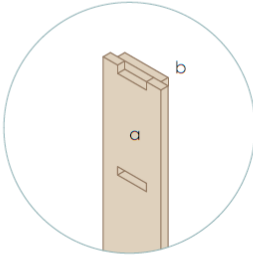


BLOQUE
Material:
Tierra Comprimida
Cantidad: 32 unidades



BLOQUE
Material:
Tierra Comprimida

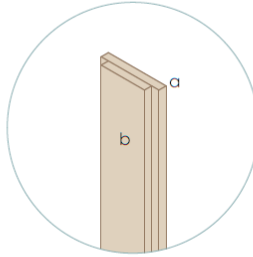
BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	12cmx20cmx28cm
Aspecto y Superficie	Textura superficial rugosa. Aparición esporádica del árido grueso como textura de acabado.
Acabado	Visto
Densidad	2.000 Kg/m ³
Resistencia a compresión	5,0 N/mm ²
Resistencia a ciclos humedecer/secado	APTO
Resistencia a la erosión	APTO
Resistencia al impacto	> 24,6 Julios
Coeficiente de conductividad térmica	0,81 W/m·K
Reacción al fuego	A 1
Índice global de reducción acústica. R _A	45 dBA



TABLÓN LATERAL

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx247cm e:2,5cm
b. 15cmx247cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.

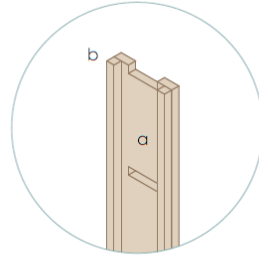
Cantidad: 2 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx247cm e:2,5cm
b. 15cmx247cm e:2,5cm
Fijación:

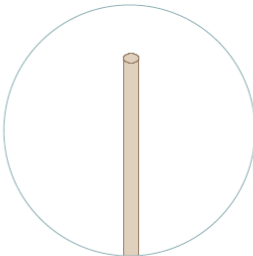
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

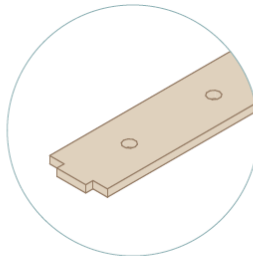
Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx247cm e:2,5cm
b. 2,5cmx2,5cmx247cm
Fijación:

Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



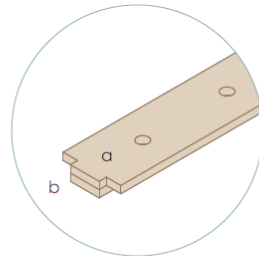
LISTÓN REDONDO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
e:4cm | alto:247cm
Cantidad: 4 unidades



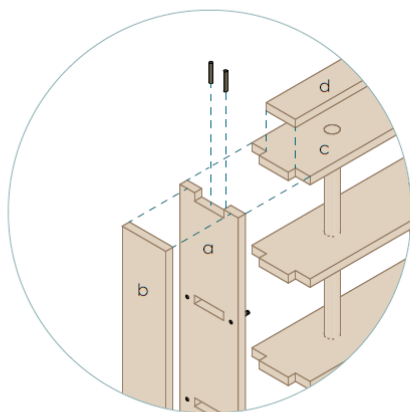
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase Resistente: C30
Dimensiones:
20cmx115cm e:2,5cm
Cantidad: 3 unidades

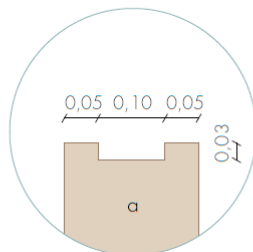


TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino
Clase Resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx115cm e:2,5cm
b. 10cmx115cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



D.01

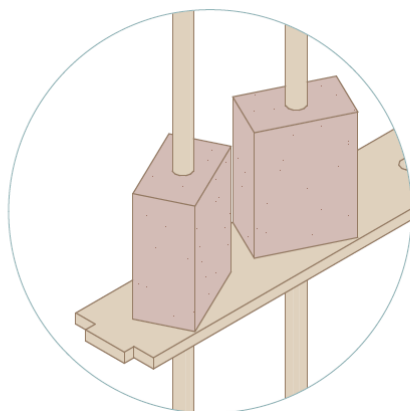


UNIÓN, ESQUINA DE TABIQUE, EN ESPIGA ABIERTA

Material: Tablones de madera de Pino

Dimensiones:

- a. 20cmx247cm e:2,5cm
- b. 15cmx247cm e:2,5cm
- c. 20cmx115cm e:2,5cm
- d. 10cmx115cm e:2,5cm



D.02

TRABADO: TABLÓN INTERMEDIO CON BLOQUES Y LISTONES CIRCULARES

Materiales:

- Listones circulares de madera de Pino.

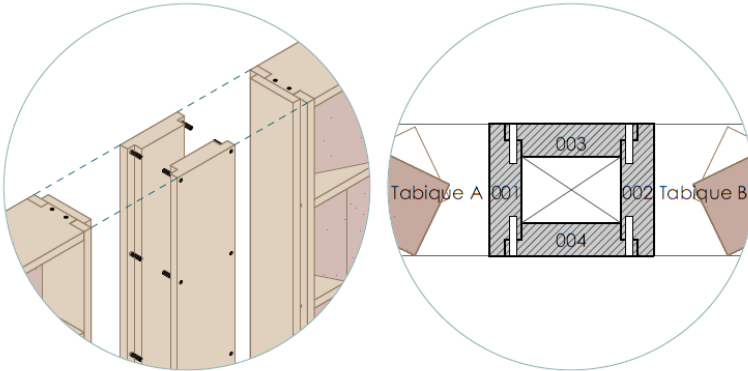
Dimensiones: 4cmx4cmx 247m.

- Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

Dimensiones: 28cmx20cm e:12cm

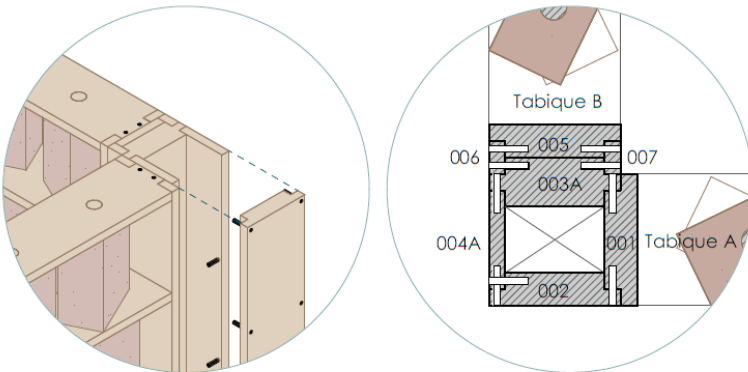
-Tablón intermedio.

Dimensiones: 20cmx115m e:2,5cm



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

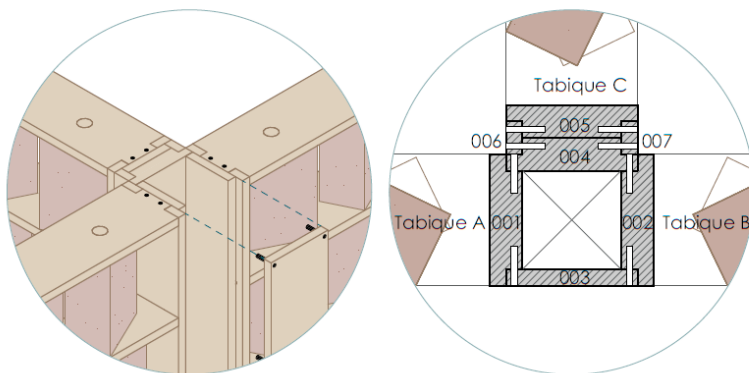


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

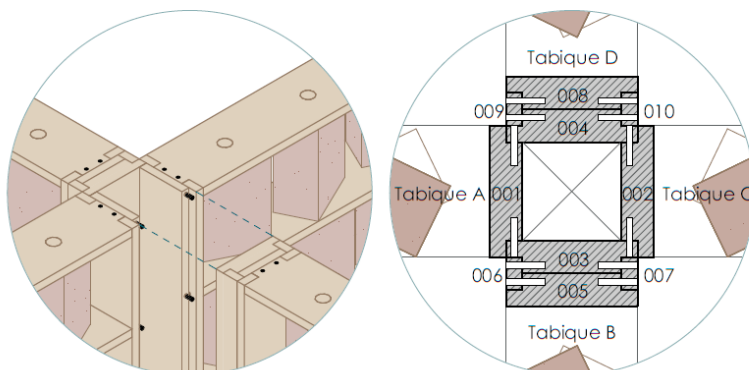
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

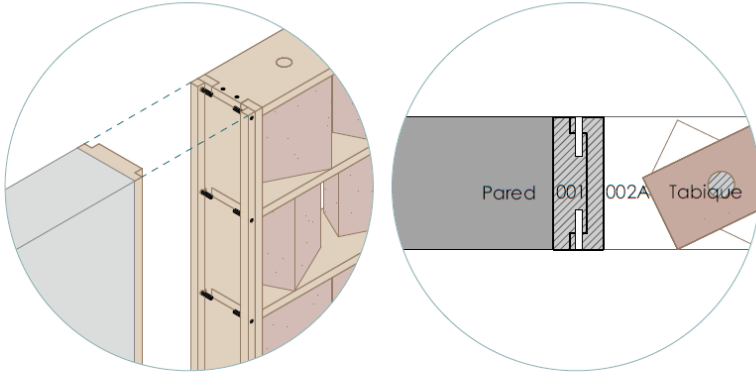


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

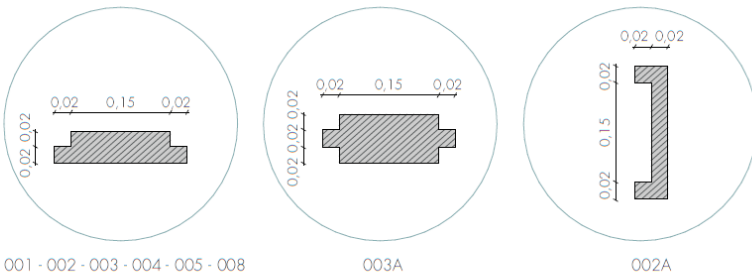


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUENTRO CON PARED

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

Observaciones:

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



001 - 002 - 003 - 004 - 005 - 008

003A

002A

Especificaciones Técnicas

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

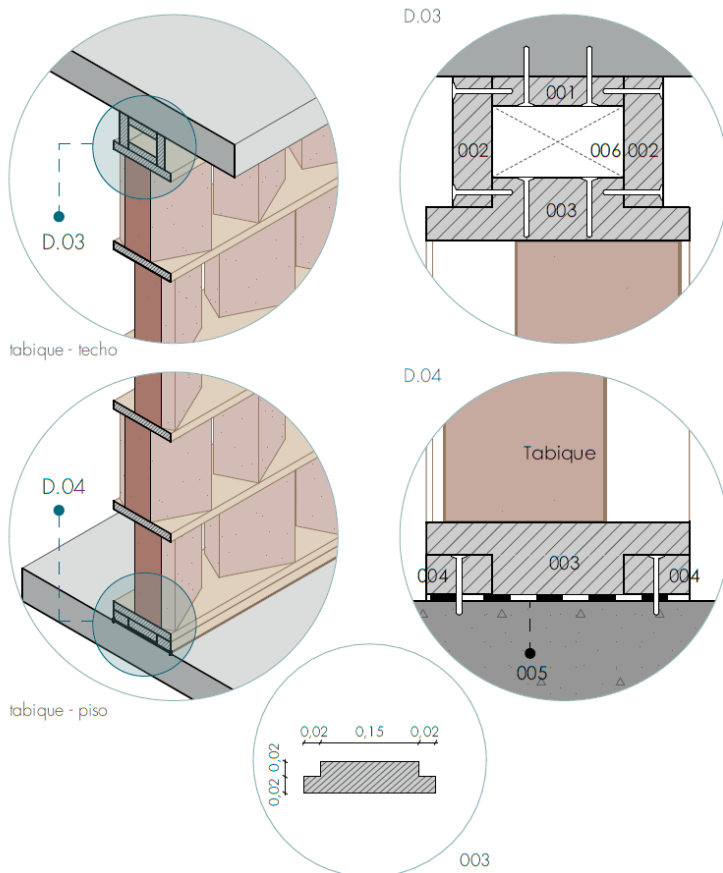
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

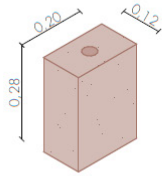
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

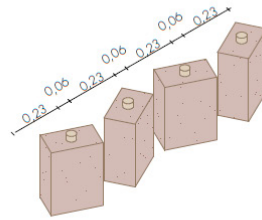
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

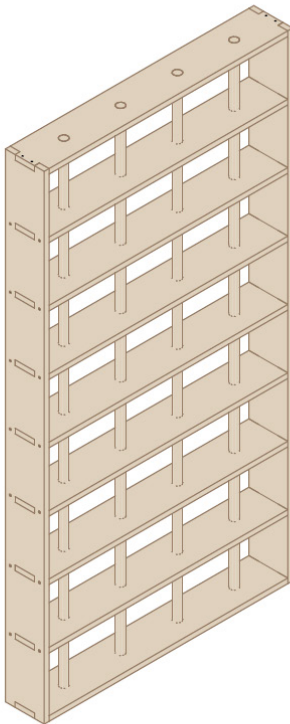
006 - Ducto de 100mmx54mm.



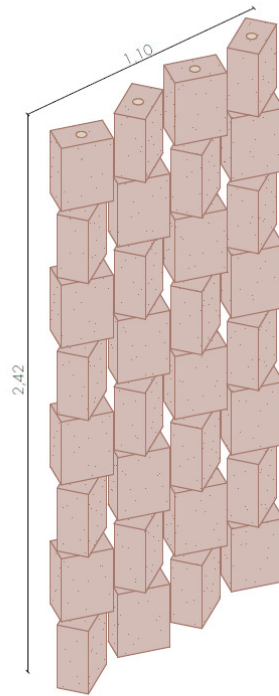
Bloque Individual



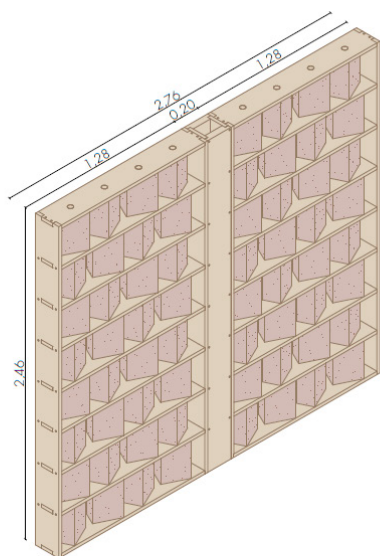
Módulo de bloques



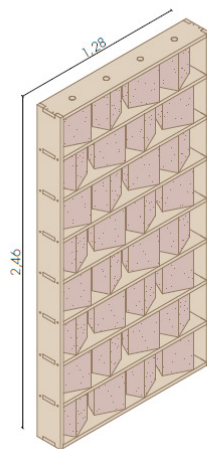
Armazón para muro de bloques



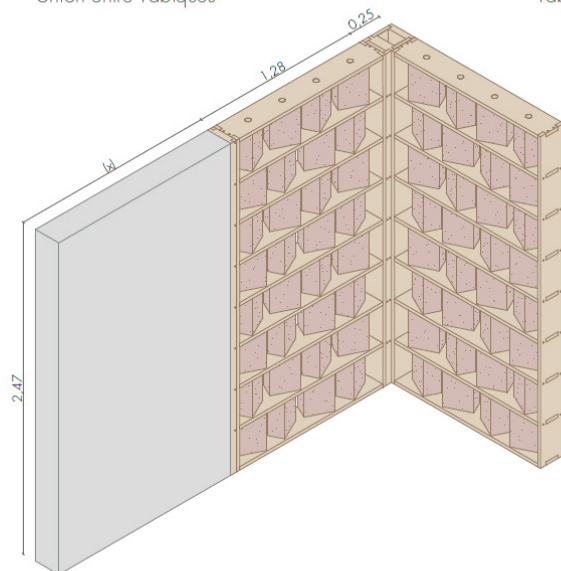
Muro de bloques



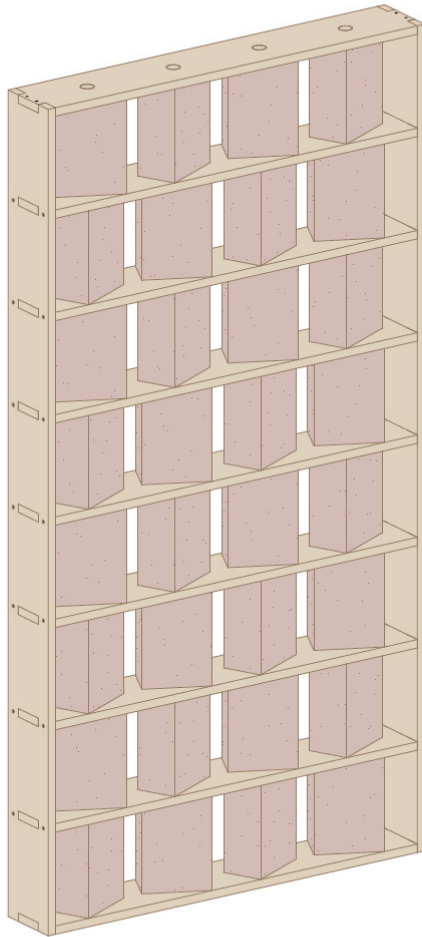
Unión entre Tabiques

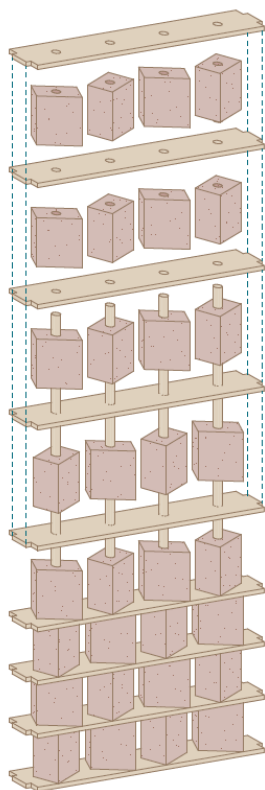


Tabique Individual



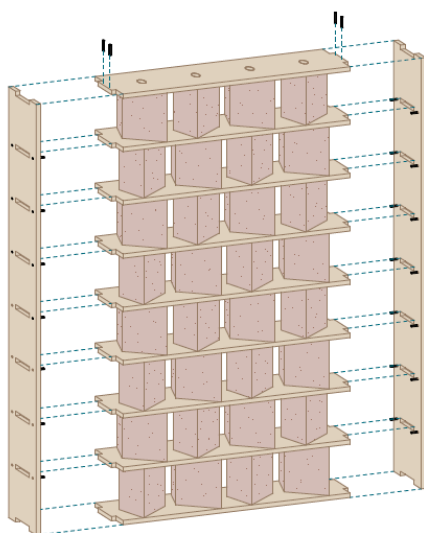
Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana





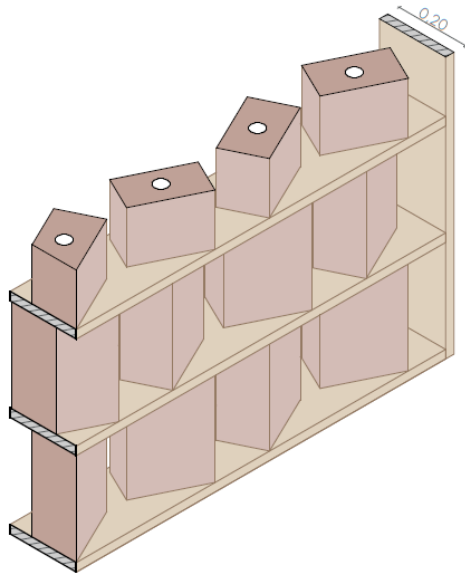
Paso 1

Tablones superiores/inferiores, tablones intermedios, bloques y listones redondos.



Paso 2

Tablones laterales y tarugos.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \text{ (W/m}^2 \cdot \text{k)}$$

e = Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica (W/K*m)

Cálculo Transmitancia Térmica

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

R_T = Transmitancia Térmica Total (m²*K/W)

R_T = Resistencia térmica superficial interior (R_{si})
 + Resistencia térmica elemento 1 (R_1)
 + Resistencia térmica elemento 2 (R_2)
 + Resistencia térmica elemento 3 (R_3) + R_N
 + Resistencia térmica superficial exterior (R_{se})

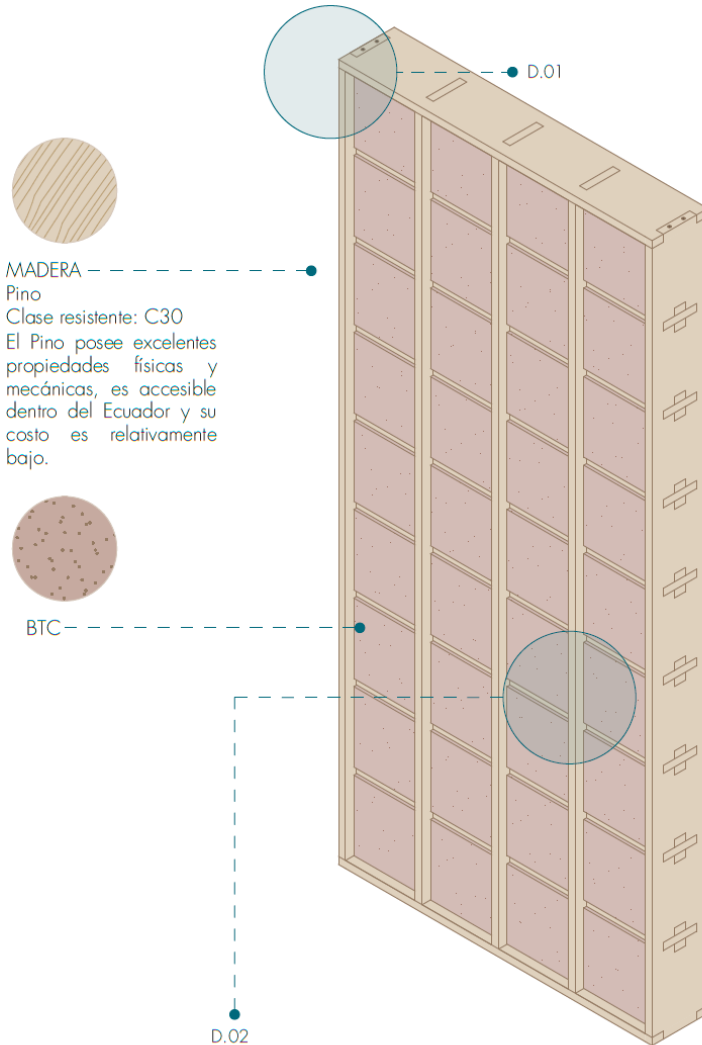
*Este prototipo se puede implementar para tabiques interiores como celosía divisoria.





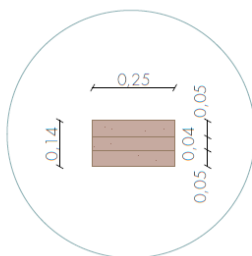
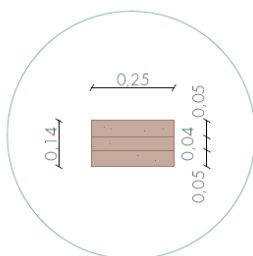
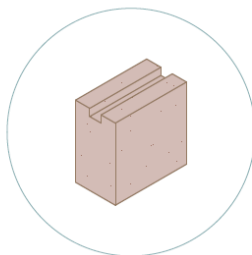
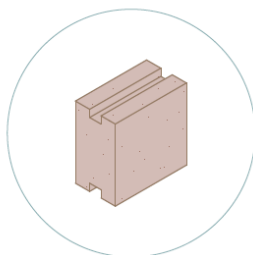


PROTOTIPO 06



Autores: Nicolás Santacruz - Ana Sofía Idrovo
Revisión: Juan Carlos Calderón

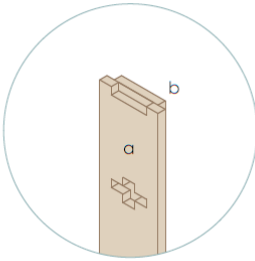
PANEL PROTOTIPO 06



BLOQUE TIPO 1
Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 28 unidades

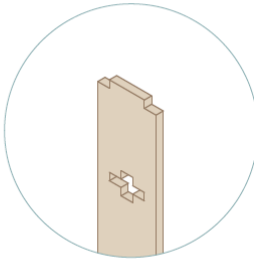
BLOQUE TIPO 2
Material: Tierra Comprimida
Cantidad: 8 unidades

BLOQUE DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)	
Medidas reales	Bloque Tipo 1: 14cmx25cmx25cm Bloque Tipo 2: 14cmx25cmx25cm
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



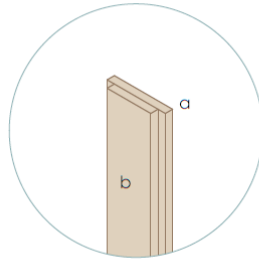
TABLÓN LATERAL

Material: Madera de Pino -
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx250cm e:2,5cm
b. 15cmx250cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



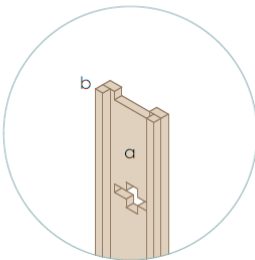
TABLÓN VERTICAL INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
20cmx250cm e:2,5cm
Cantidad: 3 unidades



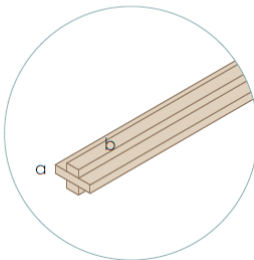
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx250cm e:2,5cm
b. 15cmx250cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



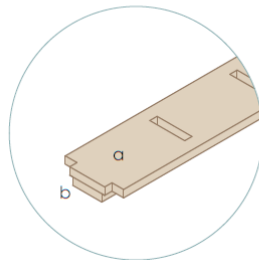
TABLÓN LATERAL PARA UNIÓN CON PARED

Material: Madera de Pino
Clase resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx250cm e:2,5cm
b. 2,5cmx2,5cmx2,50cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



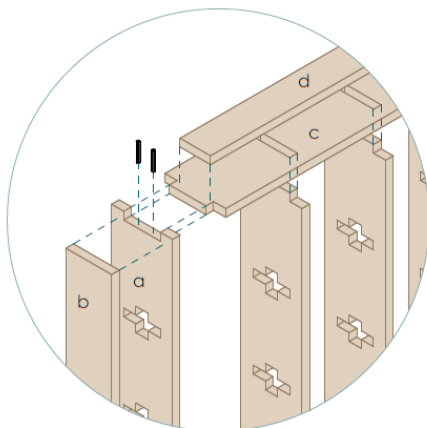
TABLÓN INTERMEDIO

Material: Madera de Pino
Clase Resistente: C30
Dimensiones:
a. 12cmx115cm e:2,5cm
b. 4cmx115cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 8 unidades

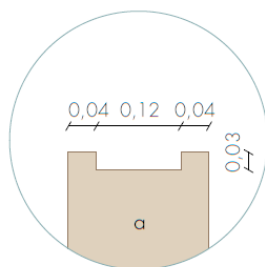


TABLÓN SUPERIOR/INFERIOR PARA UNIÓN PISO - TECHO

Material: Madera de Pino
Clase Resistente: C30
Dimensiones:
a. 20cmx115cm e:2,5cm
b. 10cmx115cm e:2,5cm
Fijación:
Tornillos, clavos o encolado.
Cantidad: 2 unidades



D.01

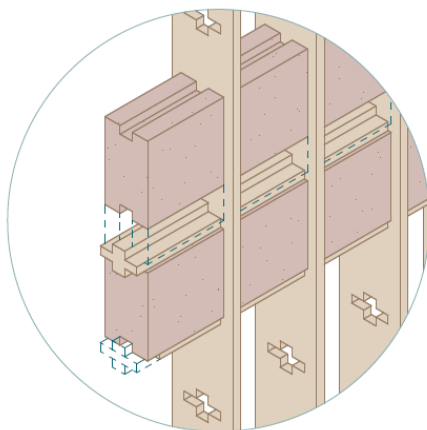


UNIÓN, ESQUINA DE TABIQUE Y TABLEROS INTERMEDIOS

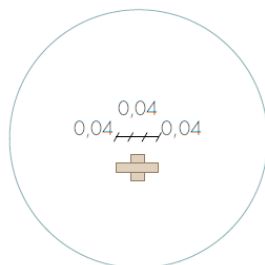
Material: Tableros de madera de Pino

Dimensiones:

- a. 20cmx250cm e:2,5cm
- b. 15cmx250cm e:2,5cm
- c. 20cmx112cm e:2,5cm
- d. 10cmx112cm e:2,5cm



D.02

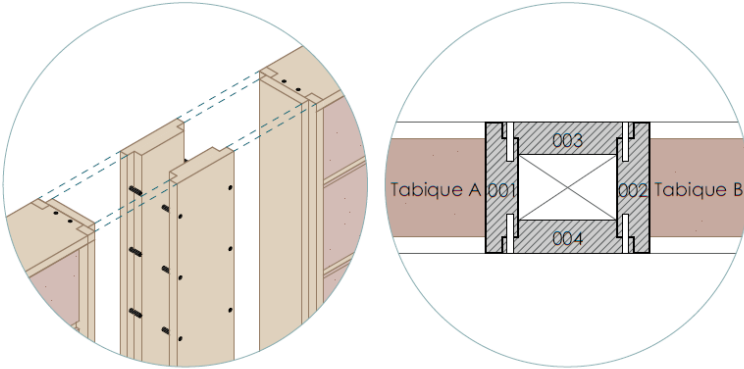


UNIÓN, TABLEROS INTERMEDIOS HORIZONTALES Y BLOQUES

Materiales:

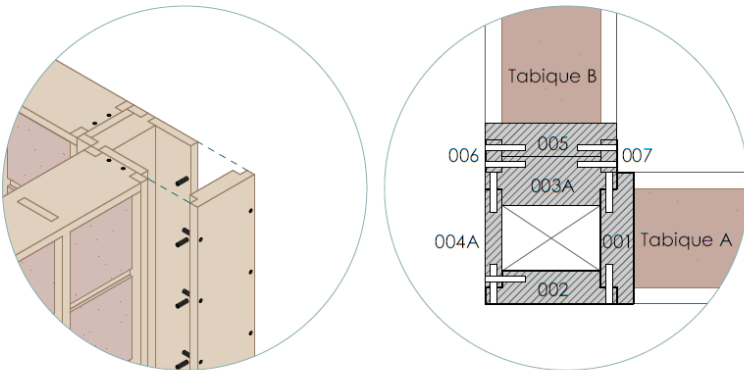
- Tableros de madera de Pino.
 - Bloques de Tierra Comprimida (BTC).
- Dimensiones: 25cmx15cm e:25cm

294 CAPÍTULO 4 | PROTOTIPO 06 | UNIONES | ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN - ENCUENTRO EN ESQUINA



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO DE PROLONGACIÓN

Encuentro lineal de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

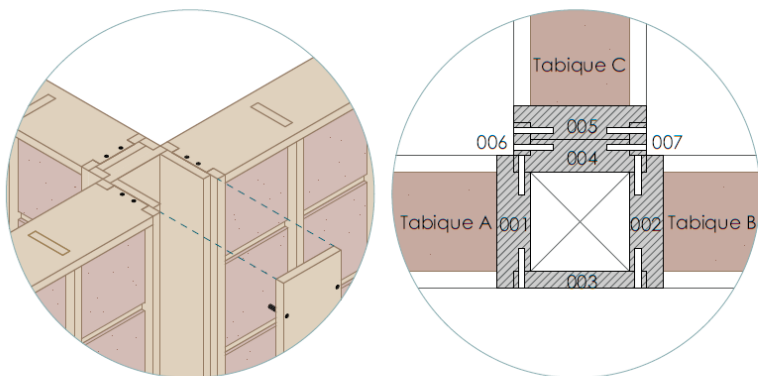


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUENTRO EN ESQUINA

Encuentro de 2 tabiques compuestos por tabloncillos laterales y tabloncillos superiores/inferiores para unión con techo.

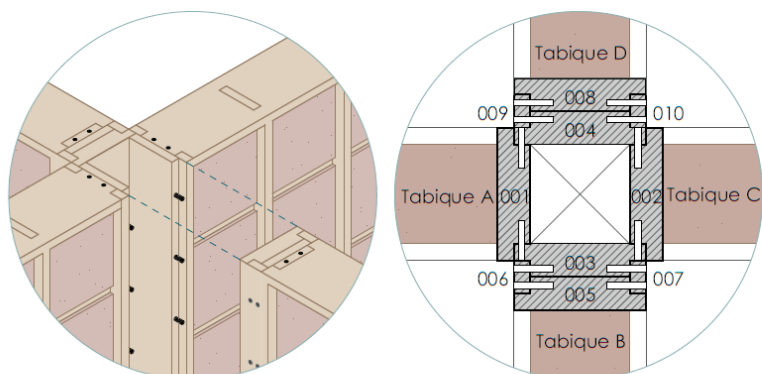
Observaciones:

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



UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN T

Encuentro de 3 tabiques compuestos por tableros laterales y tableros superiores/inferiores para unión con techo.

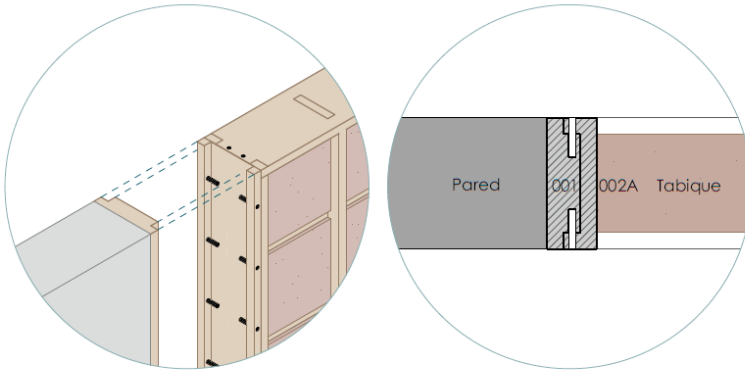


UNIÓN ENTRE TABIQUES EN ENCUESTRO EN CRUZ

Encuentro lineal de 4 tabiques compuestos por tableros laterales y tableros superiores/inferiores para unión con techo.

Observaciones:

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

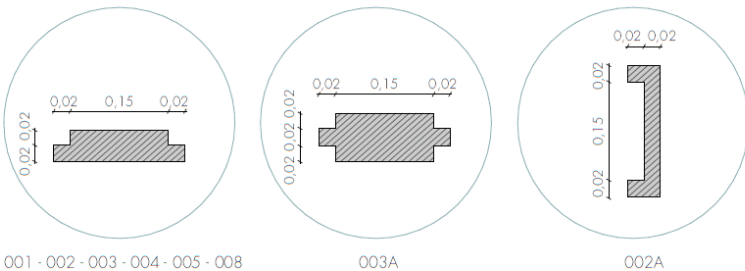


UNIÓN ENTRE TABIQUES Y ENCUENTRO CON PARED

Encuentro de pared con 1 tabique 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.



001 - 002 - 003 - 004 - 005 - 008

003A

002A

Especificaciones Técnicas

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

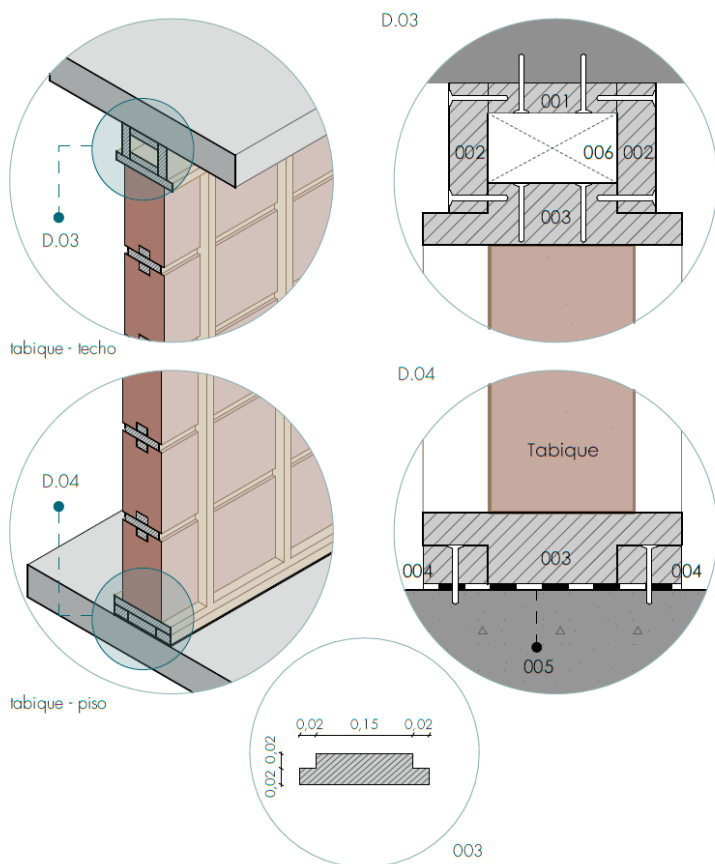
002A - Pieza de madera de pino tratado, medidas especificadas gráficamente, fijada con tarugos, con juntas selladas por solape.

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.



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.

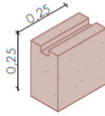
002 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 100 mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

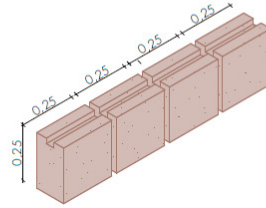
004 - Pieza de madera de pino tratado, de 30mm de espesor y 50mm de ancho, fijada mecánicamente con pernos, con juntas selladas por solape.

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

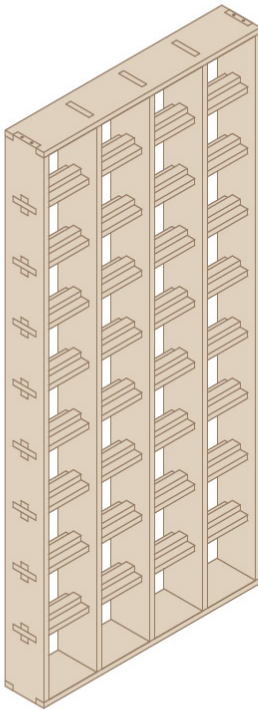
006 - Ducto de 100mmx54mm.



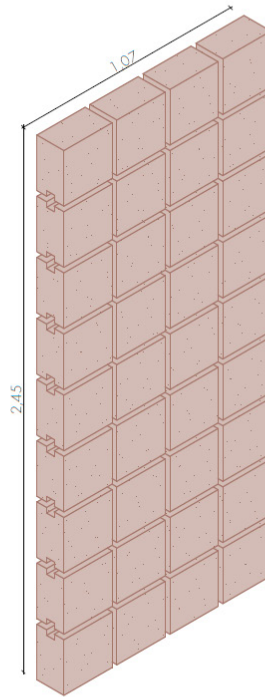
Bloques individuales



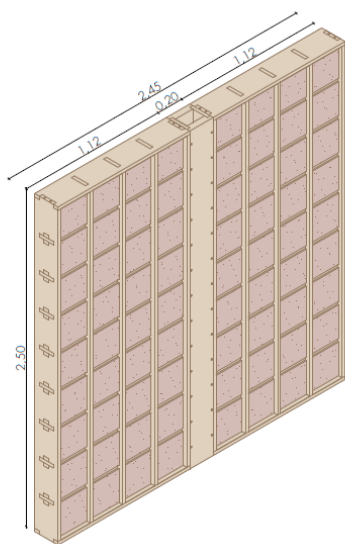
Módulo de bloques



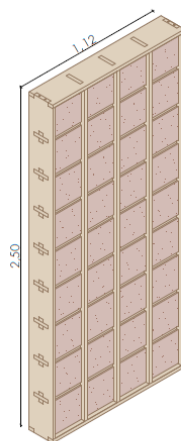
Armazón para muro de bloques



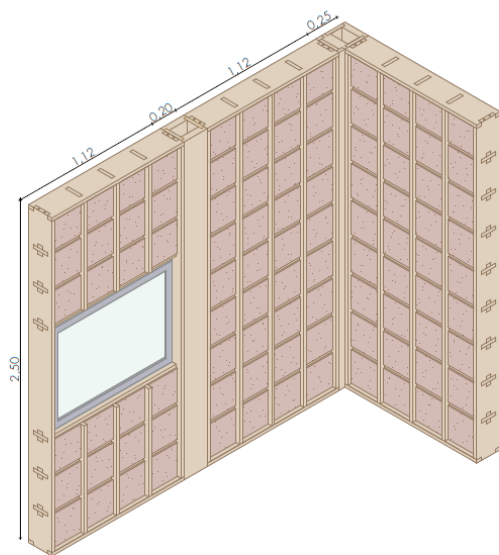
Muro de bloques



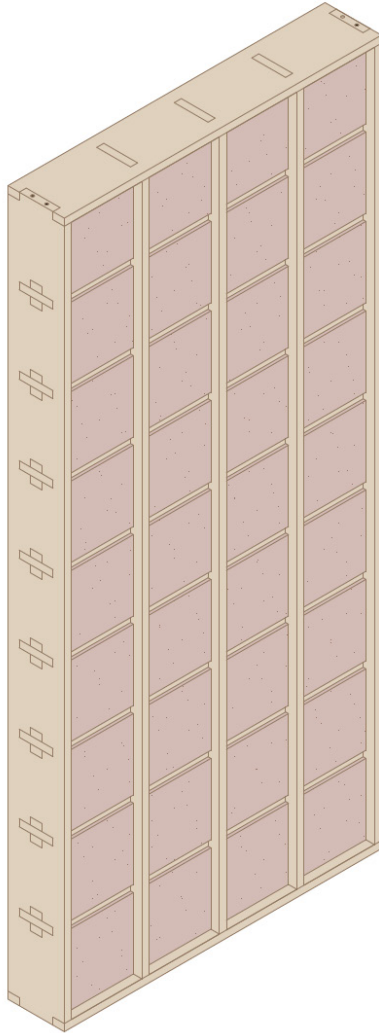
Unión entre Tabiques



Tabique Individual

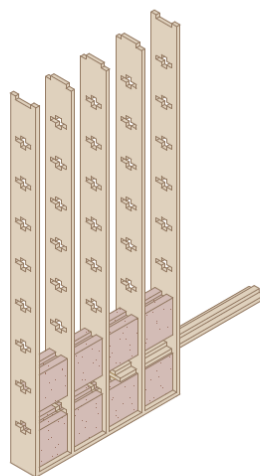


Unión entre tabiques en encuentro en esquina y tabique con ventana

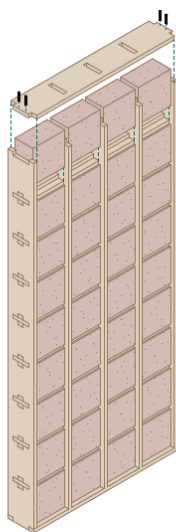




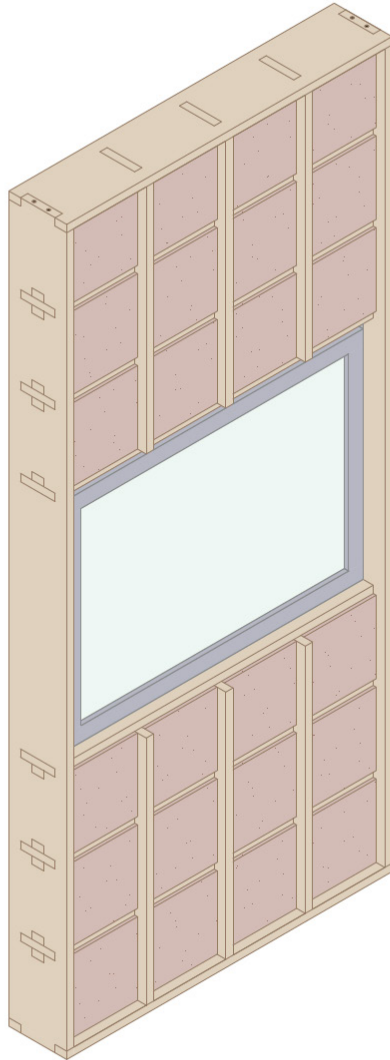
Paso 1
Tablón inferior, tableros laterales y verticales.

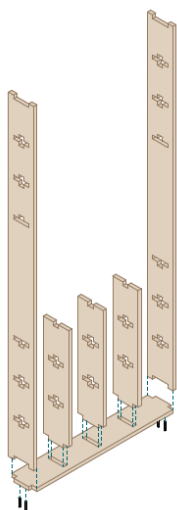


Paso 2
Sistema de trabado: tableros intermedios horizontales y bloques.



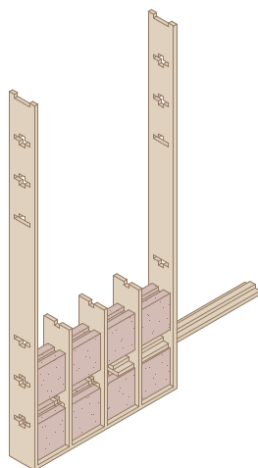
Paso 3
Sistema de trabado: tabla superior.





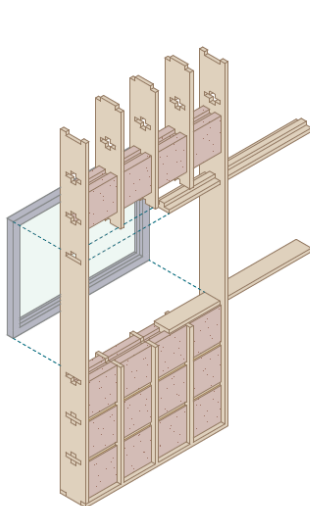
Paso 1

Tablón inferior, tableros laterales y verticales.



Paso 2

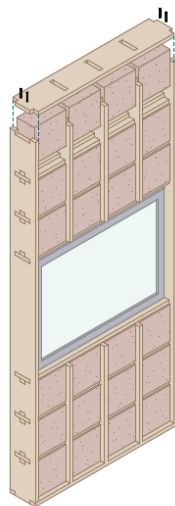
Sistema de trabado: tableros intermedios horizontales y bloques.



Paso 3

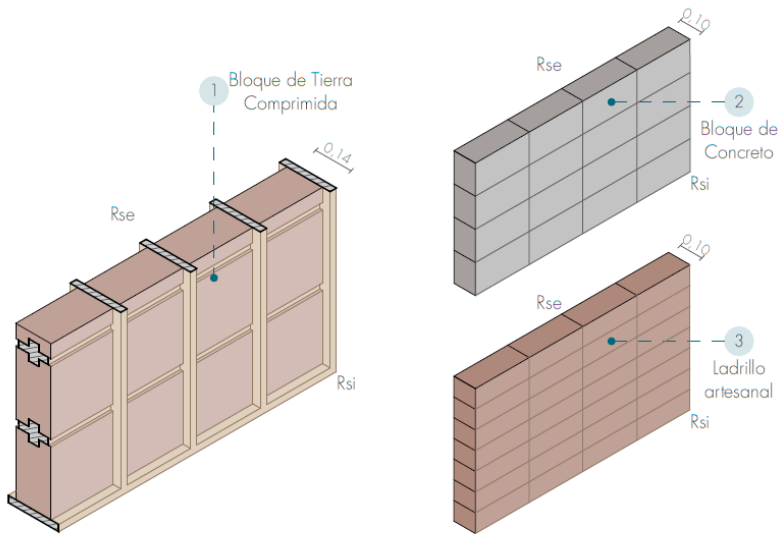
Sistema de trabado: los tableros intermedios horizontales y bloques.

Ventana dentro de la estructura del panel.



Paso 4

Sistema de trabado: tabla superior.



Cálculo de Resistencia Térmica

$$R = e / \lambda \quad (W/m^2 \cdot K)$$

e= Espesor (m)

λ = Conductividad Térmica (W/K*m)

Cálculo Transmisancia Térmica

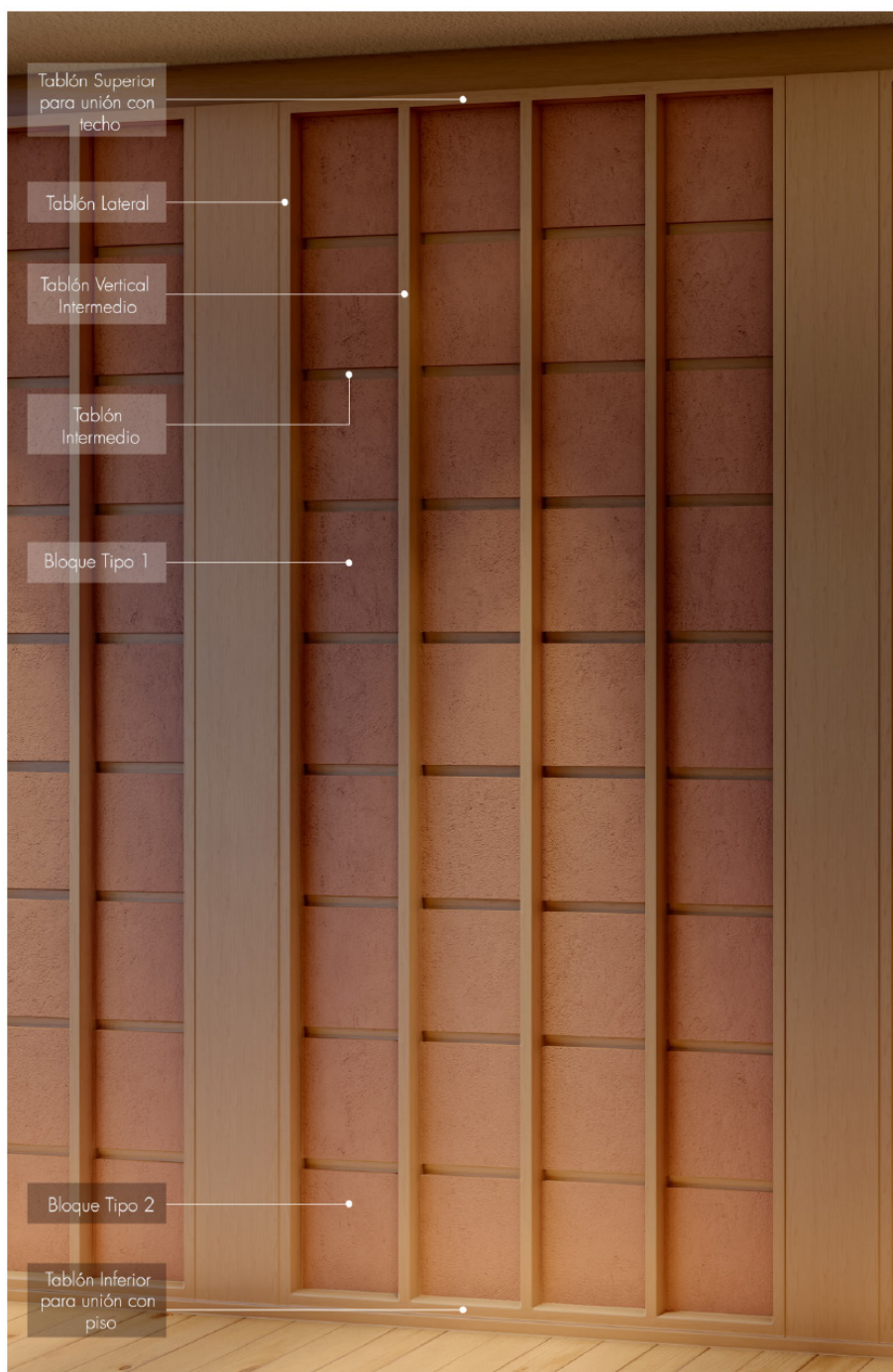
$$U = 1 / RT \quad (W/m^2 \cdot K)$$

RT=Transmisancia Térmica Total (m²*K/W)

RT= Resistencia térmica superficial interior (Rsi)
 +Resistencia térmica elemento 1(R1)
 +Resistencia térmica elemento 2(R2)
 +Resistencia térmica elemento 3(R3)+RN
 +Resistencia térmica superficial exterior (Rse)

Material	Capa	e (m)	λ (W/K*m)	R (m ² *K/W)
Bloque de Tierra Comprimida (BTC)	Rsi	—	—	0,13
	1	0,14	0,81	0,17
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,34
	U (W/m ² *K)			2,94
Bloque de Concreto	Rsi	—	—	0,13
	2	0,14	0,91	0,15
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,32
	U (W/m ² *K)			3,13
Ladrillo artesanal	Rsi	—	—	0,13
	3	0,14	1,04	0,13
	Rse	—	—	0,04
	RT (m ² *K/W)			0,30
	U (W/m ² *K)			3,33

*El tabique de bloques de tierra comprimida (BTC) tiene un mejor comportamiento térmico que los tabiques de bloque de concreto y ladrillo artesanal.



4.3 CONCLUSIONES

Pese a que, por falta de conocimiento, aún existe una creencia generalizada que vincula la tierra, como material de construcción, con la obsolescencia y la pobreza, en las últimas décadas, tanto las investigaciones realizadas en las mejores universidades del mundo como la aplicación de tecnologías constructivas con tierra por parte de las oficinas de arquitectura más importantes en los países desarrollados, han evidenciado la necesidad de desarrollar campañas de educación, tanto para profesionales como para los ciudadanos de a pie, que actualicen los conocimientos y evidencien los desarrollos relacionados con la innovación y aplicación de este material en la arquitectura. La característica más interesante de la tierra como material de construcción está relacionada con su condición sostenible, no solo desde el punto de vista ambiental, sino también desde una perspectiva social y económica, atractiva sobre todo en países en vías de desarrollo. Reemplazar mampuestos de ladrillos de arcilla cocida por ladrillos de tierra comprimida puede representar una disminución de hasta un 90% del impacto ambiental, manteniendo resistencias mecánicas que cumplen con la normativa para la construcción de mampuestos (2 - 5 MPa).

Si bien es cierto que los materiales de tierra cruda no alcanzan la resistencia de aquellos que incorporan grandes cantidades de energía en su proceso de fabricación, el uso de estos materiales junto con otras tecnologías y materiales que garanticen la estabilidad del edificio, así como de los diversos elementos

y sistemas constructivos que intervienen en él, representa una nueva forma de abordar proyectos de cierta complejidad. No existen materiales malos, sino materiales mal utilizados. En la actualidad, el objetivo no es hacer arquitectura de tierra per se, sino arquitectura que integre elementos de tierra con otros materiales trabajando conjuntamente. Las tecnologías mixtas, que combinan técnicas de construcción con tierra y madera, pueden adoptarse como alternativas sostenibles frente a tecnologías constructivas que requieren gran cantidad de energía y son responsables de un impacto ambiental considerable.

Como se observó en el capítulo 02, existen diversas alternativas al momento de elegir una tecnología constructiva con tierra para la fabricación de tabiques o elementos constructivos. Dentro del amplio abanico de tecnologías de construcción con tierra, el uso de mampuestos de nueva generación, como los bloques de tierra comprimida (BTC o CEB, por sus siglas en inglés Compressed Earth Blocks) y los bloques de tierra compactada, se presenta como una alternativa contemporánea a los tradicionales bloques de adobe. Las principales ventajas de los bloques de nueva generación sobre los tradicionales radica en que los primeros pueden ser fabricados mediante procesos industrializados, los cuales permiten un mayor control de calidad. Generalmente, estos bloques alcanzan una resistencia mecánica de hasta 5 MPa, al tiempo que aseguran acabados uniformes y cumplen con las normativas de construcción actuales, incluyendo las características que debe reunir un mampuesto moderno.

Los bloques de tierra comprimida, al presentar ciertas limitaciones en cuanto a su resistencia a esfuerzos de tracción, flexión, cortante y algunos esfuerzos dinámicos, pueden emplearse junto con otros materiales y elementos constructivos para crear sistemas constructivos mixtos eficientes. Los prototipos desarrollados incluyen la tecnología del bloque de tierra comprimida y la tecnología de la madera, especialmente aquella derivada de entramados y bastidores. Estos sistemas mixtos, como se ha demostrado, pueden ser diseñados teniendo en cuenta premisas esenciales dentro de la construcción contemporánea, tales como la coordinación dimensional, la modulación y la prefabricación. Esto resulta beneficioso en tres aspectos fundamentales: en primer lugar, permite un control de calidad de los materiales y elementos constructivos bajo condiciones de producción específicas; en segundo lugar, asegura un volumen de producción capaz de satisfacer las demandas de la construcción moderna; y, en tercer lugar, optimiza los recursos materiales, la mano de obra y los tiempos de ejecución.

Los ejemplos desarrollados evidencian la posibilidad de abordar soluciones constructivas actuales mediante la utilización de materiales tradicionales que tienen un bajo impacto ambiental (FIGURA 4.0). Los seis prototipos desarrollados también muestran la versatilidad de la aplicación de los materiales y los elementos constructivos para generar diferentes respuestas estructurales, formales y funcionales en tabiques divisorios. Estas lógicas de trabajo con tecnologías mixtas se pueden aplicar a diferentes tipos de elementos arquitectónicos, como

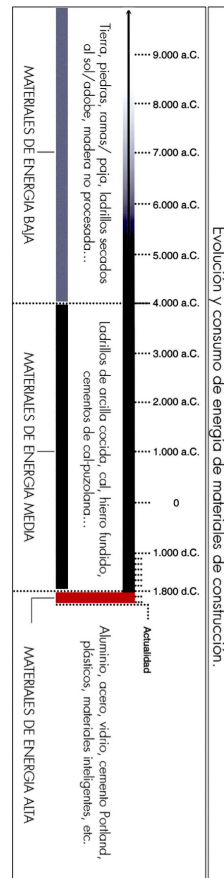


Fig. 4.0 | Línea de tiempo y energía incorporada en los materiales. Fuente: Autoría propia, (2024). A partir de: Venkatarama, (2009).

elementos estructurales mixtos, envolventes, muros y otros elementos divisorios. La perspectiva de gran parte de los arquitectos en cuanto a los materiales de construcción limita sus posibilidades al uso del ladrillo de arcilla cocida y el bloque de hormigón como elementos de mampostería. Incluir los mampuestos de tierra comprimida puede presentarse como una alternativa que permitiría trabajar con un material sostenible que, en la actualidad, cumple con las normativas exigidas por la construcción.

Como conclusión, podemos decir que las tecnologías mixtas, como es el caso del uso del bloque de tierra comprimida con las tecnologías de entramados y bastidores de madera, se presentan como una alternativa para incorporar materiales sostenibles tradicionales en procesos constructivos modernos que cumplan con los requerimientos técnicos de la arquitectura contemporánea. La importante repercusión que tiene la arquitectura y el sector de la construcción en el impacto ambiental que nos ha llevado a afrontar la crisis actual, obliga a los arquitectos de las nuevas generaciones y a los actores de la construcción a buscar alternativas a los modelos constructivos tradicionales insostenibles. El estudio, innovación y aplicación de nuevos modelos tecnológicos que incorporen materiales tradicionales pueden ser una solución evidente a la apremiante crisis medioambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avrami, E., Guillaud, H. & Hardy, M. (2008). En A. Escobar (Ed.), *Terra Literature Review: An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation*. Institute, The Getty Conservation.
- Bayon R. (1982). *Los tabiques en el edificio*. Editores Técnicos Asociados.
- Ben Mansour, M., Jelidi, A., Cherif, A. S., & 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., & Altemir, A. (2011). *Construcción con tierra en el siglo XXI*. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20.
- Brockman, N. (2008). *Ancient Greek Architecture*. Oxford University Press.
- Brown, M. A. (1997). *Historic Building Construction*. Oxford University Press.
- Ching, F. D. K., Jarzombek, M., & Prakash, V. V. (2010). *A global history of architecture*. John Wiley & Sons.
- Calderón, 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, J. C. (2021). La “tierra”: un material compuesto. *Diseño, arte y arquitectura*, 1(10), 167–179.
- CEDATE, Ministério da Educação. (1985). *Taipa em painéis modulados - sistemas construtivos 3*. Centro de desenvolvimento e apoio técnico à educação.
- Cid-Falceto, J., Mazarrón, F. R., & 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., & Cañas, I. (2011). *Las normativas de construcción con tierra en el mundo*. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169
- Cuitiño, G. (2015). Análisis de la transmisión térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, revistas CSIC, 67(537).
- Díaz, A. (1984) *Sistema Constructivo «Quincha Prefabricada»*. *Informes de la Construcción*, 36(361).
- Easton, D. y Easton, T. (2012). *Modern rammed earth construction techniques*. En M. Hall, R. Lindsay y M. Krayenhoff (Eds.), *Modern Earth Buildings* (364-384), Woodhead Publishing.

- Elavarasan, S., Priya, A. K., Gurusamy, R. R., Naveeth, J. M. R., & Natesh, S. (2021). Experimental study on compressed earth block using fly-ash stabilizer. *Materials Today: Proceedings*, 37(2), 3597-3600.
- Eloundou, T. (2013). Earthen Architecture in today's World. En UNESCO (Eds.), *Proceedings of the UNESCO International Colloquium on the Conservation of World Heritage Earthen Architecture*, UNESCO Publishing.
- Fernandes, J., Peixoto, M., Mateus, R., & 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.
- Fernea, R., Manea, D. L., Tămaș-Gavrea, D. R., & Roșca, I. C. (2019). Hemp-clay building materials-An investigation on acoustic, thermal and mechanical properties. *Procedia Manufacturing*, 32, 216-223.
- Fuchs, M. (2020). Construire en terre cou-lée : une révolution ? *Architectes.org*. https://www.architectes.org/sites/default/files/atoms/files/2020_da-278-terre-coulee_dgm.pdf.
- Galindo-Díaz, J., Escorcía-Oyola, O. & González-Calderón, A. (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).
- García, E. R. (2010). *Manual del arquitecto descalzo*. Trillas.
- Gauzin, D. (2018). *Architecture en terre d'aujourd'hui*. Editorial MUSEO.
- Giménez, A. (2010). *Castles of the Middle Ages*. Gustavo Gili.
- Gómez, F., García, L., Vegas, F. y Mileto, C. (2021). Técnicas y características de los tabiques mixtos de tierra y madera. El caso de España. *Informes de la Construcción*, 73(561).
- Gómez, M. (2014). *The Industrial Revolution and Architecture*. Akal.
- Gössel, P. (1983). *La arquitectura del siglo XX*. Taschen.
- Hays, A. y Matuk, S. (2003). Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra. *Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra. PROYECTO XIV*, 6, 121 – 352.
- Hema, C., Messan, A., Lawane, A., Soro, D., Nshimiyimana, P., & 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.

- Hempel, R. (1987). *Entramados Verticales*. Editora Aníbal Pinto S.A.
- Hernandez, A. (2014). *La terre coulée armée: Grains, fibres et armatures* (Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – mention patrimoine) Architecture de Terre, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble.
- Henneberg de León, A. M. (2015). Tradición constructiva del bahareque y su resistencia sísmica. En XII CIATTI 2015. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra Cuenca de Campos, Valladolid.
- Herzog, T. (2002). Madera (III). Estructuras. *Revista Tectónica*, (13).
- Houben, H. y Guillaud, H. (2008). *Earth Construction*. CRAterre.
- Jovanovic, M., Miric, A., Jovanovic, G. y Momcilovic, A. (2018). Earth as a material for construction of modern houses. *Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering*, 16. 175-188.
- Kim, Y. J. (2015). *Handbook of interior architectural design*. McGraw-Hill Education.
- Laguna-Torres, C. A., González-López, J. R., Guerra-Cossío, M. Á., Guerrero-Baca, L. F., Chávez-Guerrero, L., Figueroa-Torres, M. Z., & 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.
- Lange, A. (2018). *Material imagination: The architecture of Wallace Neff*. University of California Press.
- Lan, G., Wang, T., Wang, Y., & Zhang, K. (2023). Seismic performance of interlocking compressed-earth block composite walls. *Composite Structures*, 308.
- López-Arce, P. (2012). Caracterización de ladrillos históricos. En *La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio* (75-84). Facultad de Ciencias Geológicas IGEO: Programa Geomateriales.
- Minke, G. (2006) *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser. Basel.
- Neufert, E. (2012). *Architects' data* (4th ed.). Wiley-Blackwell.
- Ouma, J., Ongwen, N., Ogam, E., Auma, M., Fellah, Z. E. A., Mageto, M., Mansour, M. B., & Oduor, A. (2023). Acoustical pro-

perties of compressed earth blocks: Effect of compaction pressure, water hyacinth ash and lime. *Case Studies in Construction Materials*, 18.

- Pastor, M. (2016). Aproximación al estudio arqueológico de la construcción con tierra y a su aplicación a la arquitectura prehistórica. *Revista V Jornadas de Investigación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante*.
- Pacheco, F. y Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512-519.
- Pérez, L. (2016). *Building with Plaster*. Gustavo Gili.
- RAE. (2014). *Bajareque*.
- Ramsin Rayeesulhaq, M., Lizan Ahamed, M., Arsalan Khushnood, R., & Anis Khan, H. (2024). Optimization in recipe design of interlocking compressed earth blocks by incorporating fine recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 416.
- Rigassi, V. (1985). *Compressed Earth Blocks: Manual Of Production*. Network. GATE/BASIN.
- Rodríguez, J. (2018). *The Evolution of Modern Architecture*. Alianza Editorial.
- Schade, J. P., & Olson, K. J. (2011). Historic Brickwork: Development, Decay, and Conservation. *APT Bulletin*, 42(4), 29-36.
- Schroeder, H. (2016). *Sustainable Building With Earth*. Springer.
- Stadler, G., & Schiftner, A. (2018). Smart Walls: A Revolution in Building Technology. *Architectural Design*, 88(5), 26-33.
- Thompson, B. H. (2003). *Gypsum Construction Handbook*. John Wiley & Sons.
- 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., & 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.
- Van Damme, H., & 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). Barcelona, España.

Sitios web

- www.cannabric.com. CANNABRIC. Recuperado en febrero de 2023
- www.claytec.de. ClayTec. Recuperado en febrero de 2023
- www.da-do.at. Dado Lehm. Recuperado en febrero de 2023
- www.earthman.at/. Earthman. Recuperado en febrero de 2023
- ww.fetdeterra.com. Fetdeterra. Recuperado en febrero de 2023
- www.ecopaja.com. ECOPAJA. Recuperado en febrero de 2023
- www.lehmbauwerk.de. Lehmbauwerk. Recuperado en febrero de 2023
- www.lehmtonerde.at/de. Lehm Ton. Recuperado en febrero de 2023
- www.rammedearthworks.com. Rammed Earth Works. Recuperado en febrero de 2023

CRÉDITOS DE FIGURAS

- Portada. Construcción sostenible con tierra y madera. Ilustración realizada por: Juan Carlos Calderon - David Saavedra (2024)
- Figura 1.1.1 Muro de carga. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 1.1.2 Tabique divisor. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 1.3.1 Tabiques móviles. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 1.3.2 Tabiques fijos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 1.4.1 Evolución tecnológica de Tabiques. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.1.1 Ruinas Medio Oriente -Mapa. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.1.2 Tabique de Adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.0 Elaboración de bloques de adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.1 Construcción de tabiques con adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.2 Ejemplo molde de madera para adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.3 Curva granulométrica optimizada para adobes. Adaptado de Gernot M. (2006). Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.4 Características del material necesario para la fabricación de adobes. Adaptado de Gernot M. (2006). Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.5 Diferentes moldes para adobes tradicionales. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)

por: Valeria Carrera. Color : Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)

- Figura 2.2.6 Adición de fibras. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.7 Amasado de la tierra. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.8 Mezcla de la tierra. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.2.9 Fabricación de adobes con mezcla plástica. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.10 Fabricación de adobes con mezcla semiplástica. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.11 Fabricación de adobes con moldes. Ilustración realizada por: Valeria

Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.2.12 Fabricación de adobes aserrados. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.13 Fabricación mecanizada de adobes. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.14 En la configuración de tabiques es importante el trabajo de aparejo de adobes. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.15 El trabajo con el mortero es importante en la configuración de tabiques de adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.16 Unión entre tabiques de adobe. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.2.17 Fortalecimiento de esquinas con mampuestos más resistentes. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.18 Refuerzo de tabiques de adobe con estructuras auxiliares. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.2.19 Refuerzo de tabiques de adobe con estructuras auxiliares. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.0 Aplicación de COB en el entramado. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.1 Rollizos verticales de paja con barro. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.2 Carretes de paja con barro. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.3 El bahareque y la quinchá. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.4 Técnica del mortero de barro proyectado sobre entramados. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.5 Construcción de tabiques con bahareque. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.6 Ejemplos de entramados en tabiques de bahareque. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.7 Variantes de la técnica del bahareque. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.8 El comportamiento térmico de un tabique de bahareque puede

ser optimizado en climas extremos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.3.9 Partes que conforman un tabique con entramados y barro. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.10 Configuración de la estructura con diferentes materiales y uniones. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.11 Partes que conforman la estructura de un tabique con entramados. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.12 Preparación de las fibras. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.3.13 A más del bahareque relleno, existen variantes de bahareque alivianado o hueco. Ilustración realizada

por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.3.14 Ejemplos de diferentes técnicas de colocación del barro con la paja sobre el entramado (A-B-C-D). Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.0 Ejemplo de un tabique de tapial confinado por dos pilares. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.1 Ejemplo del proceso constructivo mediante encofrados de un tabique de tapial. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.2 Construcción de tabiques con tapial. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.3 Ejemplo de muro de tapial y de bloques de tierra. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.4.4 Conformación de muro de tapial mediante encofrados. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.5 Características del suelo recomendado para tierra apisonada. Adaptado de Houben y Guillaud (2008). Earth Construction, CRATerre Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.6 Extracción y transporte de tierra mediante maquinaria. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.7 Tamizado y selección de los componentes granulométricos idóneos para el tapial. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.8 Pulverización del suelo mediante maquinaria. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.9 Ejemplos de diferentes sistemas de encofrados (A-B-C). Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.10 Encofrado deslizante horizontal. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.11 Encofrado deslizante vertical. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.12 Encofrado integral horizontal. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.13 Encofrado integral vertical. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.14 Diferentes tipos de encofrados móviles. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.15 Encofrados con diferentes respuestas formales. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.4.16 Los encofrados y el tratamiento de las esquinas. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.17 Apisonadores manuales. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.4.18 Apisonadores mecánicos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.1 El uso del BTC en el proyecto Kirinda Houses. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderon - Valeria Carrera, a partir de información recolectada de: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/kirinda-house>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.2 BTC, proyecto Kirinda Houses. Imagen realizada por: Juan Carlos Calderón. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.3 BTC, Axonometría de proyecto Kirinda Houses. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra, a partir de información recolectada de: <https://images.app.goo.gl/59XF4N1gYv2EGdDSA>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.4 El uso de los bloques de tierra en el proyecto Lienzo de Barro. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra, a partir de información recolectada de: <https://www.archilovers.com/projects/120279/casa-lienzo-de-barro.html>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.5 El uso de los bloques en sinergia con elementos estructurales de acero y hormigón. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.6 Tabiques con BTC empleados por la oficina de arquitectura Schauer+Volhard en Alemania. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.7 Tabiques con BTC empleados por la oficina de arquitectura Schauer+Volhard en Alemania. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.5.8 Tabique con elementos compuestos con paja y revocos de arcilla. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.9 Tabiques con elementos compuestos con paja y revocos de arcilla. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.10 El uso de bloques prefabricados de tapial de gran formato en el proyecto Ricola Kräuterzentrum. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderon - Valeria Carrera, a partir de información recolectada de: <https://www.archilovers.com/projects/120279/casa-lienzo-de-barro.html> Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.11 El uso de bloques prefabricados de tapial de gran formato en el proyecto Ricola Kräuterzentrum. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.12 Es importante la Impermeabilización y el trabajo en sinergia con los elementos constructivos en hormigón armado. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.13 | Tapialblock, bloques de tierra compactada de la empresa Fedeterra. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderón, a partir de información recolectada de: <https://www.fedeterra.com/>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.14 Tapialblock, bloque de tierra compactada de 8 x 100 x 15 cm. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderón, a partir de información recolectada de: <https://www.fedeterra.com/>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.15 Tapialblock, Análisis gráfico del ciclo de vida del producto. Adaptado de la empresa Fedeterra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.16 | Tabique de hormigón de arcilla siendo desencofrado. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.17 Detalle de tabique de hormigón de arcilla construido en 2018 para el proyecto Groupe scolaire Paul-Bayrou à Saint-Antonin-Noble-Val, Tarn-et.

Ilustración realizada por: Valeria Carrera.
Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.5.18 Detalle de tabique de hormigón de arcilla construido en 2028 para el proyecto Pépinière d'entreprises à Saint-Clair-de-la-Tour, Isère, Reach & Scha. Ilustración realizada por: Valeria Carrera, a partir de <https://www.darchitectures.com/le-cap-pole-entrepreneurial-saint-clair-de-la-tour-a4180.html> . Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.19 Bahareque, proyecto Pabellón de Producción Vinícola en Talca. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderon - Valeria Carrera, a partir de información recolectada de: https://www.caue49.com/architecture-en-terre-daujourd'hui/180208_architerre_expo_francais-basse-def-114/ . Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.20 Quincha prefabricada - Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 2.5.21 | Detalles - Quincha prefabricada - Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI. Ilustración realizada

por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 2.5.22 Sistema reinterpretado de entramados de bahareque. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 2.5.23 Tipos de paneles. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.1 Bloque de tierra comprimida - BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.2 Acabados uniformes - BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.3 Cadena de proceso de elaboración de BTC mediante una prensa manual. Ilustración realizada por: Juan Carlos Calderón. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)

- Figura 3.2.4 Ejemplos de prensas mecanizadas. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024), a partir de información recolectada de: Houben, H. y Guillaud, H. (2008). Earth Construction, CRATerre.
- Figura 3.2.5 Francois Cointeraux - Bloques de tierra comprimida, 1803. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.6 Prensa de bloques de tierra comprimida CINVA RAM. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.7 Proceso de prensado mediante máquina CINVA RAM. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.8 Proceso de producción industrializado de BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.9 Nomenclatura habitualmente utilizada para designar las partes de los BTC según la norma UNE 41410:2023. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.10 Ejemplos de diferentes tipos de bloques de tierra comprimida articulados y bloques accesorio. Ilustración realizada por: David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.11 Ejemplo de bloques articulados_sistema de bloques Lamars. Ilustración realizada por: David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo. (2024)
- Figura 3.2.12 Ejemplo de una geometría apta para ensamblaje en seco de BTC. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderón, a partir de información recolectada de: <https://www.feldeterra.com/>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.2.13 Granulometría recomendada de tierras para fabricación de BTC. Adaptado de Minke (2006), Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.2.14 Zona recomendada en el diagrama de plasticidad de tierras para

fabricación de BTC. Adaptado de Minke (2006), *Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Birkhäuser. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.2.15 Comparación de la resistencia a compresión entre diferentes materiales convencionales y el BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.2.16 Comparación del comportamiento térmico entre diferentes materiales convencionales y el BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.2.17 Comparación del comportamiento acústico entre diferentes materiales convencionales y el BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.2.18 Comparación de las características sostenibles entre diferentes materiales convencionales y el BTC. Ilustración realizada por: Valeria Carrera Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.1 Palacio Katsura, siglo XVII, Japón. Ilustración realizada por: Valeria

Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.2 Existe una gran variedad de acabados y tipos de madera. Imagen modificada por: Juan Carlos Calderón, a partir de información recolectada de: <https://www.behance.net/gallery/29939713/T-A-N-G-R-A-M-A>. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.3 Ejemplos de ensambles del manual Ying-tsao Fa-shih. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.4 Tabiques tradicionales en la arquitectura japonesa modulados a partir de las dimensiones del Tatami. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.5 Sistema Balloon frame. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.6 Tabique con troncos aserrados directamente apilados. Ilustración realizada

por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.7 Tabiques monolíticos de madera laminada. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.8 Tabique de entramado vertical con bastidores de madera. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.9 Sistema de entramado que incluye verticales. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.10 Diferentes tipos de uniones entre tabiques con bastidores (A-B-C). Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.11 Unión con pasadores. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.12 Unión con ángulos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.13 Unión con conectores. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.14 Unión con conectores múltiples. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.15 Unión con conectores dentados. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.16 Unión con ensambles. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.17 Ejemplos de ensambles longitudinales (A-B). Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)

- Figura 3.3.18 Ejemplos de ensambles oblicuos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.19 Ejemplos de ensambles en ángulo y en cruz (A-B). Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.20 Ejemplos de ensambles planos. Ilustración realizada por: Valeria Carrera. Color: Cristina Ayora - David Saavedra. Diagramación texto e imágenes: Mateo Araujo (2024)
- Figura 3.3.21 Características del seique. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.22 Características del cedro. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.23 Características de la teca. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.24 Características del nogal. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.25 Características del chanul. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.26 Características del eucalipto. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.27 Características del pino. Realizado por Arpi et al. (2018)
- Figura 3.3.29 Características del ciprés. Realizado por Arpi et al. (2018)
- FIGURA 4.0 Línea de tiempo y energía incorporada en los materiales. Realizado por Juan Carlos Calderón, a partir de datos recopilados de: Venkatarama Reddy, B. V. (2009). Sustainable materials for low carbon buildings. International Journal of Low-Carbon Technologies, 4(3), 175–181.

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 agradecemos de manera especial a los ex alumnos de la Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte, ahora colegas arquitectos:

- Araujo Gómez Diego Mateo, Diseño Preliminar de Prototipo - Diseño y Diagramación del libro.
- Ayora Tello Diana Cristina, Diseño Prototipo - Coloración de Ilustraciones - Diagramación del manual.
- Barbecho Asmal Paul Esteban, Diseño Preliminar de Prototipo
- Carrera Lazzo Valeria Alejandra, Ilustraciones a mano alzada y técnica del libro.
- Gálvez Balarezo Doménica Camila, Diseño Preliminar de Prototipo
- Idrovo Soliz Ana Sofía, Diseño Prototipo - Diagramación del manual.
- Mosquera Maldonado Ana Natalia, Diseño Preliminar de Prototipo
- Rivera Palacios Nicolás Santiago, Diseño Preliminar de Prototipo
- Santacruz Alvarado Daniel Nicolás, Diseño Preliminar de Prototipo
- Saavedra Ortega David Eugenio, Diseño Prototipo - Coloración de Ilustraciones - Diagramación del manual - Renderizado.

por su valiosa contribución al proyecto de investigación del que se desprende este libro.



Este libro se terminó de imprimir y encuadernar
en junio de 2024 en el PrintLab de la Universidad del Azuay,
en Cuenca del Ecuador



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY

Casa
Editora

Los tabiques han sido elementos esenciales en la arquitectura y la construcción desde tiempos remotos hasta la actualidad. La necesidad de dividir espacios interiores ha impulsado el desarrollo de diversos materiales y sistemas constructivos a lo largo de la historia. En los siglos XIX y XX, los avances científicos y tecnológicos llevaron a la industrialización de materiales como el acero, el hormigón y los ladrillos cerámicos. Sin embargo, estos avances no consideraron su impacto ambiental y huella ecológica.

La tierra, especialmente la arcilla, ha sido uno de los materiales más sostenibles empleados en la construcción a través de técnicas tradicionales como el adobe, el bahareque y el tapial. Pese a ser relegada tras la revolución industrial, la tierra sigue siendo relevante para la construcción sostenible. La madera, otro material clave, se ha combinado con tierra en sistemas mixtos. Aunque la deforestación ha sido un problema, hoy se promueven prácticas de cultivo sostenible para asegurar su disponibilidad sin dañar el ecosistema.

La arquitectura contemporánea, respondiendo a la crisis ambiental del siglo XXI, ha vuelto a enfocarse en materiales sostenibles y técnicas de construcción a base de tierra y madera. Este libro examina el uso de estos materiales en la fabricación de tabiques, desde técnicas tradicionales hasta tecnologías modernas en estructuras mixtas. Se presentan prototipos de tabiques sostenibles, modulares y prefabricados que incorporan bloques de tierra comprimida y estructuras de madera, cumpliendo con los requisitos de la arquitectura moderna y ofreciendo alternativas que minimizan el impacto medioambiental en comparación a los sistemas convencionales. Además, proporciona herramientas conceptuales y prácticas para arquitectos, diseñadores y constructores interesados en modelos constructivos sostenibles que incorporan los materiales antes mencionados.

ISBN: 978-9942-645-95-1



9 789942 645951