

UTILIZACIÓN DE MICELIO EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO

Componentes compuestos para la edificación modular de vivienda colectiva

Nicolás Pizarro Oyarzún

UTILIZACIÓN DE MICELIO EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO

Componentes compuestos para la edificación modular de vivienda colectiva

por

NICOLÁS ENRIQUE PIZARRO OYARZÚN

Profesores Guía

Francisco Chateau | Sebastián Rozas

Tesis presentada a la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad
Católica de Chile para optar al título profesional de Arquitecto con Magíster
en Arquitectura Sustentable y Energía.

Marzo, 2024
Santiago, Chile

ABSTRACT

Dentro de las últimas dos décadas, los componentes basados en **micelio** han surgido como una alternativa prometedora en la arquitectura debido a su **ligereza**, baja energía incorporada y biodegradabilidad. El diseño y experimentación con prototipos que utilizan este biomaterial ha aumentado, con el objetivo de explorar su potencial y ofrecer alternativas que permitan reducir la huella de carbono ocasionada por la construcción. A pesar del creciente interés en el micelio, su alcance se ha limitado a productos experimentales de menor escala, paneles de tabiquería y pabellones temporales, los cuales no requieren una resistencia estructural significativa. Lo anterior se debe primordialmente a que sus capacidades mecánicas todavía se encuentran en desventaja en contraste con los materiales tradicionales, en términos de rigidez, deformación y resistencia a la tracción y la compresión.

Frente a este contexto, la presente investigación se centra en la exploración de las propiedades estructurales y capacidades mecánicas del micelio, con el fin de poder ser utilizado en un contexto de mayor escala y durabilidad. Para ello, se identificarán las estrategias necesarias para aumentar la **resistencia estructural** de los componentes basados en este biomaterial, a través de una revisión sistemática del estado del arte de los componentes de micelio, la recabación de operaciones utilizadas en sistemas constructivos existentes, y la exploración con prototipos. El propósito es poder integrar estas estrategias en el desarrollo de un sistema constructivo experimental de dos a tres pisos de altura utilizando micelio como material principal.

El uso del micelio en el desarrollo experimental del sistema constructivo se basará en sus propiedades mecánicas y su capacidad de trabajar como **material compuesto** en diversas estrategias de refuerzo y confinado que permitan aumentar su resistencia estructural. Se elaborará el diseño de piezas y **componentes prefabricados** capaces de ser utilizados de manera **modular** en el montaje de este sistema, considerando las estrategias identificadas. En última instancia, se llevará a cabo el diseño de dos proyectos de arquitectura utilizando el sistema constructivo desarrollado, con el objetivo de explorar, evaluar y analizar los alcances del micelio en la arquitectura y la construcción.

Palabras clave: micelio, ligereza, resistencia estructural, material compuesto, prefabricación, construcción modular.

Capítulo I. Formulación de la investigación

- 1.0**Contexto de la investigación
 - 1.0.1Construcción con peso mínimo
 - 1.0.2Uso de materiales de baja energía
 - 1.0.3Construir sobre lo construido
- 1.1**Introducción
- 1.2**Marco conceptual
- 1.3**Problema de investigación
- 1.4**Objeto de estudio
- 1.5**Objetivos
 - 1.5.1Objetivo principal
 - 1.5.2Objetivos específicos
- 1.6**Preguntas de investigación
 - 1.6.1Pregunta principal
 - 1.6.2Preguntas específicas
- 1.7**Hipótesis
- 1.8**Metodología

Capítulo II. Estado del arte

- 2.1**Micelio
- 2.2**Cómo fabricar con micelio
- 2.3**Proyectos y componentes
- 2.4**Tesis universitarias

Capítulo III. Referentes de sistemas y técnicas constructivos

- 3.1**Sistemas constructivos patentados
 - 3.1.1Panel SIP
 - 3.1.2Sistema VAP
 - 3.1.3Sistema COVINTEC
 - 3.1.4Sistema ESPANSIVA
- 3.2**Técnicas constructivas
 - 3.2.1Entramado
 - 3.2.2Capitoné (punto de edredón)
 - 3.2.3Contención
 - 3.2.4Tapiales

Capítulo IV. Exploraciones y diseños preliminares

- 4.1**Diseño de prototipos
- 4.2**Resultados
- 4.3**Diseño de propuestas preliminares
 - 4.3.1Refuerzo y contención simple
 - 4.3.2Entramado
 - 4.3.3Contención simple
 - 4.3.4Capitoné
 - 4.3.5 Conclusión de diseños preliminares

Capítulo V. Exploración con probetas

- 5.1**Serie con material espuma
 - 5.1.1Serie comparativa
 - 5.1.2Serie explorativa
 - 5.1.3Resultados y conclusiones
- 5.2**Serie con probetas de micelio
 - 5.2.1Planteamiento de las exploraciones
 - 5.2.2Fabricación de moldes
 - 5.2.3Consideraciones
 - 5.2.4Fabricación serie A
 - 5.2.5Fabricación serie B (fallido)
 - 5.2.6Fabricación serie B (final)
 - 5.2.7Ensayo serie A
 - 5.2.8Ensayo serie B
 - 5.2.9Comparación de resultados
 - 5.2.10Conclusiones

Capítulo VI. Desarrollo prototipo de componente constructivo

- 6.1**Condiciones de diseño
- 6.2**Fabricación de pieza constructiva
- 6.3**Armado de componentes
 - 6.3.1Verticales
 - 6.3.2Horizontales

Capítulo VII. Desarrollo de módulos constructivos

- 7.1** ...Estudio de condiciones habitabilidad
 - 7.1.1Medidas de mobiliario básico
 - 7.1.2Circulaciones de mobiliario
 - 7.1.3Iteración de recintos
- 7.2**Elección de grilla estructural
 - 7.2.1Iteración de recintos con grillas
 - 7.2.2Estudio de eficiencia de grillas
- 7.3**Dimensión de los módulos
 - 7.3.1 ...Comparación espacial grilla 30x30
 - 7.3.2Modulación resultante

Capítulo VIII. Sistema constructivo

- 8.1**Consideraciones iniciales
 - 8.1.1Catálogo de piezas
- 8.2**Catálogo de componentes
 - 8.2.1Verticales
 - 8.2.2Horizontales
- 8.3**Ensamblaje de componentes
- 8.4**Armado de módulos
- 8.5**Vanos y uniones entre módulos
- 8.6**Paso a paso constructivo
- 8.7**Detalles constructivos

Capítulo IX. Propuestas de arquitectura

- 9.1**Construir sobre lo construido
- 9.2**Referentes arquitectónicos
 - 9.2.1Museo Soane - John Soane
 - 9.2.2Immueble Villa - Le Corbusier
 - 9.2.3Termas de Vals - Peter Zumthor
 - 9.2.4Casa N - Sou Fujimoto
- 9.3**Propuesta I - Villa Olímpica
 - 9.3.1Antecedentes de proyecto
 - 9.3.2Departamento compartido
 - 9.3.3Dúplex tradicional
 - 9.3.4Dúplex extendido
 - 9.3.5Estudio
 - 9.3.6Uso de tipologías
 - 9.3.7Emplazamiento en el contexto
- 9.4** ..Propuesta II- Remodelación San Borja
 - 9.4.1Antecedentes de proyecto
 - 9.4.2.....Adulto mayor
 - 9.4.3Dúplex extendido
 - 9.4.4Estudio compartido
 - 9.4.5Uso de tipologías
 - 9.4.6Emplazamiento en el contexto

Capítulo X. Conclusiones finales

Anexo.

- A.1**Curso de biomateriales
- A.2**Proyecto según sistema preliminar

Bibliografía.

CAPÍTULO 1. Formulación de la Investigación

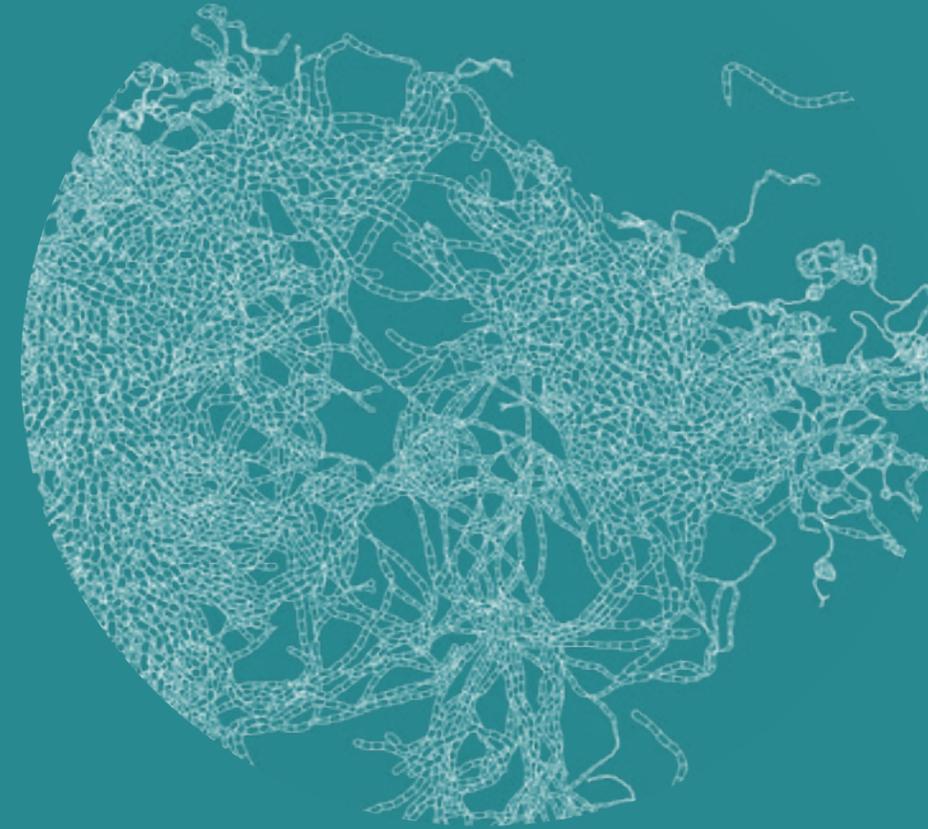


Fig. 1 *Ilustración de micelio.*
Fuente: Ryan Alexander en OneCM

1.0 Contexto de la investigación

El desarrollo de la investigación se enmarca en el contexto del taller de investigación avanzada y proyecto de título “Formas Constructivas (construidas) de Baja Energía”, el cual tiene como objetivo el desarrollo de sistemas materiales de baja energía, bajo peso y bajo costo de operación. Se prevé la incorporación de dichos sistemas en el desarrollo teórico de un proyecto de arquitectura, enfocado en la construcción de equipamientos y viviendas en azoteas de edificaciones existentes. De esta forma, el taller plantea el trabajo a partir de tres premisas principales:

1.0.1 Construir con peso mínimo

Esta premisa supone que el bajo peso de un material permitiría reducir la huella de carbono presente en una edificación, en tanto que disminuiría la cantidad de fundaciones necesarias para sostener el edificio, así como también aminorar los costos operativos de transporte e invertir una menor cantidad de energía. De esta manera,

construir con materiales de bajo peso incide en el desempeño de las edificaciones a construir, por lo cual la investigación tendrá un enfoque en la utilización de materiales livianos, tales como el micelio fúngico y la madera, capaces de disminuir la huella de carbono total del proyecto a desarrollar.

1.0.2 Materiales de baja energía

Como se mencionó en la premisa anterior, la elección de un material liviano incide en una disminución de la energía invertida, esto tanto por temas constructivos como de transporte. En ese sentido, ciertos materiales, tales como el micelio fúngico y la madera, cobran una vital relevancia en la reducción de la huella de carbono. Dicha reducción puede deberse a la conformación microscópica de los materiales, de donde se puede extraer información acerca de sus propiedades y de qué manera podrían utilizarse de manera óptima.

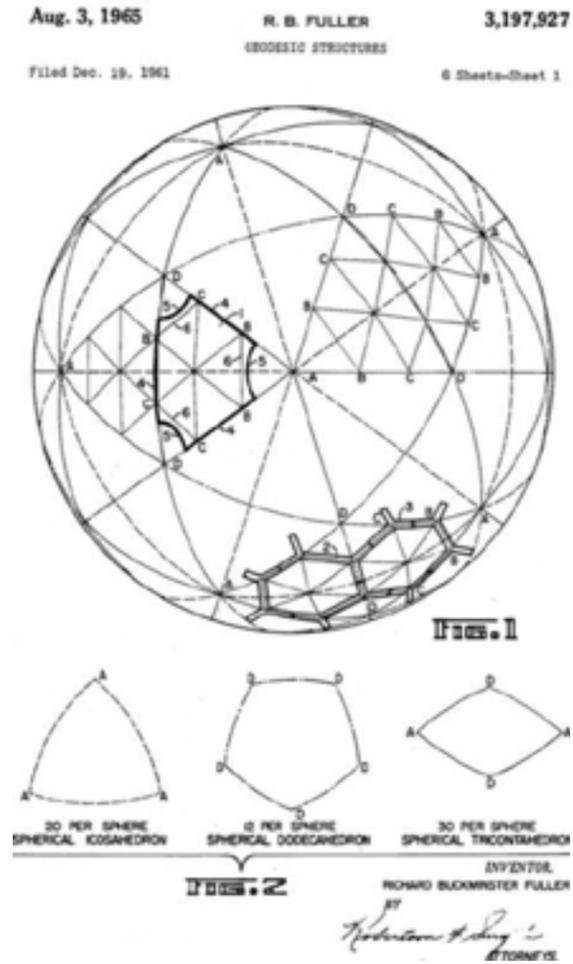


Fig. 2

Fig. 2 Estructuras geodésicas de Fuller. Fuente: Imagen extraída de la presentación de “TIP Biomateriales + OPRS” por Francisco Chateau.

1.0.3 Construir en construido

Se propone la idea de aprovechar las edificaciones existentes para realizar una nueva edificación, específicamente en las azoteas de estas. De esta manera, se promoverá el aumento del ciclo de vida de las construcciones, así como también la reactualización de estos en cuanto a las condiciones de vida contemporáneas.



Fig. 3

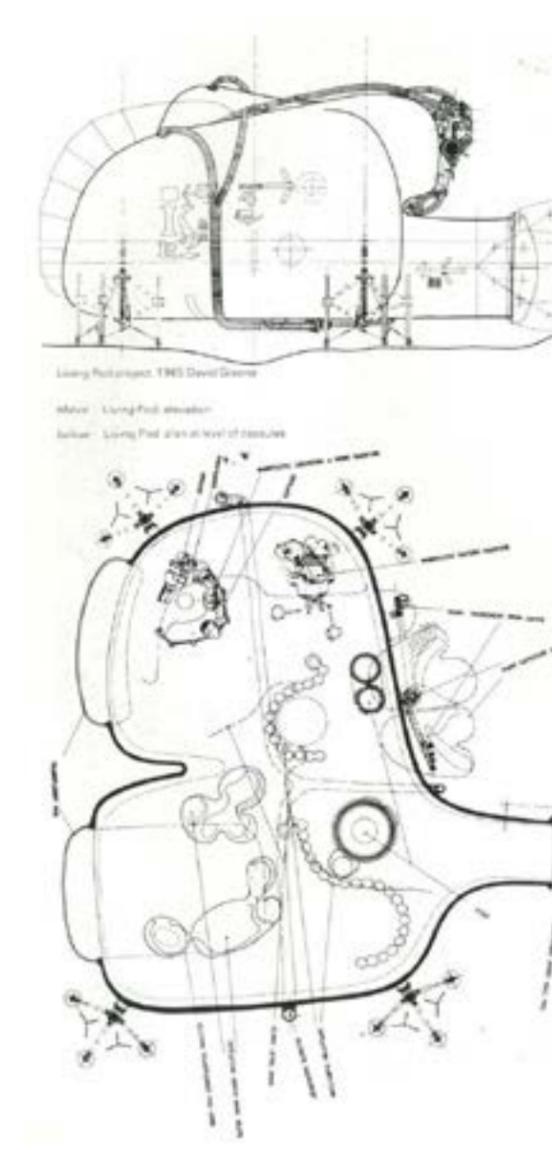


Fig. 4

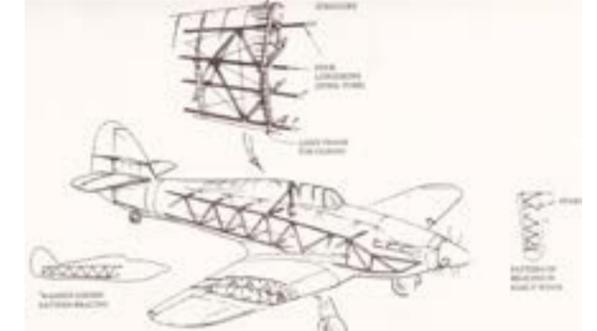


Fig. 5

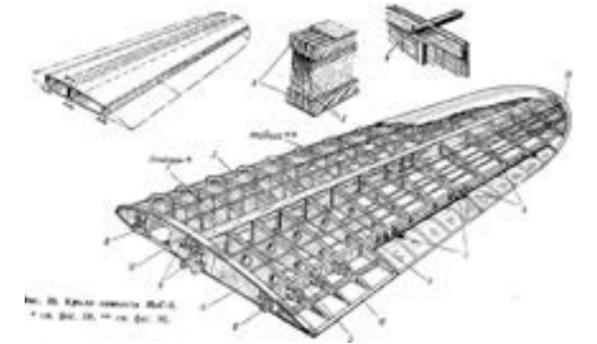


Fig. 6

Fig. 3 Elaborada ceremonia de inauguración de la Cité Radieuse Marseilles, 1952. Fuente: Extraído de “Cheek by Jowell” por Fulcher, M.

Fig. 4 Living Pod. Fuente: Imagen extraída de la presentación “TIP Biomateriales + OPRS” por Francisco Chateau.

Fig. 5 Hawker Hurricane Fuente: The Perceptual Origins of Mathematics en WordPress.

Fig. 6 Hurricane Wing. Fuente: Ibid.

1.1 Introducción

En la búsqueda continua de soluciones sustentables en el campo de la construcción, el micelio ha surgido como una alternativa prometedora que ha captado la atención tanto de la comunidad académica como de la industria comercial. Esto se debe a su potencial de ser utilizado en componentes biofabricados que podrían disminuir significativamente el impacto ambiental asociado con los métodos de construcción tradicionales, pues destaca por su biodegradabilidad y su ligereza (Elsacker et al., 2019). Es así como durante las últimas dos décadas ha habido un auge en la experimentación de componentes de micelio, tanto en diseño como en arquitectura, con el objetivo de explorar las posibilidades de este biomaterial en sus distintas áreas.

Sin embargo, cabe destacar que el uso del micelio se encuentra todavía en una etapa explorativa, especialmente en el ámbito de la construcción. Actualmente, la

investigación se ha centrado en productos experimentales de menor escala, paneles de tabiquería y pabellones temporales de arquitectura, los cuales no requieren una resistencia estructural significativa. Esto se debe a que las capacidades mecánicas de los componentes de micelio aún son inferiores en comparación con los materiales convencionales y a la baja estandarización (Bitting et al., 2022).

Ante este panorama, resulta necesario explorar y evaluar estrategias capaces de incrementar la capacidad estructural del micelio mediante la experimentación con diversas operaciones de reforzamiento interior y confinamiento (Rigobello et al., 2022). El objetivo es que este biomaterial mejore en términos de rigidez, deformación y resistencia a la tracción y la compresión, de manera que pueda ser utilizado en contextos constructivos de mayor escala y durabilidad de forma competitiva.

La presente investigación propone explorar el potencial del micelio a través del desarrollo



Fig. 7

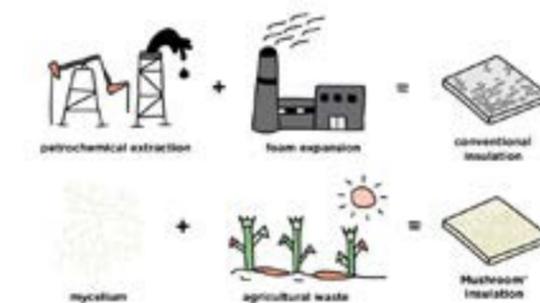


Fig. 8

Fig. 7 *Detalle de micelio.*

Fuente: Extraída de Agrocontinental Chile

Fig. 8 *Comparación de aislante convencional con aislante basado en hongos.*

Fuente: Ecovative en ArchDaily

de un sistema constructivo de dos a tres pisos basado en este material. Para lograrlo, se llevará a cabo una revisión del estado del arte sobre el uso del micelio en el ámbito de la construcción, así como una serie de exploraciones con prototipos que permitirán determinar estrategias que incrementen su capacidad estructural.

En última instancia, se espera que esta investigación contribuya al conocimiento existente sobre el micelio como biomaterial en la construcción y permita repensar los límites de su uso, fomentando la continuación de su experimentación en el ámbito de la arquitectura. El propósito es seguir avanzando en la investigación de materiales sustentables, ligeros y de baja energía incorporada.



Fig. 9



Fig. 10

Fig. 9 *Tree Column.*

Fuente: Blast Studio.

Fig. 10 *Refugio Fúngico.*

Fuente: Valentín Mora en ArchDaily.

1.2 Marco conceptual

La presente investigación se enmarcará dentro de los siguientes conceptos, los cuales permitirán delimitar con propiedad los alcances de esta:

Micelio

“Mycelium is the network of interwoven, thread-like hyphae that constitute the vegetative part of mushrooms. A ‘hypha’ is the most basic developmental unit of filamentous fungi, which grows by extending and branching their hyphae into a substance”.

(Kavanagh, 2011 en Karana et al., 2018).

Ligereza

“Levedad o poco peso de algo”.

(Real Academia Española, [2024]).

En cuanto a la arquitectura, la ligereza de un material puede asociarse a la sustentabilidad, en tanto que disminuiría la cantidad de fundaciones y los costos de transporte, invirtiendo menos energía.

Resistencia estructural

“La Resistencia de materiales puede considerarse como aquella parte de la mecánica de sólidos deformables que resulta de aplicar la teoría de la elasticidad a un tipo restringido de problemas que se plantean en el día a día de la ingeniería estructural para posibilitar su resolución de formas analítica”.

(Cervera y Blanco, 2015).

Material compuesto

“Composite materials emerged in the middle of the 20th century as a promising class of engineering materials providing new prospects for modern technology. Generally speaking, any material consisting of two or more components with different properties and distinct boundaries between the components can be referred to as a composite material”.

(Vasiliev et al., 2018 – Introducción).

Prefabricación

“The basic idea of prefabrication is to transfer a certain proportion of the construction work from the traditional sites to factory or other manufacturing sites (Tatum et al., 1986), so it favors the way of massive production as seen in the manufacturing industry”.

(Lu et al., 2018).

Construcción modular

“Panelised and volumetric construction, also known as modular construction, is the most efficient class of prefabricated construction since it allows for 70% to 95% of a building to be prefabricated in a factory before transporting it for onsite assembly.”.*

(Thai et al., 2020).

1.3 Problema de investigación

Es un hecho que el micelio ha sido investigado por su interés académico y comercial (Jones et al, 2019), en tanto se enmarca en una búsqueda de nuevos materiales y procesos que permitan reducir la huella ecológica de la industria proveniente del área de la construcción. Sin embargo, el uso que se le ha dado ha sido más bien experimental y enfocado en una escala menor y temporal, limitándose más bien a productos comerciales, mobiliario y pabellones de arquitectura.

El motivo de esta limitación se debe principalmente a las propiedades mecánicas que poseen generalmente los componentes basados en micelio, las cuales se encuentran en desventaja con respecto a los materiales tradicionales (ver Fig. 12), en tanto que su rigidez y resistencia tracción-compresión tiende a ser menor. Como consecuencia, dicha desventaja supone una dificultad al explorar las posibilidades del micelio en la arquitectura, puesto que una menor

rigidez provoca una mayor deformación de la edificación, mientras que una menor resistencia tracción-compresión resulta en una mayor inestabilidad estructural en muros y losas, lo cual provocaría un riesgo de colapso.

En vista de lo anterior, surge la necesidad de explorar y evaluar distintas estrategias y operaciones, tales como reforzar y confinar estos componentes biobasados, con el objetivo de aumentar su capacidad estructural y puedan ser capaces de resistir las cargas requeridas por un sistema constructivo de forma competitiva.



Fig. 11

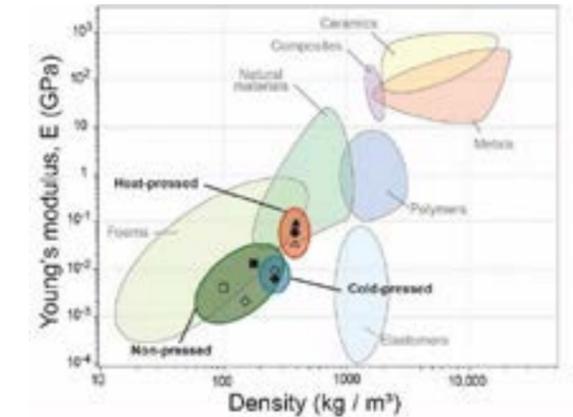


Fig. 12



Fig. 13

Fig. 11 *Hongo Ostra.*

Fuente: Extraída de Inarquía.

Fig. 12 *Tabla de familia de materiales del Módulo de Young (Gpa) vs densidad (kg / m²).*

Fuente: Freek Appels et al., 2018, adaptado de Ashby, 2005.

Fig. 13 *Aislamiento Vegano*

Fuente: Biohm.

1.4 Objeto de estudio

Esta investigación tendrá como objeto de estudio la elaboración experimental y explorativa de un sistema constructivo basado en micelio, capaz de soportar el desarrollo de una estructura de dos o tres pisos para vivienda colectiva. Para ello, se recurrirá a tres fuentes principales de información, que son:

1. Investigación del estado del arte
2. Investigación de sistemas y técnicas constructivos.
3. Exploración con prototipos estructurales.

De esta manera, con base en la información recabada y los resultados obtenidos, se podrán identificar estrategias que permitan el desarrollo del sistema constructivo mencionado.



Fig. 14



Fig. 15

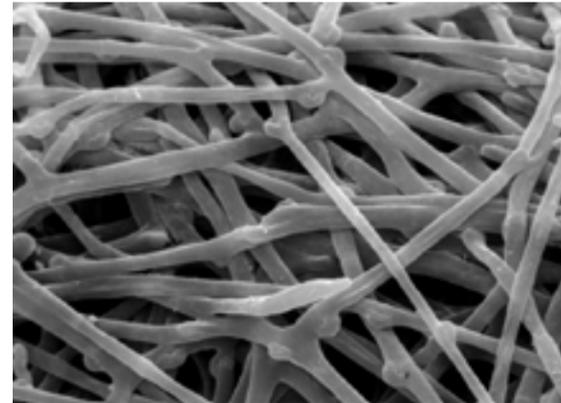


Fig. 16

Fig. 14 *Hy-Fi*.
Fuente: Andrew Nunes en ArchDaily.

Fig. 15 *Muro fabricado con micelio*.
Fuente: Siim Karro en ArchDaily.

Fig. 16 *Micelio bajo el microscopio*.
Fuente: ArchDaily.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Principal

Esta investigación tiene como objetivo principal desarrollar un sistema constructivo basado en micelio, enfocado en la experimentación y exploración de sus propiedades estructurales y capacidades mecánicas. Se busca entonces investigar sobre las estrategias necesarias para la elaboración de un sistema biobasado de dos o tres pisos destinado a vivienda colectiva, con el fin de explorar el potencial de este biomaterial en el campo de la arquitectura.

1.5.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión sistemática del estado del arte sobre el uso del micelio como material en la construcción, la arquitectura y el diseño. Se considerarán las ventajas y desventajas de cada uno, así como también sus alcances.

2. Realizar exploraciones con prototipos, fabricados con micelio o materiales similares, para identificar estrategias de refuerzo y confinado que aumenten su resistencia estructural. Se analizará el comportamiento en cuanto a su rigidez, deformación y resistencia tracción-compresión ante cargas externas.

3. Integrar estrategias estructurales en el diseño de una solución constructiva para vivienda colectiva de dos o tres pisos utilizando componentes de micelio.



Fig. 17



Fig. 18



Fig. 19

Fig. 17 *Trametes versicolor*.
Fuente: Gaia Herbs.

Fig. 18 *Desarrollo de micelio fúngico en placa de Petri*.
Fuente: Myceen en ArchDaily.

Fig. 19 *Piezas basadas en micelio*.
Fuente: Extraída de artículo web en eCapital.

1.6 Preguntas de investigación

1.6.1 Pregunta Principal

¿De qué manera se puede utilizar el micelio en el desarrollo de un sistema constructivo de dos o tres pisos para vivienda colectiva y qué estrategias estructurales son necesarias para llevarlo a cabo?

1.6.2 Preguntas Específicas

1. ¿Cómo se ha trabajado con micelio en la construcción, arquitectura y diseño hasta ahora? ¿Qué resultados se han obtenido y cuáles han sido sus alcances?
2. ¿Cómo se comporta el micelio bajo distintas estrategias de refuerzo y confinado? ¿Qué conclusiones se pueden extraer de las pruebas estructurales en términos de rigidez, deformación y resistencia tracción-compresión de los prototipos elaborados?



Fig. 20

3. ¿Qué estrategias son más efectivas para integrar componentes de micelio en el desarrollo de un sistema constructivo para vivienda colectiva de dos o tres pisos?



Fig. 21



Fig. 22

Fig. 20 *Micelio*
Fuente: Pradejoniensis en Inarquia.

Fig. 21 *Silla Klarenbeek basada en micelio*
Fuente: Dezeen en Inarquia.

Fig. 22 *Cultivo en Placa de Petri.*
Fuente: Laboratorio de Fabricación UC en Portal de Melipilla.

1.7 Hipótesis

El desarrollo de un sistema constructivo para vivienda colectiva de dos o tres pisos basado en micelio puede ser viable y efectivo en tanto se utilicen estrategias estructurales específicas de reforzado y confinado, capaces de aumentar sus propiedades en términos de rigidez, deformación y resistencia tracción-compresión.

La investigación y experimentación detallada de las cualidades propias del micelio, así como la revisión sistemática de sistemas constructivos y el análisis de sus propiedades mecánicas a través de prototipos estructurales, permitirán explorar el potencial de este biomaterial en el ámbito de la arquitectura y la construcción.



Fig. 23



Fig. 24



Fig. 25

Fig. 23 *Interior de pabellón con micelio.*
Fuente: AgroChemistry en Inarquia.

Fig. 24 *Aislante de micelio.*
Fuente: Ecovative en ArchDaily

Fig. 25 *Bloques de micelio, fase de maduración*
Fuente: Myceen en ArchDaily.

1.8 Metodología

Se propone una investigación experimental y explorativa para el desarrollo de un sistema constructivo de dos a tres pisos basado en micelio. Para ello, se propone la siguiente metodología:

- 1. Estado del arte:** se realizará una revisión del desarrollo actual del uso de este biomaterial en el campo de la construcción, la arquitectura y el diseño. El énfasis estará puesto en la identificación de ventajas y desventajas de los casos de estudio, así como también la relevancia que tiene cada uno para el desarrollo del sistema constructivo.
- 2. Revisión de sistemas y técnicas constructivos:** se llevará a cabo una investigación de casos de estudio seleccionados que utilicen materiales similares al micelio en términos estructurales, incluyendo aquellos que guarden algún interés para el desarrollo del sistema constructivo. Junto con eso,

se revisarán técnicas constructivas de refuerzo y confinado que permitan dar una idea de estrategias a implementar y explorar a través de prototipos estructurales.

- 3. Pruebas de prototipos:** se realizará una serie de pruebas estructurales, enfocadas en identificar estrategias de refuerzo y confinado con el fin de aumentar de la capacidad estructural del micelio en términos de rigidez, deformación y resistencia tracción-compresión. Para ello, se fabricarán prototipos de micelio o materiales similares y se analizarán los resultados obtenidos.
- 4. Diseño de piezas y componentes:** se elaborará un conjunto de piezas basadas en las estrategias obtenidas de las pruebas estructurales, considerando a su vez los procesos de cultivo del micelio. Estas piezas se utilizarán para la conformación de un catálogo de componentes prefabricados para el desarrollo del sistema constructivo.



Fig. 26



Fig. 27

Fig. 26 *Componente de micelio.*
Fuente: Siim Karro en ArchDaily.

Fig. 27 *Silla de micelio.*
Fuente: Ecovative.

- 5. Determinación de los módulos constructivos:** se llevará a cabo un estudio de medidas de mobiliario y recintos domésticos con el objetivo de estandarizar medidas para la conformación de módulos constructivos. Se tomará en consideración el uso de una grilla y estrategias estructurales que puedan tomar un rol importante dentro de esta etapa.

- 6. Diseño del sistema constructivo:** se desarrollará el sistema constructivo experimental de dos a tres pisos para vivienda colectiva, utilizando la información recabada en las etapas anteriores. Se considerarán lógicas de armado, unión y apertura de vanos.

- 7. Proyectos de arquitectura:** se desarrollarán dos proyectos de vivienda colectiva utilizando el sistema constructivo diseñado, con el propósito de experimentar y explorar con diseño de tipologías y propiedades arquitectónicas que otorga el uso del micelio en la construcción. Para ello se

estudiarán referentes de arquitectura y, acorde al contexto de esta investigación, se trabajará sobre azoteas de edificios existentes.

- 8. Recapitulación y reflexión:** finalmente, se concluirá con el repaso del trabajo realizado y se discutirá acerca de la aplicabilidad del uso del micelio en un contexto constructivo real.



Fig. 28



Fig. 29



Fig. 30

Fig. 28 *Shell Mycelium Pavillion.*
Fuente: Krishna & Govind Raja en Archdaily.

Fig. 29 *Detalle de utilización de bloques de micelio y madera.*
Fuente: Block Research Group en Inarquia.

Fig. 30 *Ecovative Mushroom.*
Fuente: Ecovative en Archdaily.

CAPÍTULO 2. Estado del Arte



Fig. 31 *Edible and poisonous forest mushrooms set.*
Fuente: pch.vector en FreePik.

2.1 Micelio

El micelio se define como una red de filamentos interconectados que constituyen la parte asexual de los hongos (Kavanagh, 2011 en Karana et al., 2018). Estos filamentos se denominan hifas, unas células alargadas que se encuentran separadas entre sí mediante paredes llamadas septos y confinadas por una pared celular tubular. Su crecimiento se efectúa mediante una relación simbiótica con los materiales que le sirven de alimento, extendiendo su membrana y pared celulares en la punta de la hifa (Haneef et al., 2017).

Las características del micelio pueden variar dependiendo de la cepa del hongo a la que pertenezca, dentro de las cuales podemos encontrar: *Trametes Versicolor*, *Pleurotus Ostreatus*, *Ganoderma Lucidum* y *Polyporus Squamosus*. Estas cuatro cepas son las utilizadas de forma más recurrente en diversas investigaciones científicas sobre biomateriales (Silva, 2021)

Las cepas *Pleurotus Ostreatus* y *Ganoderma Lucidum* tienen la capacidad de secretar una amplia variedad de enzimas, dentro de las cuales existen algunas que pueden degradar lignina, un componente presente en plantas. (Haneef et al., 2017). La importancia de esto radica en que los desechos agroindustriales, los cuales poseen lignina, pueden ser utilizados a modo de alimento para el micelio. De esta forma, un desperdicio que tiene un valor comercial aparentemente nulo puede convertirse, junto al micelio, en componentes de alto valor y posibilidades de uso en diversas áreas comerciales e investigativas (Bitting et al., 2022).

La utilización de micelio se enmarca entonces dentro de un paradigma que busca fomentar el modelo de economía circular, puesto que la producción de este material es en sí un proceso de baja energía y carbono neutral, abogando por la reutilización de materiales y la disminución de los residuos. Esta premisa ha captado la atención en el campo de la construcción, puesto que emisiones de carbono incorporado de

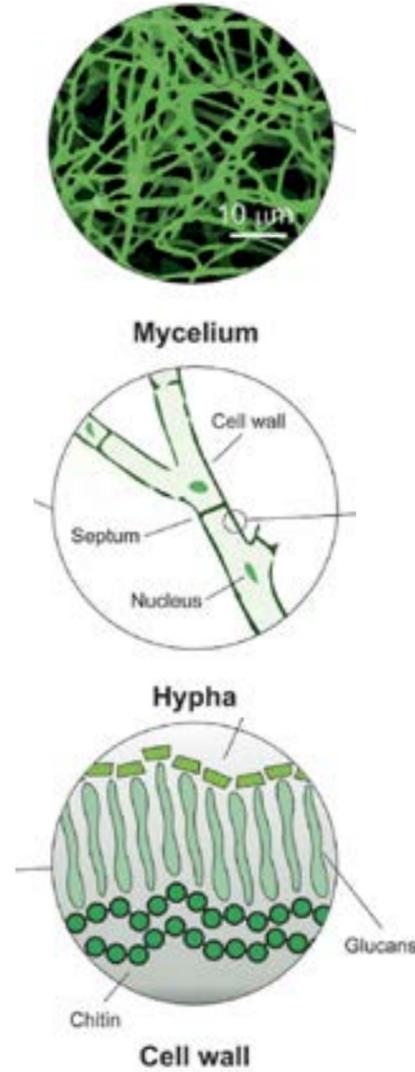


Fig. 32 Representación esquemática de la fisiología del micelio a distintas escalas.
Fuente: Muhammad Haneef et al., 2017.

este sector generan alrededor de un 38% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero. En ese sentido, el cambio en la utilización de materiales tradicionales, tales como el hormigón y el acero, por un aumento en el uso de materiales biobasados podría impactar de manera positiva en la reducción de la huella de carbono (Vašatko et al., 2022).

Las posibilidades que se abren en el campo de la arquitectura y la construcción son amplias y requieren de un enfoque multidisciplinar que permita reconocer e integrar las propiedades del micelio en su exploración. En ese sentido, comprender el funcionamiento de este biomaterial, su cultivo, crecimiento, capacidades, estructurales, así como sus ventajas y desventajas, posibilitará el desarrollo de componentes capaces de ser utilizados en la arquitectura.

Algunas de las condiciones que requiere el micelio para su crecimiento son una temperatura que ronde entre los 25 y

30°C y una humedad constante mayor a 60%. Junto con esto, cabe destacar ciertas propiedades del material, como el secado y deceso del micelio ocasionado por temperaturas mayores a 60°C, la posibilidad de tomar la figura de un molde cualquiera, como también su capacidad de colonizar un sustrato en un período de más o menos tres semanas (Karana et al., 2018).

La fabricación con micelio deberá responder, por lo tanto, a sus necesidades y características propias. Sin embargo, son estas mismas propiedades las que permiten una versatilidad en la customización de los componentes a fabricar, otorgando libertad para el diseño explorativo según los resultados que se busquen obtener.



Fig. 33

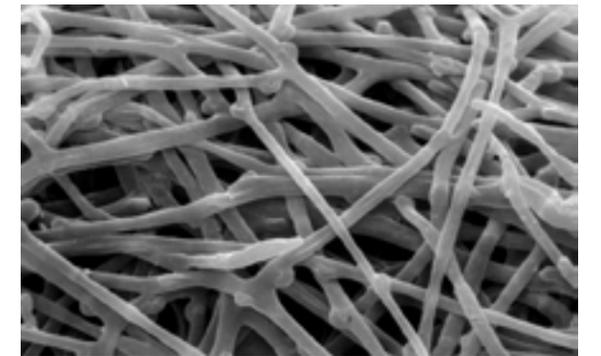


Fig. 34

Fig. 33 Crecimiento de micelio.
Fuente: Extraída de Real Mushrooms.

Fig. 34 Micelio bajo el microscopio.
Fuente: Extraída del artículo “En Detalle: Hongos Aislantes” en ArchDaily.

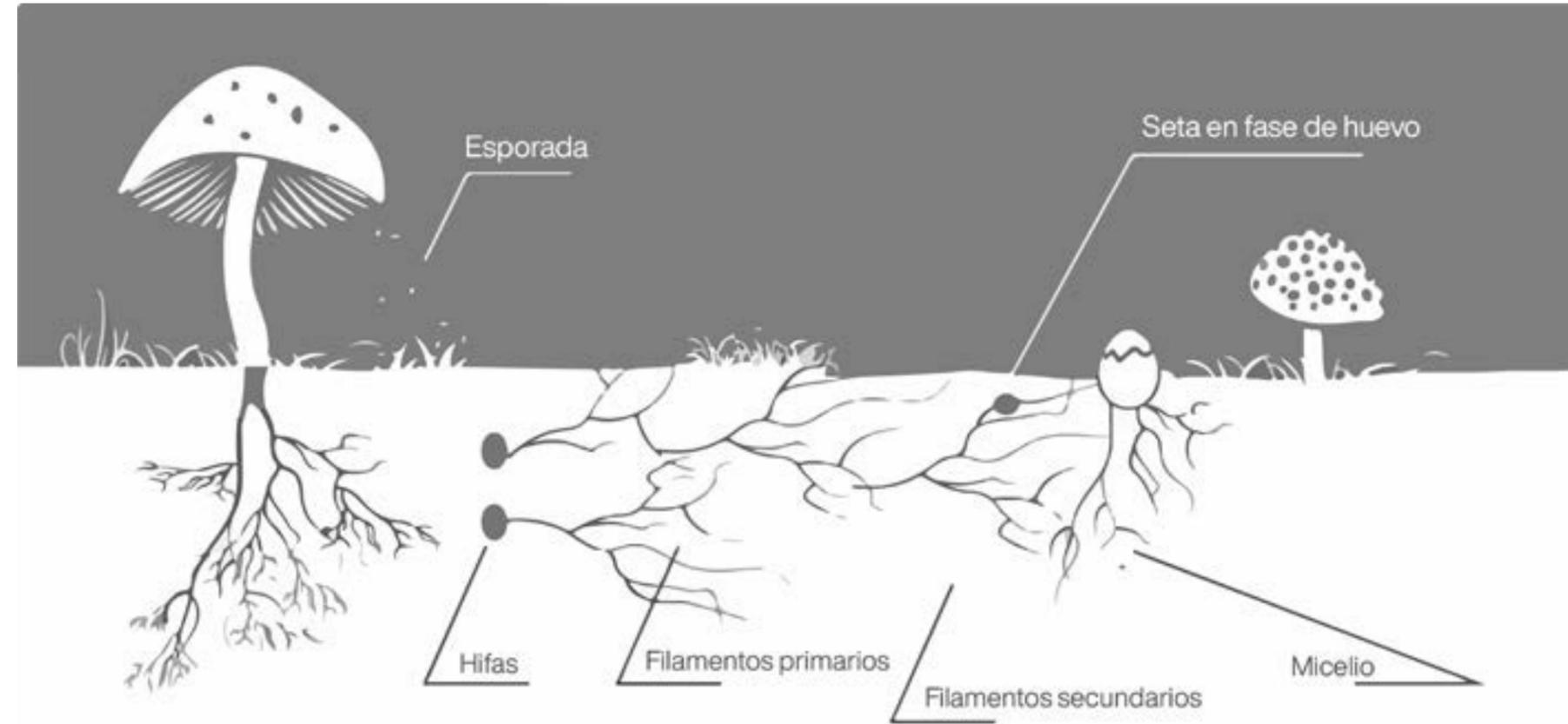


Fig. 35

Fig. 35 Editado. *Estructura de un hongo de sombrero.*
Fuente: Constanza Prado en "Manual de Fabricación con Hongos".

2.2 Cómo fabricar con micelio

La fabricación con micelio que se presentará a continuación se inscribe en la información recabada del Manual de Biofabricación con Hongos (Laboratorio de Fabricación FADEU et al., 2021), los conocimientos entregados por el equipo del Laboratorio de Biofabricación UC y las conclusiones propias obtenidas durante el trabajo en dicho laboratorio.

En primera instancia, para poder fabricar con micelio en el laboratorio es necesario contar con un cultivo *in vitro*. Este puede obtenerse mediante dos tipos de métodos: a partir de micelio y a partir de esporada. Para realizar el primer método se debe cortar con bisturí un trozo del micelio del hongo y colocarlo en una placa de Petri con medio PDA. Por otro lado, el segundo método requiere de un trozo pequeño del cuerpo fructífero del hongo, el cual se debe pegar bajo la tapa de una placa de Petri. Se recomienda el uso de ambos métodos.

Posteriormente, se puede realizar la producción de inóculo (*spawn*), la cual puede realizarse dentro de un frasco (ver Fig. 36). En primer lugar se debe hacer un agujero en la tapa del frasco y cubrirlo con algodón. El inóculo puede ser realizado en un cereal, como el arroz, el cual se debe cocinar e incorporar al frasco hasta sus tres cuartas partes para permitir la oxigenación. Posterior a eso, es necesaria la pasteurización del resultado, el que finalmente se inoculará con uno de los cultivos *in vitro*.

Una vez colonizado el *spawn*, se puede proceder a la fabricación de biomateriales, la cual se realiza mediante el depósito del inóculo en un molde con sustrato. Cabe mencionar que las cepas de los hongos utilizados son descomponedores de madera, por lo cual se necesitan sustratos que compartan sus mismos componentes, ya sea lignina o celulosa. Para los experimentos realizados en el laboratorio se optó por utilizar desechos agroindustriales, tales como viruta de álamo y pino. Por último, también es necesario considerar las condiciones óptimas para el



Fig. 36

Fig. 36 Colonización del sustrato.
Fuente: Extraída de "Manual de Fabricación con Hongos".

crecimientos del biomaterial, dentro de las cuales destacan las siguientes:

- Temperatura de 25°C
- Ambiente con oscuridad y humedad constante entre 65% y 80%.
- Mayor crecimiento en los bordes del molde en contraste con el interior
- Contar con un molde que no sea demasiado ancho
- Permitir una respiración adecuada del biomaterial a través de orificios en el molde.

Tomando en cuenta las condiciones mencionadas anteriormente, se puede proceder a la fabricación de los moldes que darán forma a los biomateriales diseñados. Una vez los moldes estén listos, se pasará a la preparación del sustrato, el cual deberá ser esterilizado en una olla a presión a 80°C - 100°C por 80 minutos y mezclado con aditivos (harina, café y cal). Se procederá a cultivar el sustrato en los moldes previamente confeccionados para luego ser ingresados en una incubadora.

Después de una semana o dos, dependiendo de la cepa de hongo utilizada, se podrá retirar de la incubadora y extraer los moldes. Cabe destacar que es importante una constante revisión del crecimiento del micelio durante el período de incubación para detectar posibles problemas en su crecimiento.

Posteriormente, se puede volver a ingresar el biomaterial en la incubadora con la finalidad de crear una terminación más homogénea, para lo cual se deberá confeccionar un molde que permite que las caras del componente respiren con mayor libertad.

Finalmente, el resultado debe ser secado, produciendo el deceso del micelio y otorgando firmeza al biomaterial. Este proceso puede realizarse en un horno convencional a 70° - 100°C, o bien mediante la exposición solar.



Fig. 37



Fig. 38

Fig. 37 Crecimiento de micelio sobre sustrato
Fuente: Sebastián Plaza en “Manual de Fabricación con Hongos”.

Fig. 38 Cultivo de hongos en placas con PDA a diferentes temperaturas.
Fuente: Biofab en “Manual de Fabricación con Hongos”.

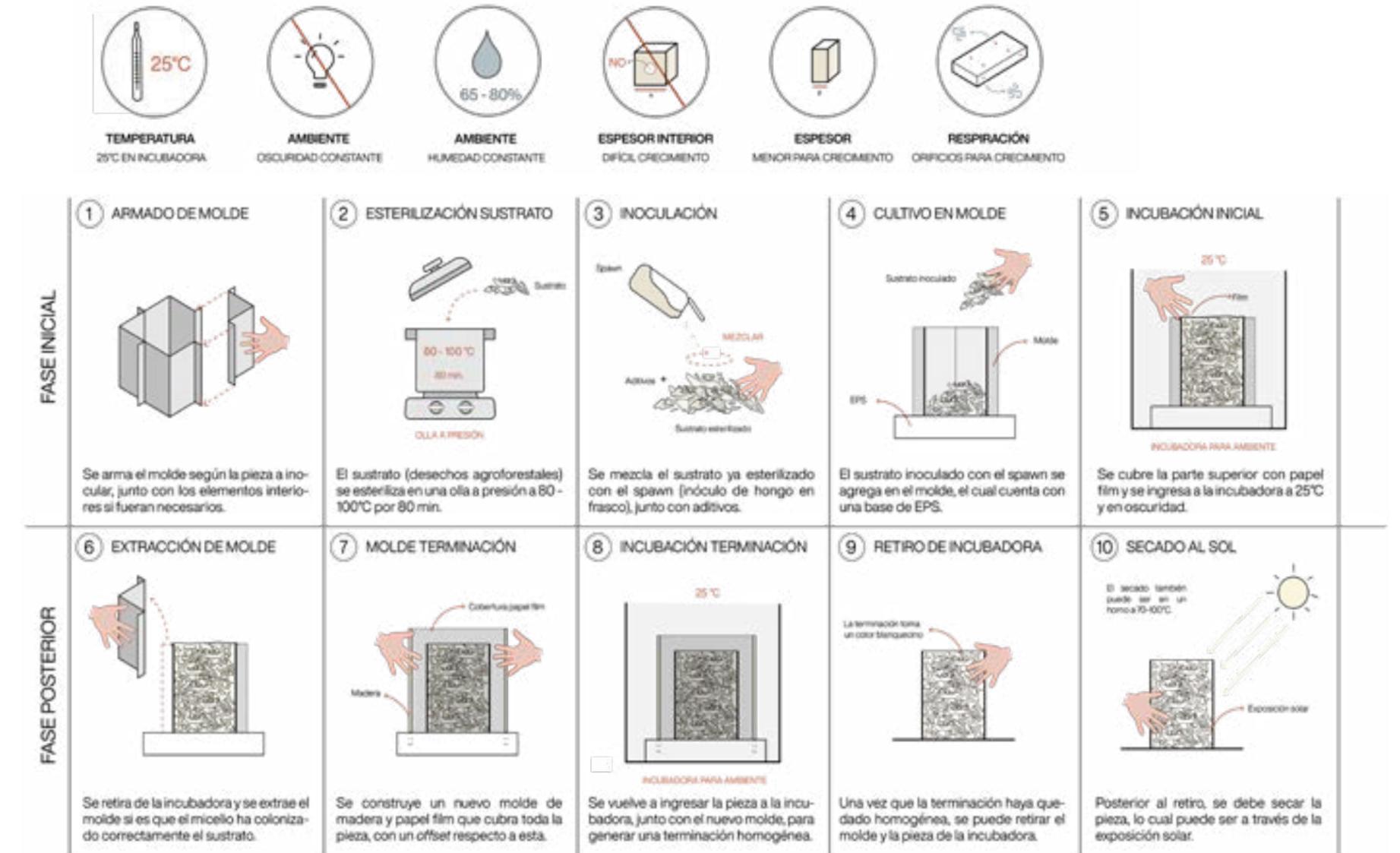


Fig. 39 Condiciones y fabricación.
Fuente: Elaboración propia.

2.3 Proyectos y componentes

Hy-Fi Pavilion

En el año 2014, el pabellón Hy-Fi se posicionó como el proyecto constructivo más grande a la fecha utilizando materiales compuestos de micelio. Diseñado por The Living junto con David Benjamin, el pabellón fue construido en el MoMa de Nueva York utilizando alrededor de 10.000 bloques de micelio confeccionados por la firma Ecovative, los cuales podían utilizarse de manera similar a ladrillos de albañilería (Almpani-Lekka et al., 2021). De esta manera, los bloques podían unirse a través de una escalerilla que, además, proporcionaba rigidez frente al viento.

Una vez que la instalación se concretó, el pabellón logró mantenerse en pie durante tres meses. Luego de su vida útil, los ladrillos de micelio fueron compostados y llevados a jardines locales (Bitting et. al, 2022). Es así como el proyecto logró cerrar el ciclo, vale decir, se utilizó *de la cuna a la cuna*.



Fig. 40



Fig. 41

Fig. 40 Vista del proyecto Hy-Fi.
Fuente: Cecil Barnes V. en ArchDaily

Fig. 41 Vista al interior del proyecto.
Fuente: Andrew Nunes en ArchDaily

Mushroom Insulation

La propuesta de la firma Ecovative en el uso del micelio como aislamiento consiste en confinar este biomaterial vivo dentro de dos tablas de pino. Luego de tres días, el micelio crece y se adhiere a las tablas, mientras que solidifica las partículas sueltas. De esta forma, se obtiene un aislamiento sellado sin puentes térmicos y con una resistencia estructural similar a un Panel SIP. Posterior a un mes el micelio se seca, con lo que no debería haber problemas con el crecimiento de setas a menos que existan errores constructivos en el proceso (Taylor-Foster, 2014). Se obtiene entonces un producto competitivo frente a los métodos tradicionales de aislamiento en la construcción, capaz de ir *de la cuna a la cuna*.

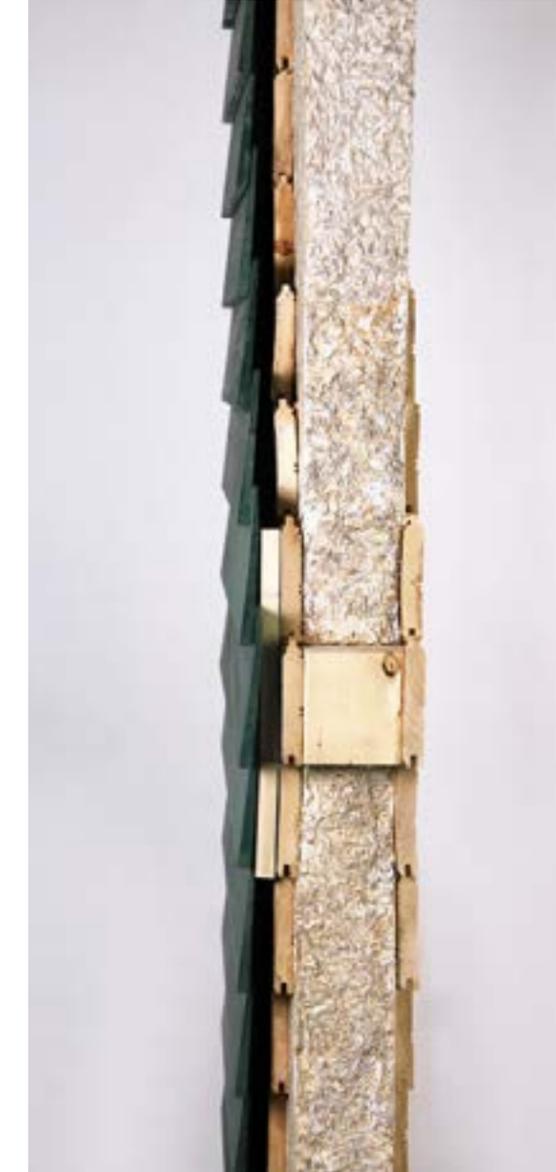


Fig. 42



Fig. 43



Fig. 44

Fig. 42 Panel de aislamiento con micelio.
Fuente: Ecovative en ArchDaily

Fig. 43 Prueba del material.
Fuente: Ecovative en ArchDaily

Fig. 44 Plancha de micelio.
Fuente: Ecovative en ArchDaily

Shell Mycelium

Este pabellón fue diseñado en el contexto de la Bienal Kochi-Muziris en India por los estudios Beetles 3.3 y Yassin Arredia Design en el año 2016. Su propósito era desarrollar una estructura ligera que tuviera la capacidad de ser desmontable, lo cual se logró mediante el uso de madera y sustrato con micelio. El rol primordial de la madera consistía en direccionar las cargas estructurales al suelo, mientras que el micelio fue inoculado en el sustrato. Un aspecto relevante es que el crecimiento del micelio tomó lugar *in situ*, vale decir, se dejó que actuara de forma natural en la intemperie, incluso cumpliendo su etapa de secado al sol. Sin embargo, fue esta razón la que provocó que este biomaterial no se pudiera unir por completo antes de su deceso (Almpañi-Lekka et al., 2021).



Fig. 45



Fig. 46



Fig. 47

Fig. 45 Vista al interior de la instalación.
Fuente: Dezeen.

Fig. 46 Estructura del proyecto.
Fuente: Krishna & Govind Raja en ArchDaily.

Fig. 47 Crecimiento de micelio en la superficie.
Fuente: Dezeen.

Myco Tree

La presente estructura fue desarrollada en el marco de la Bienal de de Arquitectura y Urbanismo de Seúl en el año 2017, en un contexto de investigación llevado a cabo por la cátedra de construcción sustentable de la KIT Karlsruhe, la EHT Zürich y el Singapore EHT Centre. El Myco Tree consta de una estructura que utiliza el *diseño estructural informado* para realizar una geometría capaz de aportar estabilidad al micelio y bambú utilizados como materiales principales. La importancia radica en que a través del diseño es posible aumentar las capacidades estructurales de materiales más débiles, lo cual abre un amplio marco de posibilidades para su uso. El proceso de fabricación consistió en una serie de piezas planas que conformaban la ramificación espacial esperada, dentro de la cual se podía rellenar con micelio (Heisel et al., 2017).



Fig. 48



Fig. 49

Fig. 48 Montaje de la forma ramificada de la estructura del Myco Tree.
Fuente: Carlina Teteris en Futurium.

Fig. 49 Piezas utilizadas para el montaje de la estructura del Myco Tree.
Fuente: Ibíd.

The Growing Pavilion

El diseñador de escena y artista Pascal Leboucq, en colaboración con el estudio Krown Design, llevaron a cabo el diseño de este pabellón en el año 2019 en la ciudad de Ámsterdam. Para su montaje se utilizaron diversos materiales biobasados, tales como micelio, madera, totora, cáñamo y algodón (Bitting et al., 2022). El propósito era probar distintos materiales y métodos en el diseño de un pabellón conformado por paneles. El micelio fue utilizado al interior de esta estructura y se protegió con dos tipos de revestimiento, capaces de paliar las dificultades de uso de este biomaterial a la intemperie. El interior del pabellón fue destinado a diversas exhibiciones e intervenciones, las cuales incluyeron actuaciones musicales con la finalidad de demostrar las capacidades del micelio como material competitivo en términos de aislación acústica (Almpañi-Lekka et al., 2021).



Fig. 50



Fig. 51



Fig. 52

Fig. 50 *Puerta de acceso al pabellón.*
Fuente: Erik Melander en Dezeen.

Fig. 51 *Vista del proyecto.*
Fuente: Ibíd.

Fig. 52 *Detalle de la estructura.*
Fuente: Ibíd.

Refugio Fúngico

En la ciudad de San Carlos de Bariloche, Argentina, SUPERPRAXIS llevó a cabo un proyecto experimental basado en micelio en el año 2021. La instalación proponía el uso micelio de hongos, pertenecientes a la cepa *Ganoderma Lucidum*, para la elaboración de ladrillos capaces de ser utilizados en una instalación destinada a refugio (Dejtjar, 2021). El hecho de utilizar una forma similar a los ladrillos permite su montaje a través de barras de acero, lo cual aporta rigidez al total de la estructura. Junto con eso, la cimentación fue realizada en base a madera, aportando a la exploración del uso de materiales biobasados y las posibilidades de trabajar de manera conjunta en una estructura. El micelio, al ser un material biodegradable, puede ser devuelto a la tierra y cerrar la producción circular.



Fig. 53



Fig. 54



Fig. 55

Fig. 53 *Refugio Fúngico.*
Fuente: Valentín Mora en ArchDaily.

Fig. 54 *Armado de la instalación.*
Fuente: Ibíd.

Fig. 55 *Detalle de la estructura.*
Fuente: Ibíd.

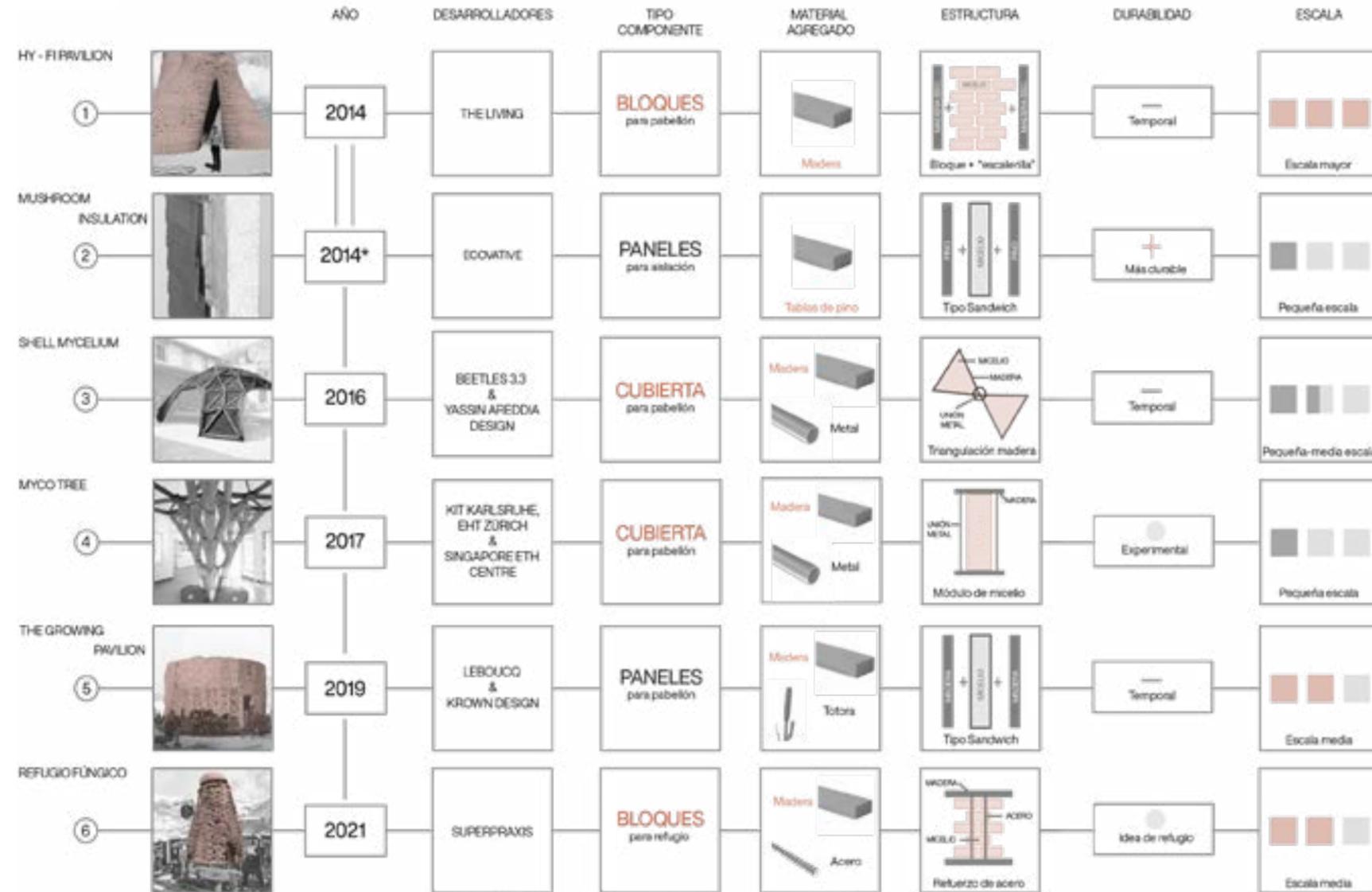


Fig. 56 Condiciones y fabricación. Fuente: Elaboración propia.

2.4 Tesis universitarias

Durante los años 2021 y 2022 se publicaron en la Pontificia Universidad Católica de Chile diversas tesis que trataban el tema del micelio y su relación con la arquitectura. Se llevaron a cabo distintas investigaciones que buscaban dar con un componente constructivo, como lo son: bloques; cubiertas y techumbres; muros y envolventes; tableros.

El enfoque de las tesis estuvo centrado tanto en lógicas constructivas del elemento como en sus características físico-mecánicas y biológicas. Como resultados se encuentran estrategias de trabajo con micelio, dentro de las cuales se destacan:

- Perforación de componentes, considerando máximos y mínimos.
- División laminar, según interioridad y temperie.
- Tratamiento térmico, con el fin de otorgar firmeza y cohesión.
- Variaciones geométricas, utilizadas como aporte en su resistencia estructural.

Cada uno de estos componentes fue puesto a prueba en la práctica arquitectónica mediante la realización de un proyecto destinado a un Centro de Interpretación del paisaje para Bahía Exploradores, emplazado en la región de Aysén. Los proyectos integraban las estrategias obtenidas y permitían visualizar el modo de empleo de este biomaterial en la construcción y cómo este tiene incidencias en el diseño.

Cabe mencionar que las tesis estudiadas se realizaron en un contexto de pandemia, por lo cual los resultados estuvieron restringidos a las posibilidades de dicha circunstancia.



Fig. 57

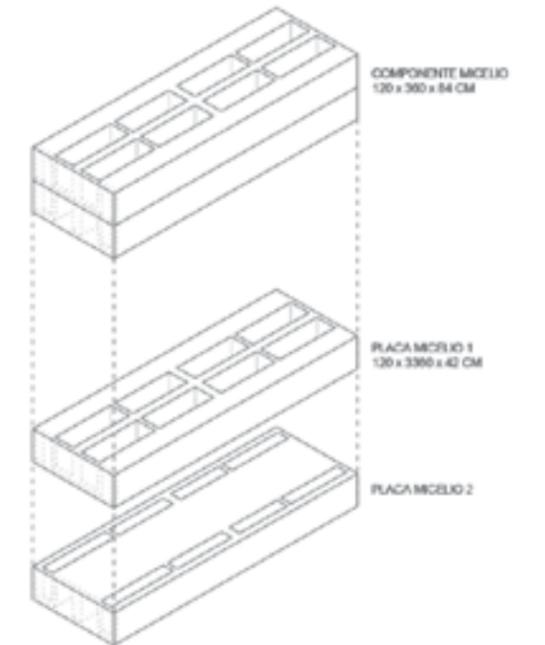


Fig. 58

Fig. 57 Placa de micelio. Fuente: Carolina Silva, 2021.

Fig. 58 Isométrica componente de placa doble. Fuente: Ibid.

TESIS UNIVERSITARIAS SOBRE MICELIO (PUC, 2021 - 2022)				
AUTOR	TEMA	PALABRAS CLAVE	SUBTEMAS - INFORMACIÓN EXTRAÍDA	TIPO COMPONENTE
Aedo, Benjamín	Experimentar capacidades volumétricas y espaciales del micelio y uso de perforados.	Pleurotus ostreatus, biomaterial, características mecánicas, temperatura metabólica, región de Aysén.	Se considera el diámetro mínimo y máximo y cómo se ve afectada la capacidad físico-mecánica del bloque, así como su espesor máximo.	Bloque
Avendaño, Paula	Estudiar y analizar los microtexiles.	Textil de micelio, trama, matriz vegetal, recubrimientos, resinas, resistencia a la tracción, flexibilidad, envolvente.	Uso de sistema de capas según interioridad y temperie que exista y/o se busque lograr.	Envolvente
Coloma, Valentina	Explorar la construcción de un componente constructivo.	Tablero, pliegue, nervio, unión, micelio, placa pegada, origami, componente arquitectónico.	Utilización de formas plegadas que aportan mayor resistencia estructural.	Cubierta
Cuq, Luciano	Elaboración de componente constructivo con prensado en calor y carbonización.	Hongo filamentoso, lignina, celulosa, biomaterial, biofabricación, sustrato, forma resistente, prensado en calor, degradación térmica, carbonización.	Uso de técnicas y tratamientos térmicos para otorgarle firmeza y cohesión al material. Menor masa en componentes tratados.	Cubierta y muros
Montecinos, Luciano	Investigar el material desde la eficiencia energética y un uso más prolongado.	Habitabilidad, biofabricación, sustentabilidad, envolvente.	Uso de componentes de cielo y aislación basado en bloques ahuecados. Uso de molde triangular (resistencia material).	Techumbre
Orellana, Sofía	Desarrollo de componente constructivo, investigando factores de conformación.	Componente, material compuesto, micelio, biofabricación.	Tipo de hongo, tamaño, clase de sustrato, condiciones, procesamiento, moldeado, horneado y aditivos pueden afectar su rendimiento final.	Cubierta
Silva, Carolina	Conformación de elementos verticales y horizontales.	Biofabricación, biomateriales de micelio, tableros, placas tridimensionales, centro de interpretación.	Se hace un símil con las losas nervadas de hormigón y densidades similares a lo que se busca lograr. Elementos longitudinales, más resistencia.	Tablero

Fig. 33

Fig. 59 *Tabla resumen de tesis universitarias*
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3. Referentes de Sistemas y Técnicas



Fig. 60 *Buckminster Fuller Dome.*
Fuente: ArchitectureDrawing extraída de Pinterest.

3.1 Sistemas constructivos patentados

Con el objetivo de desarrollar un sistema constructivo basado en micelio es necesario recabar información sobre sistemas existentes que puedan aportar en términos de soluciones constructivas. La selección de los siguientes sistemas está basada principalmente en la utilización de materiales con capacidades estructurales similares a los biomateriales de micelio, vale decir, similares a una espuma (*foam-like materials*).

El Panel SIP, el sistema VAP y el sistema Covintec son métodos constructivos que utilizan poliestireno expandido como material principal, con distintos niveles de implicancia en la capacidad estructural y el diseño. Sin embargo, cabe destacar que el uso de este material, al menos en su categoría un solo uso, ha causado una gran preocupación en la literatura debido a su impacto medioambiental (Enarevba & Haapala, 2023). Es por esto que se vuelve un interés investigar con biomateriales,

tales como el micelio, con el fin de cerrar el ciclo de producción y disminuir la huella ecológica.

La siguiente comparación y contraste de los sistemas constructivos estará enfocada en comprender su funcionamiento, con el fin de obtener estrategias para el desarrollo de un sistema propio biobasado. Se analizarán los materiales con los cuales se monta cada sistema, su modo de funcionamiento, su estandarización y modo de construcción.

Cabe mencionar que se incluirá en la investigación el sistema Espansiva de Utzon, si bien este no cuenta con poliestireno expandido en su conformación. El interés de este sistema recae en su estandarización y modulación, características importantes para el diseño de un sistema constructivo sustentable en tanto que permite un menor uso de energía en el momento de montaje.



Fig. 61



Fig. 62

Fig. 61 *Panel SIP*
Fuente: Impa Magallanes.

Fig. 62 *Maquetas de sistema Espansiva.*
Fuente: ESPANSIVA - Utzon, 1966. Material entregado por el taller.

3.1.1 Panel SIP

El Panel SIP recibe su nombre de sus siglas en inglés: *Structural Insulated Panel* (Panel Aislante Estructural), se caracteriza por su capacidad de aislamiento térmico, gracias al material *foam-like* que se encuentra en su centro, como puede ser el poliestireno expandido. Este material funciona como un núcleo aislante, el cual se encuentra confinado entre dos materiales rígidos, conformando un panel tipo *sandwich*. La elección del material utilizado como las capas externas del sandwich va a depender de las condiciones requeridas según su aplicación, dentro de los cuales se puede utilizar OSB y concreto (Panjehpour et al., 2012).

La estructura de *sandwich*, conformada por las dos capas rígidas exteriores y la capa no-estructural interior, es capaz de ser utilizada como muro, losa y suelo. Su potencial de uso está destinado a programa residencial y edificaciones comerciales de bajo peso, en las cuales el ensamblaje es realizado *in situ* (Ramli Sulong et al., 2018). El montaje se

realiza mediante la unión de las planchas tipo *sandwich*, utilizando las hendiduras verticales presentes en cada extremo de estas (ver Fig. 63).

La relevancia de este sistema de construcción radica en la utilización de un material liviano y aparentemente no-estructural como componente principal en su funcionamiento, el cual aporta rigidez debido a su grosor. Además, cabe destacar la finura de las capas exteriores, las cuales son capaces de dirigir las cargas estructurales. Esto plantea interrogantes sobre las combinaciones y proporciones en las que pueden ser utilizados estos materiales sin comprometer su capacidad de carga.

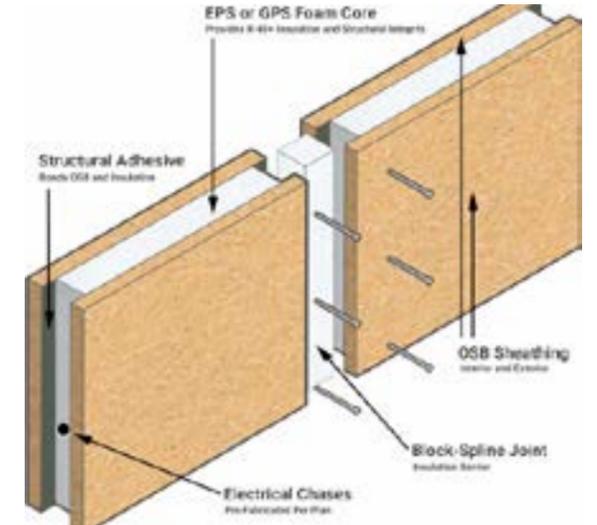


Fig. 63



Fig. 64

Fig. 63 *Panel SIP.*
Fuente: Integrity Timber Frame.

Fig. 64 *Instalación del panel SIP.*
Fuente: SIPS Premier Building Systems.

3.1.2 Sistema VAP

Se propone el Sistema VAP, de Alberto Mozó, como una alternativa de construcción off-site que promueve la entrega de viviendas industrializadas de alta calidad térmica mediante un sistema colaborativo y coordinado con toda la cadena constructiva. Su método de construcción se compone principalmente de marcos rígidos que se unen para dar cabida a un espacio residencial. Los materiales utilizados para su construcción son láminas de terciado y poliestireno expandido para los marcos, mientras que la llegada al suelo utiliza perfiles de acero y dados de hormigón.

El principio de construcción del sistema consta de cuatro “pasos”:

1. **Unidad VAP base:** conforma la unidad mínima de construcción, conformada por láminas de terciado a sus costados y un núcleo de poliestireno expandido.
2. **Marco:** se logra mediante la unión de los de las unidades base, resultando en una estructura de una casa a dos aguas.

3. **Estructura-módulo:** la repetición sucesiva de los marcos rígidos permite estructurar la vivienda, dando cabida a un volumen habitable.
4. **Vivienda tipo:** una vez realizados los pasos anteriores, junto con la definición de la llegada al suelo, se pueden realizar las terminaciones correspondientes para conformar una vivienda.

El sistema VAP se posiciona en el mercado como una alternativa capaz de alcanzar una eficiencia térmica de alto estándar. Esto se debe a la utilización de poliestireno expandido como material principal, el cual a su vez cumple con un rol estructural en el marco. Se obtiene entonces un sistema estructural tanto liviano como rígido.

Cabe mencionar también el potencial de sustentabilidad del sistema, en tanto que es de bajo costo y se basa en los principios del *zero waste* y la prefabricación, capaz de entregar hasta un 70% de avance en la construcción de una casa (Sistema VAP, s.f.).



Fig. 65



Fig. 66

Fig. 65 Casa Maullín, Tabique frontón de 200 mm + ventanas según proyecto.

Fuente: Sistema VAP (sitio web)

Fig. 66 Casa A.

Fuente: Ibid.

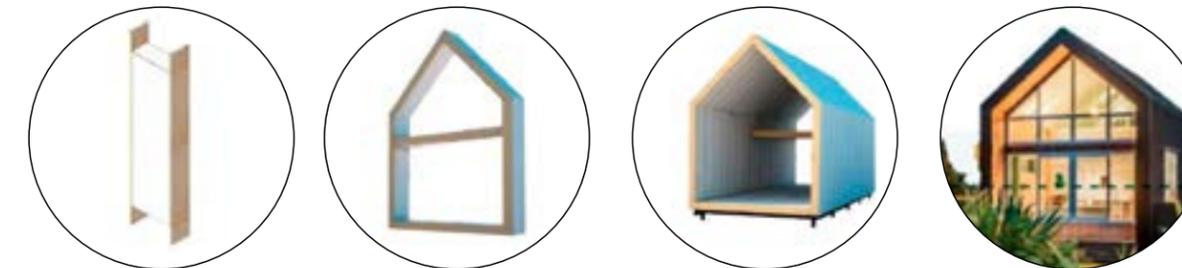
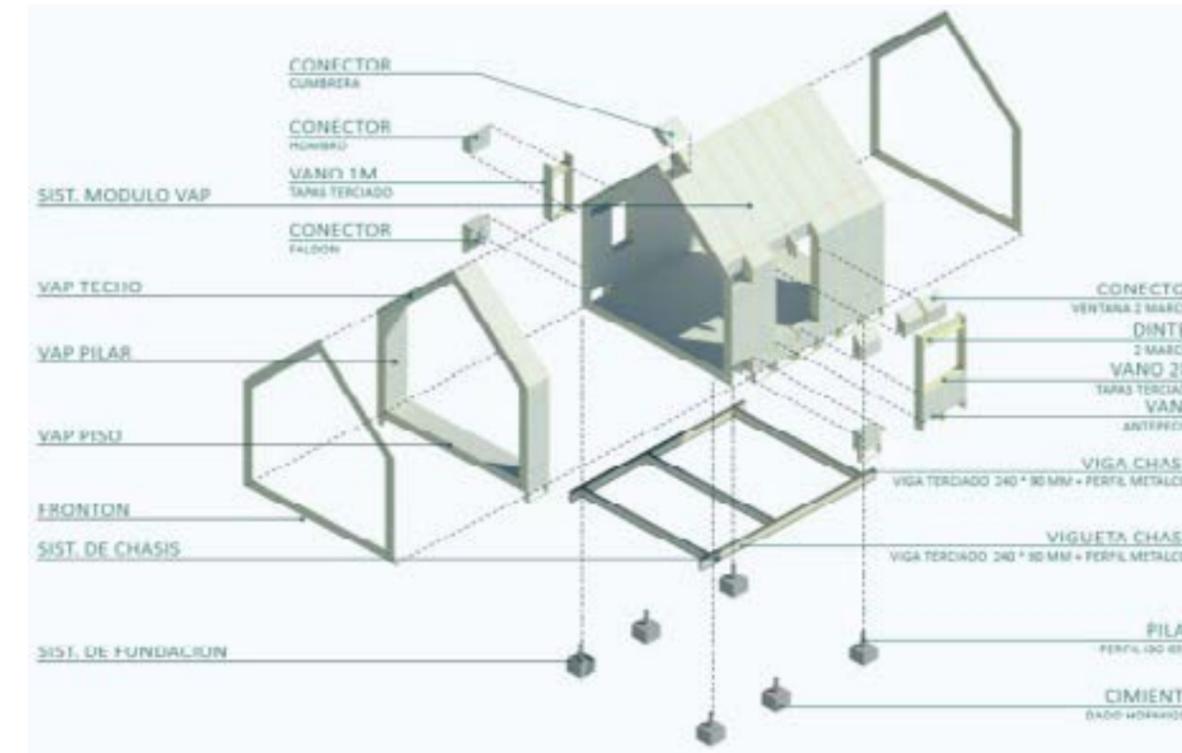


Fig. 41

Fig. 67 Detalles constructivos del sistema VAP.

Fuente: Ibid.

3.1.3 Sistema COVINTEC

El sistema Covintec, desarrollado por la empresa Qualypanel S.A. de C.V., apuesta por la construcción basada en poliestireno expandido, argumentando acerca de sus capacidades aislantes y de protección. Este material se encuentra al interior de una trama tridimensional de alambre pulido o galvanizado electrosoldado. Estas tramas conforman una cuadrícula de cinco centímetros en dos caras del componente. Para sellar la estructura se aplica mortero en el exterior de las capas, lo cual permite proteger los componentes interiores y aportar capacidad estructural (Covintec, s.f.). De esta manera, el resultado son paneles que pueden ser utilizados en edificios de hasta dos pisos de altura.

El sistema cuenta con dos tipos de paneles principales: panel estructural y panel de losa. Ambos están compuestos por poliestireno expandido y acero galvanizado, además del estuco exterior aplicado en obra. La diferencia recae en que el panel de losa

requiere de esfuerzos horizontales de acero en su interior y en el anclaje a muros, junto con una terminación de hormigón gravillado. Estos paneles cuentan con una amplia gama de modos de anclaje y unión, otorgando versatilidad según los requerimientos específicos de cada proyecto. El espacio para instalaciones, por su parte, puede ser ejecutado en obra mediante un corte en la malla estructural y un rebaje del poliestireno expandido.

La versatilidad y ligereza del sistema permite su competitividad dentro del sector de la construcción, en tanto que es una alternativa resistente, aislante y con ventajas en términos de transporte y montaje. La instalación *in situ* es simple, los paneles son fácilmente manipulados debido a su ligereza y el tiempo de construcción es reducido. Además, no se requiere de una mano de obra especializada (Vergara, 2014).



Fig. 68



Fig. 69

Fig. 68 Sistema constructivo Covintec.
Fuente: Covintec.

Fig. 69 Muros Covintec.
Fuente: Ibid.

3.1.4 Sistema ESPANSIVA

El arquitecto Jørn Utzon, reconocido por su diseño para la Ópera de Sídney, desarrolló en el año 1970 el sistema constructivo Espansiva. Su búsqueda estaba enfocada en el principio aditivo en la construcción, vale decir, añadir componentes similares sin necesidad de que estos sean modificados, abogando por la industrialización y estandarización de la construcción. La lógica del sistema se basaba en pequeños recintos con pilares en sus cuatro esquinas, un suelo elevado y un techo inclinado hacia un lado. Estos pilares, junto con las vigas, estaban fabricados en madera laminada, mientras que el techo se conformaba por paneles contrachapados de madera con su correspondiente aislamiento y el suelo de hormigón ligero.

El diseño proyectual se realizaba a partir de cuatro recintos base de distinto tamaño, los cuales podían ser combinados entre sí para dar cabida a distintos programas arquitectónicos, tales como viviendas unifamiliares y colegios de una planta. Cada

uno de estos módulos correspondía a las dimensiones requeridas para diversos recintos habitacionales. Además, la combinación de estos tenía la capacidad de generar espacio para habitaciones de mayores dimensiones, según fuera necesario para cada proyecto.

Las terminaciones, como el diseño, contaban con una amplia gama de posibilidades. La inclinación de 17 grados del techo permitía acabados realizados en tejas, fibrocemento o incluso metal. El revestimiento exterior podía realizarse *in situ* mediante la ayuda de las vigas ancladas a los cimientos del sistema, mientras que las ventanas y puertas contaban igualmente con libertad para su colocación.

El objetivo principal del sistema era proporcionar a los clientes y usuarios la capacidad llevar a cabo extensiones y cambios en su vivienda en cualquier momento. Se buscaba también una estandarización que se alejara de las repeticiones impersonales, salvando las identidades particulares mediante una lógica común (Fernández, s.f.).



Fig. 70



Fig. 71

Fig. 70 Utzon con maquetas del sistema constructivo.
Fuente: ESPANSIVA - Utzon, 1966. Material entregado por el taller.

Fig. 71 Casa que pone en práctica el sistema.
Fuente: Ibid.

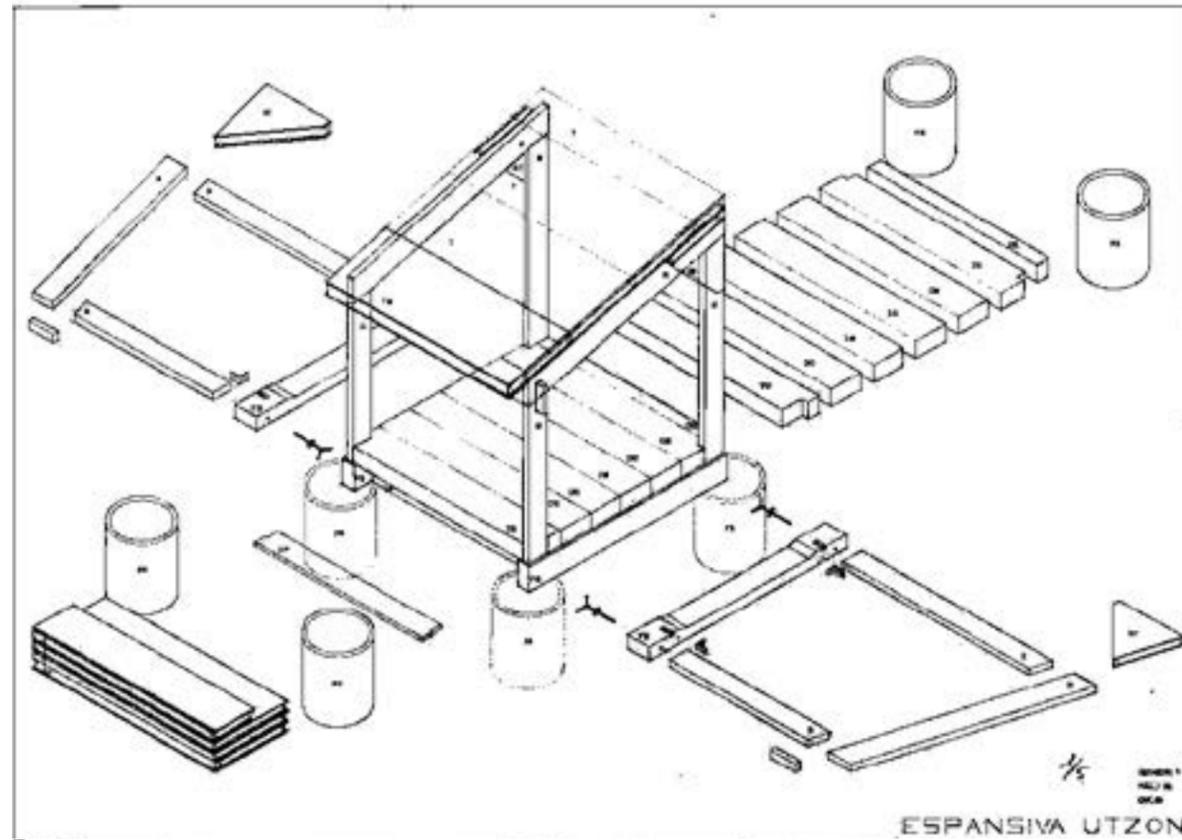


Fig. 72



Fig. 73

Fig. 72 Editado. Ejemplo de piezas constructivas.
Fuente: Ibid.

Fig. 73 Casa construida según el sistema.
Fuente: Ibid.

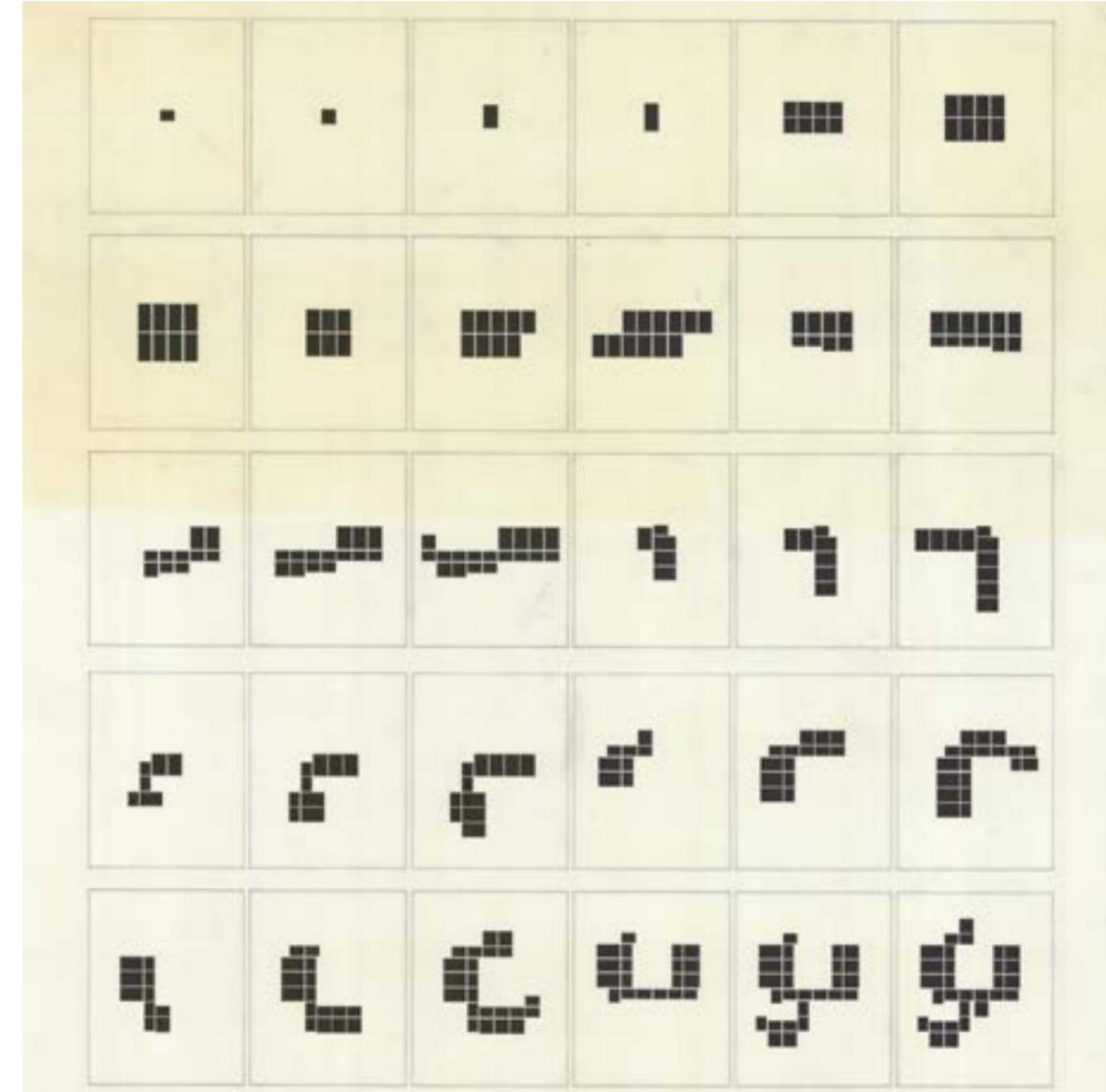


Fig. 74



Fig. 75

Fig. 74 Diferentes tipologías resultantes.
Fuente: Ibid.

Fig. 75 Plano de emplazamiento utilizando el sistema constructivo.
Fuente: Ibid.

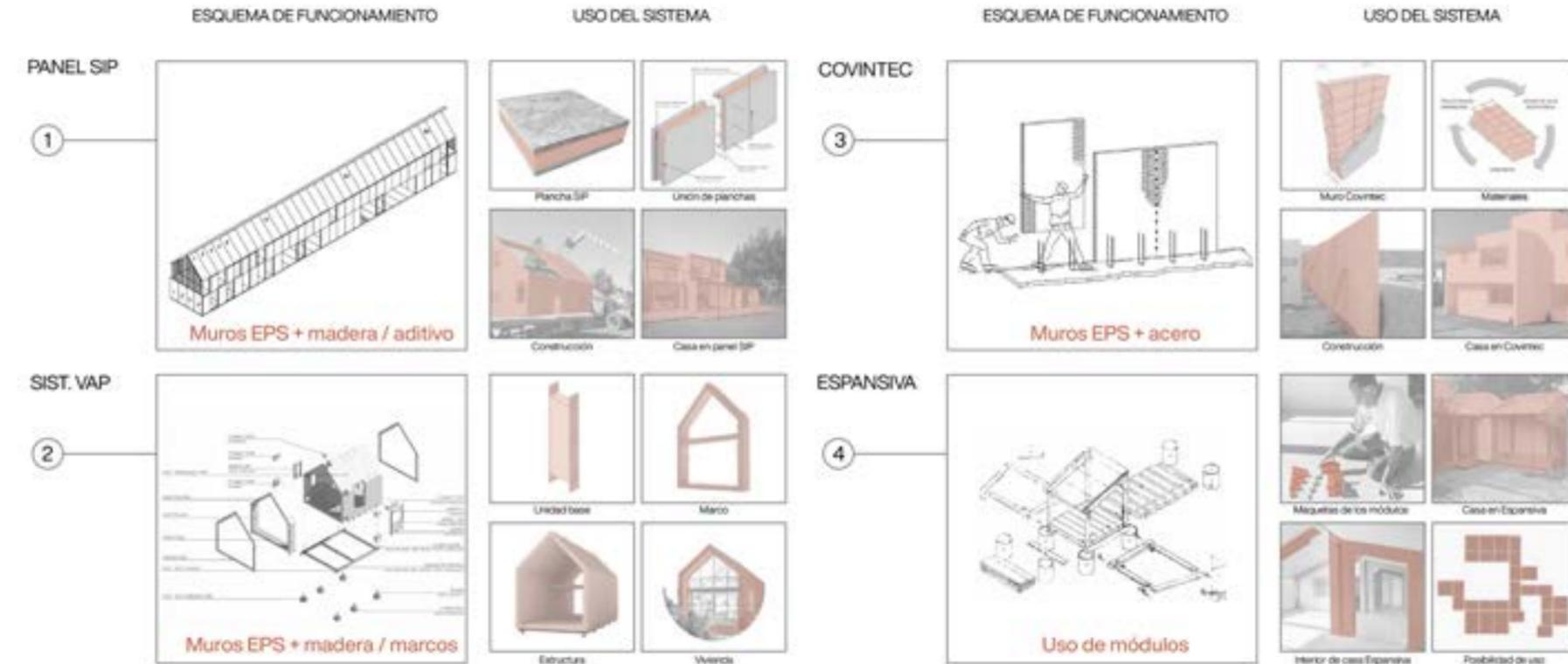


Fig. 76

Fig. 76 Comparación de sistemas constructivos.
Fuente: Elaboración propia

3.2 Técnicas constructivas

En la siguiente selección de técnicas constructivas, se busca identificar estrategias que puedan integrarse en el desarrollo del sistema constructivo propuesto. Estas técnicas se encuentran enmarcadas dentro de estrategias de refuerzo y confinado, las cuales implican la adición de elementos al interior de sus componentes o su contención con la finalidad de aumentar sus capacidades estructurales.

La información para la selección se obtuvo de diversas fuentes, como papers académicos, técnicas tradicionales e innovación en el uso de materiales. Cada técnica presentada será caracterizada según su esquema de funcionamiento principal y su aplicación en diferentes contextos.

Entre las técnicas de refuerzo se encuentra el entramado interior, realizado tanto en madera como en otros materiales. Además, se considera la técnica Capitoné, posteriormente explicada, la cual puede utilizarse

como refuerzo al agregar componentes en su interior.

Por otro lado, entre las técnicas de confinado se incluye la contención pura, en la cual un material queda embebido dentro de otro para aportar rigidez. También se considera la técnica constructiva con tapias, donde la tierra utilizada queda compactada y confinada en diversas capas. Finalmente, cabe mencionar que la técnica Capitoné, clasificada anteriormente como técnica de refuerzo, puede ser considerada también como técnica de confinado en tanto que puede aportar tensión en elementos textiles utilizados en la contención de otro material.

Una vez analizadas las características y posibilidades de cada técnica, se podrá dar paso a la selección y ajuste de aquellas que aporten al desarrollo del sistema constructivo biobasado en micelio que se busca desarrollar en esta investigación, aumentando la capacidad estructural de este biomaterial en cuanto a su rigidez, nivel de deformación y resistencia a la compresión y la tracción.



Fig. 77



Fig. 78

Fig. 77 Kenzo Unno.
Fuente: Kenzo Unno - Fabric Formed Concrete - FabWiki

Fig. 78 Superficie de concreto.
Fuente: Ibid.

3.2.1 Técnica de entramado

El entramado consiste en una técnica de refuerzo mediante la adición de elementos alargados al interior de otro material. Un ejemplo bastante masificado de esta técnica es el hormigón armado, donde se utilizan barras de acero para aportar resistencia principalmente a la tracción del concreto. En esa lógica, se utiliza un entramado tridimensional que va interconectado previo al vertido del hormigón. Ahora bien, el material utilizado para aportar rigidez puede ser variado, incluso en el proceso de armado del concreto. En la investigación llevada a cabo por Javadian et al. (2016) se propone la utilización de bambú como material de refuerzo en el hormigón (ver Fig. 79), con resultados que afirman la adecuada vinculación entre ambos materiales sin necesidad de revestimiento.

Dentro de la investigación con componentes de micelio también se ha experimentado con la adición de materiales en su interior. Sin embargo, estas exploraciones no han sido

necesariamente entramados, sino más bien elementos lineales en una sola dirección. A pesar de lo anterior, para efectos de esta investigación se considerarán como entramados en tanto aportan a la discusión del uso interior de elementos lineales en el contexto de biomateriales basados en micelio. Jonathan Dessi-Olive (2022) llevó a cabo una investigación con motivo de la utilización de biocomponentes de micelio a gran escala. Se muestra la exploración de diseño de una pared fúngica, donde se utilizan estacas de madera a modo de anclaje y unión entre las piezas del componente (ver Fig. 80). Sin llegar a ser un entramado, esta estrategia permite la discusión del uso de madera como material de unión entre piezas de micelio. Por otra parte, Rigobello et al. (2022) exploraron el refuerzo de componentes de micelio mediante el uso de fibras de ratán en su interior, con resultados positivos en su desempeño estructural. Los investigadores pretenden potenciar la experimentación en el desarrollo de una estrategia híbrida de composición y densificación de los componentes.

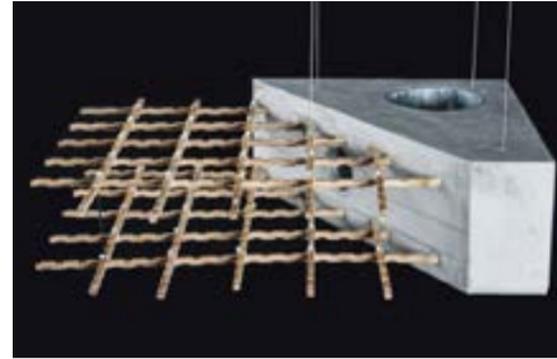


Fig. 79



Fig. 80

Fig. 79 Refuerzo de bambú.

Fuente: Professorship of Architecture and Construction Dirk E. Hebel, ETH Zürich / FCL Singapore en ArchDaily.

Fig. 80 Refuerzo de madera en biomaterial de micelio.
Fuente: Jonathan Dessi-Olive

3.2.2 Técnica capitoné

La técnica Capitoné es utilizada en el reconocido sillón Chesterfield, característico del diseño inglés. Consiste en una técnica de tapizado en donde se realiza una distribución de botones de manera geométrica en su respaldo (Batavia, s.f.). El arquitecto japonés Kenzo Unno utiliza un método que remite a estas características en cuanto a su estética, denominado Punto de Edredón (*Quilt-Point*). Este método se basa en vertir el concreto dentro de una membrana geotextil, en donde se insertan arandelas. Posterior al secado del hormigón, la membrana es retirada, manteniéndose la forma ondulada a la vista (Kenzo Unno fabric-formed walls, s.f.).

Otro método, el cual se aleja de la técnica Capitoné, es el realizado por Özdemir et al. (2022) en su investigación sobre refuerzos con madera laminada en componentes de micelio. Como se puede ver en la imagen 82, se utiliza la madera de modo similar a un tejido, estructura que se ubica al interior del

componente. Esto resultó en un aumento de la resistencia a la flexión de las muestras de micelio, lo cual abre posibilidades en el uso de elementos menudos como instrumentos de refuerzo estructural. Aún más, se podría trabajar y experimentar con materiales de hebras y textiles, como el trabajo realizado por Rigobello et al. (2022) en donde se utilizaba arpillera en interior.



Fig. 81

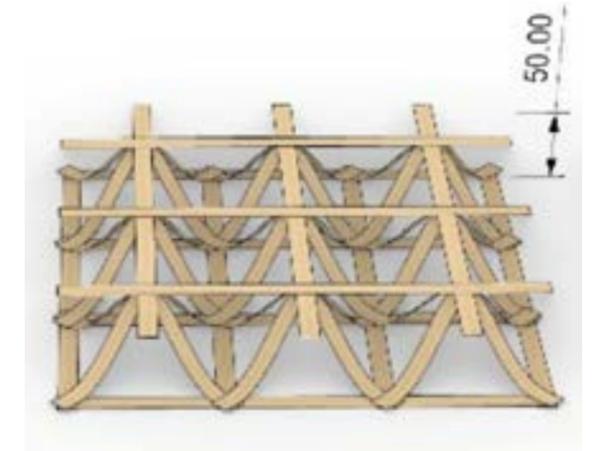


Fig. 82



Fig. 83

Fig.81 Técnica de punto de edredón.

Fuente: Kenzo Unno - Fabric Formed Concrete - FabWiki

Fig. 82 Madera laminada al interior.

Fuente: Ibid.

Fig. 83 Sillón tipo Chesterfield.

Fuente: johnniedavid12412 en Freepik.

3.2.3 Técnica de contención

Esta técnica refiere a la acción de confinar de manera simple un material con otro, aportando un refuerzo exterior. Un ejemplo de esto sería el encofrado de madera para la fabricación del hormigón armado, el cual mantiene contenido al material hasta que este ya se encuentra sólido. Sin embargo, también existe la opción de utilizar materiales menos rígidos, como membranas textiles, los cuales a su vez pueden mantenerse adheridos a la estructura una vez realizada su producción, vale decir, a modo de un *encofrado perdido*.

Un ejemplo concreto de contención con encofrado perdido es el caso del prototipo ideado por Nguyen et al. (2022), donde se utiliza ratán como un refuerzo exterior-laminar en un componente basado en micelio. El resultado que se obtiene es un material compuesto gracias a la capacidad del micelio de crecer en el medio natural de fibras de ratán. Cabe destacar que el prototipo realizado es capaz de soportar hasta 20 veces su propio peso.

Otra investigación donde el micelio es capaz de adherirse a su material de refuerzo exterior es la realizada por Rigobello et al. (2022), misma investigación que exploraba el uso de ratán y arpillera al interior de sus componentes (ver cap. 3.2.1 y 3.2.2). Aparte de dichos prototipos, la experimentación también contó con el uso de arpillera en las caras exteriores. Los resultados mostraron un aumento en la resistencia mayor al uso de arpillera al interior, pero menor al uso de fibras de ratán.



Fig. 84



Fig. 85



Fig. 86

Fig. 84 *Encofrado de madera para hormigón.*
Fuente: Alsina.

Fig. 85 *Prototipo de refuerzo exterior con ratán.*
Fuente: Nguyen et al.

Fig. 86 *Refuerzo exterior con arpillera (segundo a la izquierda).*
Fuente: Rigobello et al.

3.2.4 Técnica de tapiales

La técnica de construcción con tapiales es un método tradicional que se caracteriza por el uso de muros monolíticos de tierra. Estos muros se forman a partir del apisonamiento de tierra, conformando paredes estructurales (Duarte et al., 2018). La fabricación de tapiales parte por la extracción de tierra, idealmente de una capa inferior a un metro de la superficie debido a sus cualidades favorables. A la tierra seca se le debe agregar agua, logrando una mezcla que se vierte por capas superpuestas, lo cual toma lugar dentro de un encofrado de madera.

Los tapiales actúan como el sistema estructural principal en este tipo de construcciones. Sus dimensiones cuentan con un espesor considerable, con una media de 60 centímetros. Esta media puede ser incluso mayor, en tanto se requiera una mayor capacidad estructural causada por una mayor cantidad de pisos en el proyecto a construir. Sin embargo, también puede aplicarse un espesor variable en una misma

estructura, vale decir, mayor en su base y menor a medida que gana más altura.

Dentro de los sistemas constructivos de tierra, el tapial se posiciona como una alternativa de alta capacidad estructural y durabilidad, siendo competitivo con sistemas de albañilería y bloques de concreto en cuanto a su resistencia a la compresión y costo de fabricación (Gomaa et al., 2023).

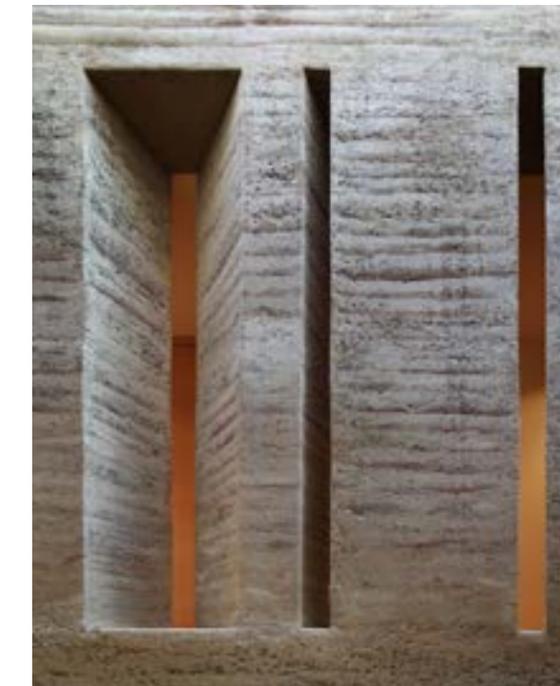


Fig. 87



Fig. 88

Fig. 87 *Tierra apisonada en la casa Gulm.*
Fuente: Norman Muller en Archdaily.

Fig. 88 *Nk-Mip Desert Cultural Centre.*
Fuente: Extraída de Archdaily.

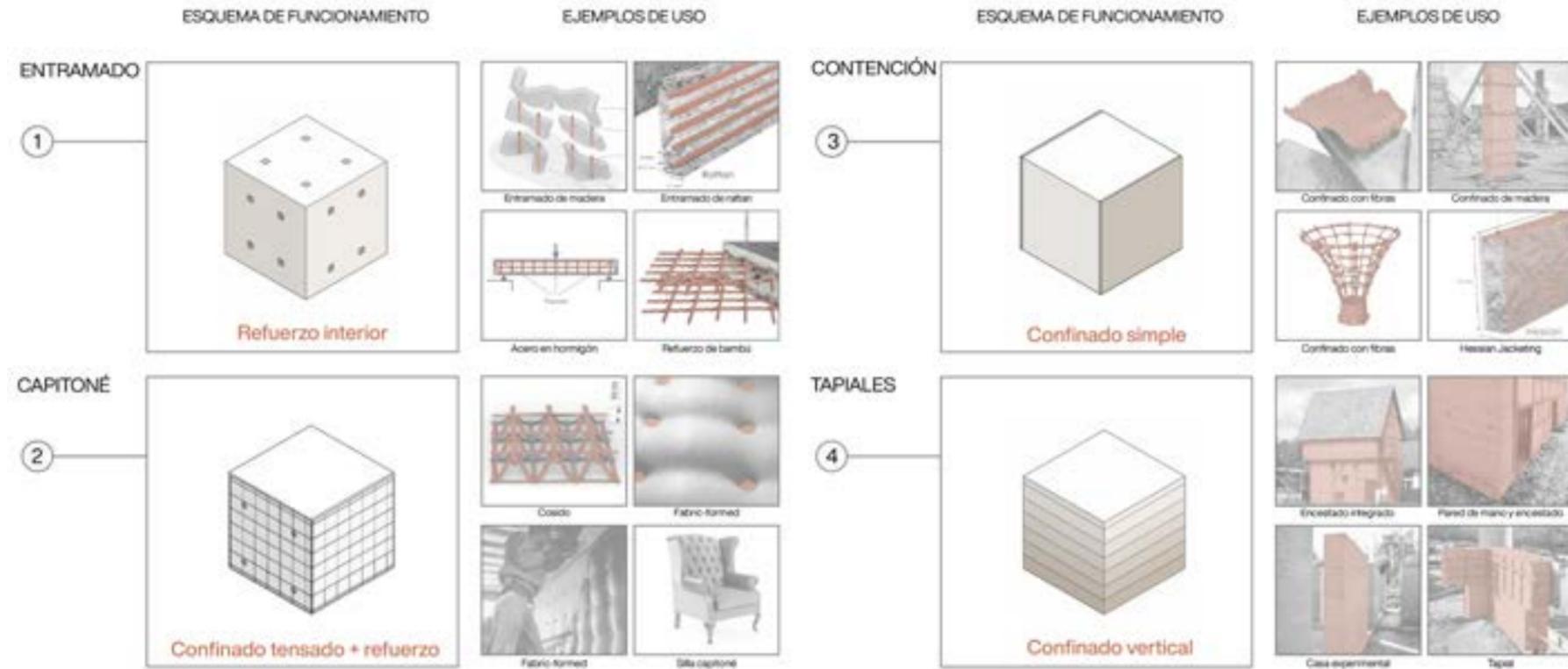


Fig. 89

Fig. 89 Comparación de técnicas constructivas.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4. Exploraciones y diseños preliminares

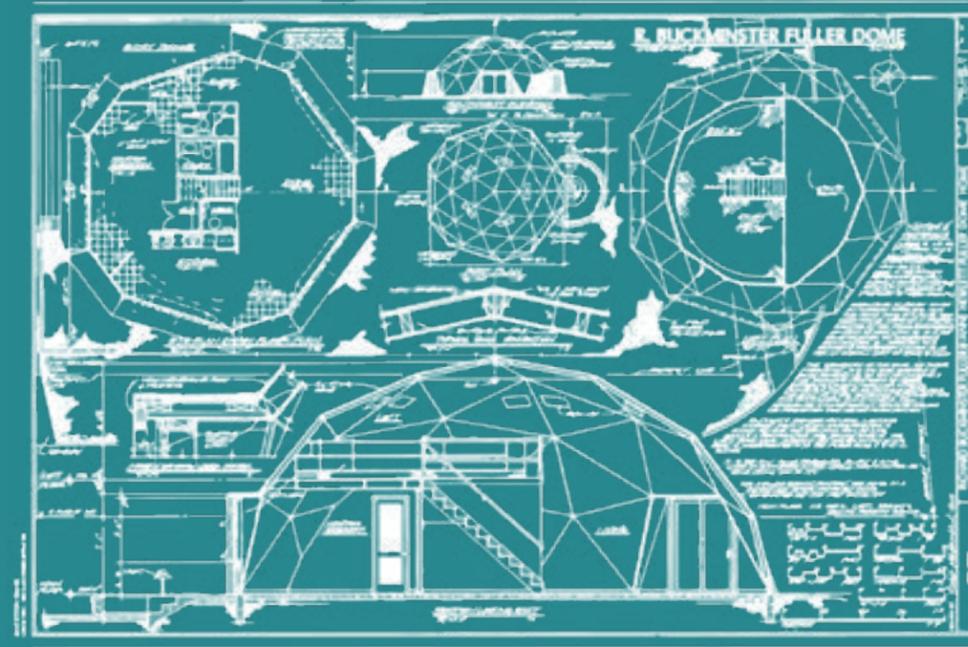


Fig. 90 Buckminster Fuller Dome.
Fuente: ArchitectureDrawing extraída de Pinterest.

4.1 Diseño de prototipos

Con el objetivo de desarrollar componentes constructivos para ser utilizados en el sistema constructivo propuesto, se propone la investigación estructural a través de prototipos fabricados con micelio y/o materiales similares. Se busca la evaluación del comportamiento de estos componentes, a través del sometimiento a cargas que pondrán a prueba su capacidad a la compresión y la tracción. Asimismo, el enfoque comprende la evaluación de deformación y rigidez de estos prototipos. El propósito es identificar qué condiciones aumentan la capacidad estructural del micelio y bajo qué parámetros esto ocurre, obteniendo una base para el diseño de componentes para el sistema constructivo.

La investigación estructural se llevará a cabo mediante una serie de experimentos con prototipos. Con motivo de esto, se propone un desarrollo lineal de experimentación, basado en el mejoramiento continuo de las series según los resultados y conclusiones

obtenidos en cada una. Cabe mencionar que no todas las series de experimentos contarán con el mismo equipamiento, así como tampoco se considerarán los mismos materiales en su confección. Las series se basarán en el desarrollo de probetas, vale decir, una "muestra de material endurecido (...) de dimensiones determinadas y conservada en condiciones preestablecidas, para posteriormente ser sometida a ensayos" (Diccionario de la construcción, s.f.).

En este capítulo se presenta un experimento inicial que explora estrategias de refuerzo y confinado de manera preliminar. Estas estrategias serán utilizadas como base en el desarrollo de sistemas constructivos experimentales. El objetivo de estos diseños es indagar de manera inicial las posibilidades, requerimientos y dificultades en la utilización de micelio en el contexto de la arquitectura y la construcción.

El experimento inicial se compone de probetas confeccionadas a partir de poliestireno expandido como similar al micelio.



Fig. 91



Fig. 92

Fig. 91 *Probeta de micelio en test de compresión.*
Fuente: Juney Lee en ResearchGate.

Fig. 92 *Poliestireno expandido, material que puede ser utilizado como similar a los componentes basados en micelio.*
Fuente: Tensar SA.

Las dimensiones son de aproximadamente 4cm x 4cm x 10 cm, simulando un elemento vertical a escala 1:25 de sección 1m x 1m. La elaboración comprende distintas estrategias de refuerzo y confinado. Como se ha descrito en capítulos anteriores, la primera estrategia busca aumentar la resistencia del componente mediante la disposición de elementos interiores, mientras que la segunda se refiere a la contención del componente con la finalidad de evitar su deformación y riesgo de colapso.

Las estrategias de refuerzo a ensayar son las siguientes:

- **Reforzado I (R.I):** añadir un único elemento vertical de madera, similar a lo descrito en el capítulo 3 sobre estrategias de refuerzo utilizadas en componentes de micelio (ver cap. 3.2.1) y
- **Reforzado II (R.II):** utilizar un elemento de hebras (hilo encerado) al interior de la probeta (ver cap. 3.2.2). La idea es coser en distintas direcciones, de forma similar a lo que sería una escalerilla de refuerzo para hormigón armado.

Por otro lado, las estrategias de confinado a ensayar son:

- **Confinado I (C.I):** contener la probeta de manera simple (ver cap. 3.2.3), utilizando fibra de vidrio.
- **Confinado II (C.II):** se utiliza el mismo procedimiento de la estrategia anterior, pero otorgándole un acabado de pegamento.
- **Confinado III (C.III):** contener la probeta de manera simple utilizando madera como un material más resistente que la fibra de vidrio utilizada en las estrategias anteriores. Su uso sería similar al encofrado de madera para hormigón armado y tapias, pero resultando en un *encofrado perdido* (ver caps. 3.2.3 y 3.2.4)

Junto a las estrategias anteriores, se añadirá una probeta de control, la cual no contará con ninguna estrategia

Cada probeta será sometida a una carga puntual mediante un banco de prueba motorizado vertical, donde se obtendrá el valor del peak de Newton que el componente resistió hasta un punto determinado.



Fig. 93 *Prototipos diseñados.*
Fuente: Elaboración propia.

SITUACIÓN INICIAL	SITUACIÓN POSTERIOR	SITUACIÓN INICIAL	SITUACIÓN POSTERIOR
 BASE	 217,4 N	 CONFINADO I	 263,3 N
 REFORZADO I	 423,2 N	 CONFINADO II	 273,7 N
 REFORZADO II	 252,4 N	 CONFINADO III	 310 N

Fig. 94

Fig. 94 Resultados de las pruebas de compresión realizadas a los prototipos, con sus respectivos valores en Newton. A la izquierda se encuentran los resultados del prototipo base y los reforzados. A la derecha se encuentran los resultados de los prototipos confinados.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez testeadas las probetas, se obtienen los valores peak de Newton resistidos y la deformación del componente. Como se puede apreciar en los resultados (ver Fig. 94), la situación de control evidentemente obtuvo el menor valor de resistencia entre las probetas (217,4 N), tomado como punto base de comparación. Por el contrario, el prototipo que más resistió fue el R.I (432,2N)

Como valores intermedios, se obtiene que, al utilizar una estrategia de confinado simple, como en el caso del prototipo C.I, la resistencia comienza a aumentar (263,3 N). Este incremento puede ser mayor si es que se adhiere una capa de material adhesivo a modo de refuerzo exterior, como se observa en la probeta C.II (273,7 N). Ahora bien, como cabía esperar, el uso de un material de contención más resistente (prototipo C.III) permite una mejora aún mayor del componente (310 N).

Por otro lado, reforzar por medio del uso de tensores internos (probeta R.II) no logra

aumentar considerablemente la resistencia del componente (252,4 N en el prototipo R.II frente a los 217,4 N del caso base), mientras que reforzar interiormente con un material sólido, como madera (probeta R.I) provoca un importante aumento de la resistencia (432,2 N), obteniendo el mayor resultado.

Con respecto a las deformaciones, estas no fueron considerables en prácticamente la totalidad de los casos. Lo que sí tiende a ocurrir es el pandeo de las probetas, lo cual provoca un quiebre del material externo (C.III) o el desprendimiento de este (C.I). Sin embargo, el prototipo C.II tuvo más bien un desplazamiento horizontal de su cara superior con respecto a su posición anterior.

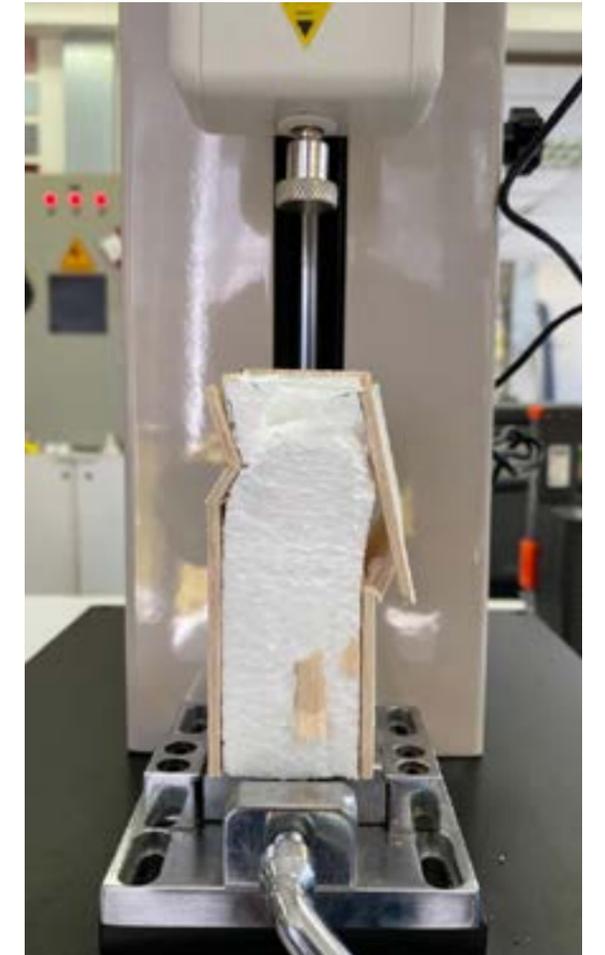


Fig. 95

Fig. 95 Resultados de las pruebas de compresión realizadas a los prototipos, con sus respectivos valores en Newton.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 95



Fig. 96



Fig. 97

Fig. 95 Gráfico con los resultados de la resistencia a las prueba de compresión de los prototipos. Destacan las probetas Reforzado I y Confinado III.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 96 Prototipo Reforzado I.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 97 Prototipo Confinado III.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Diseño de propuestas preliminares

A modo de experimentación inicial en el desarrollo de un sistema constructivo biobasado en micelio, surgen las siguientes exploraciones que toman en consideración las estrategias de la investigación previa y el testeo de probetas.

La primera alternativa es resultado del primer acercamiento realizado, considerando los resultados del experimento inicial con prototipos. El resultado son componentes y módulos constructivos que utilizan los métodos de refuerzo y confinado con madera.

Posteriormente, se muestran tres alternativas distintas, las cuales están inscritas bajo una misma lógica de composición y armado. Cada una de estas exploraciones considera las estrategias de entramado, Capitoné y contención simple. El diseño de estas propuestas contempla una diferenciación entre pieza, componente y módulo.

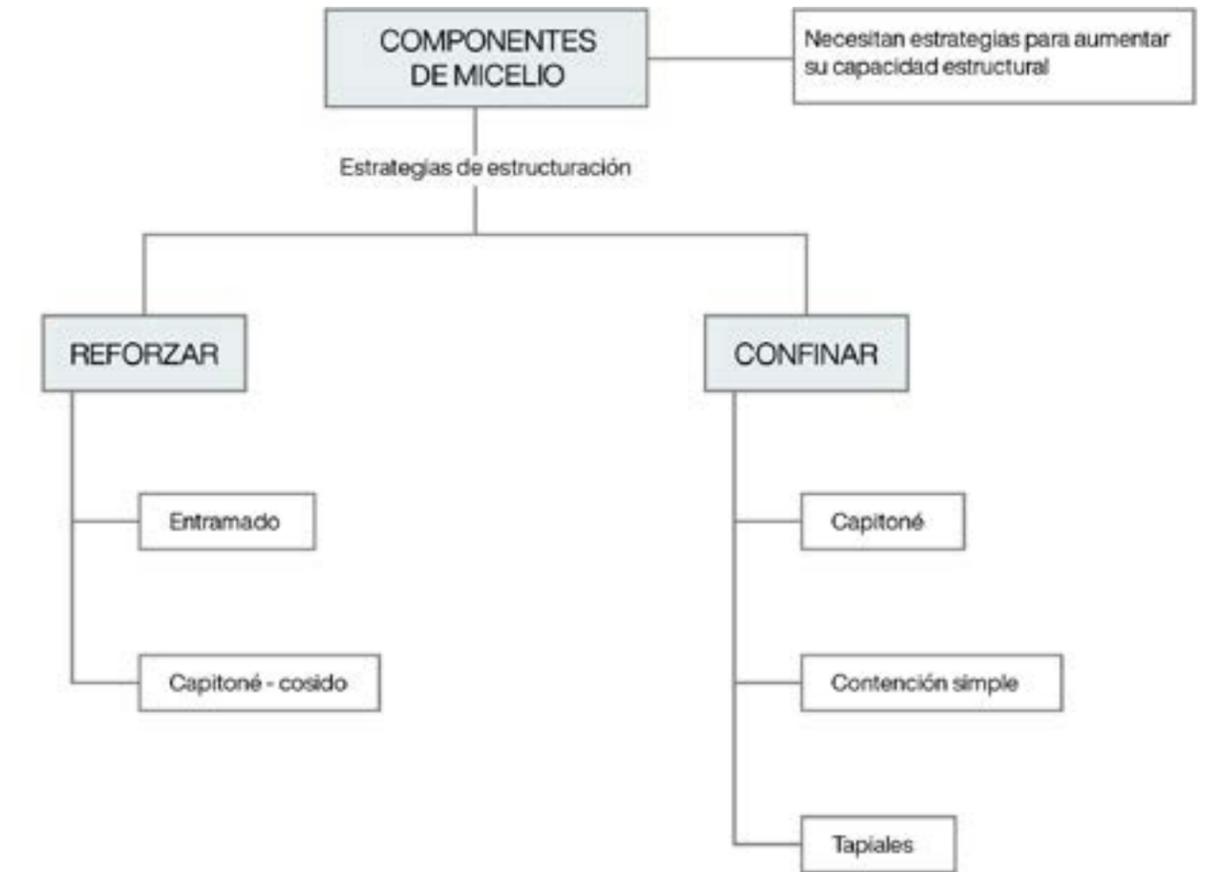


Fig. 98 Mapa conceptual con los tipos de métodos pensados para aumentar la resistencia de los componentes basados en micelio. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Refuerzo y Contención Simple

En base al experimento preliminar, se plantea el desarrollo inicial del sistema constructivo. Se toman en consideración las estrategias de refuerzo y confinado que mostraron una mayor resistencia en el testeado de probetas: C.III (contención en madera) y R.I (elemento vertical de madera). El presente sistema consta de unidades base (componentes A y B), los cuales se utilizan para conformar módulos constructivos.

Componente A

El Componente A tiene unas dimensiones de 3m de largo, 0,4m de ancho y 2,4m de alto. Se conforma a partir de ocho placas de terciado de 15mm de espesor, tres en cada cara longitudinal y una en cada cara lateral. Estas placas dan cabida a un volumen interior, el cual será llenado con micelio y su correspondiente sustrato. En su interior, se encuentran tres listones de madera de 3x3" ubicados en su eje central.

Componente A

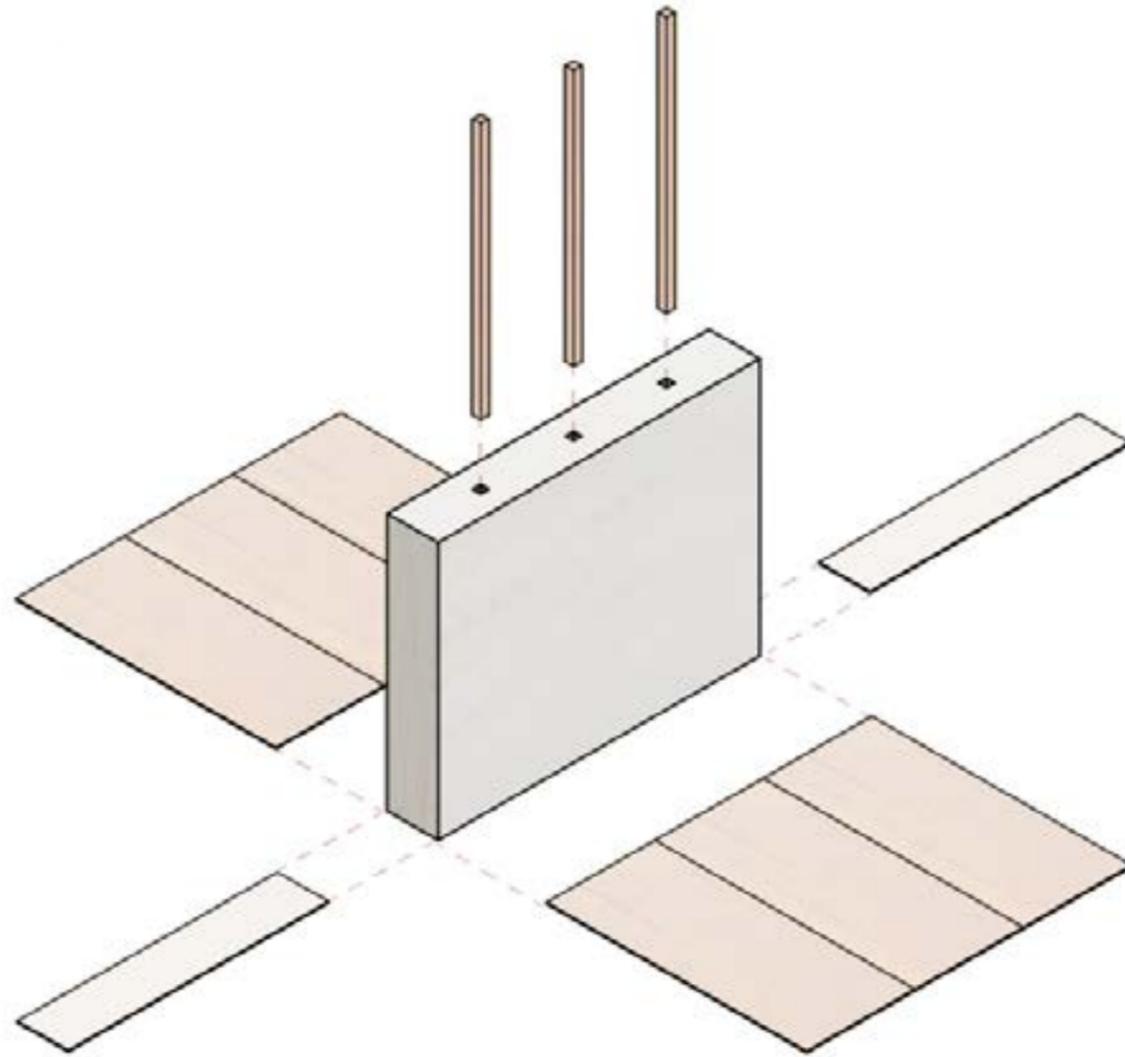


Fig. 99 *Componente A del sistema preliminar.*
Fuente: Elaboración propia

Componente B

El Componente B se diferencia del anterior en su dimensión longitudinal, que corresponde a 3,5 metros. Esta variación se hace con motivo de una mayor variabilidad en la creación de módulos, según los distintos recintos necesarios para una vivienda tipo.

A diferencia del Componente A, este cuenta con 10 placas de terciado de 15mm de espesor, cuatro en cada cara longitudinal y una en cada cara lateral. Si bien el volumen conformado por estas placas es mayor, se utilizan nuevamente tres listones de madera de 3x3" en su interior.

Cabe mencionar que se piensa la adición del micelio en el interior del componente una vez los listones interiores hayan sido colocados, con la finalidad de que ambos materiales trabajen en conjunto.

Componente B

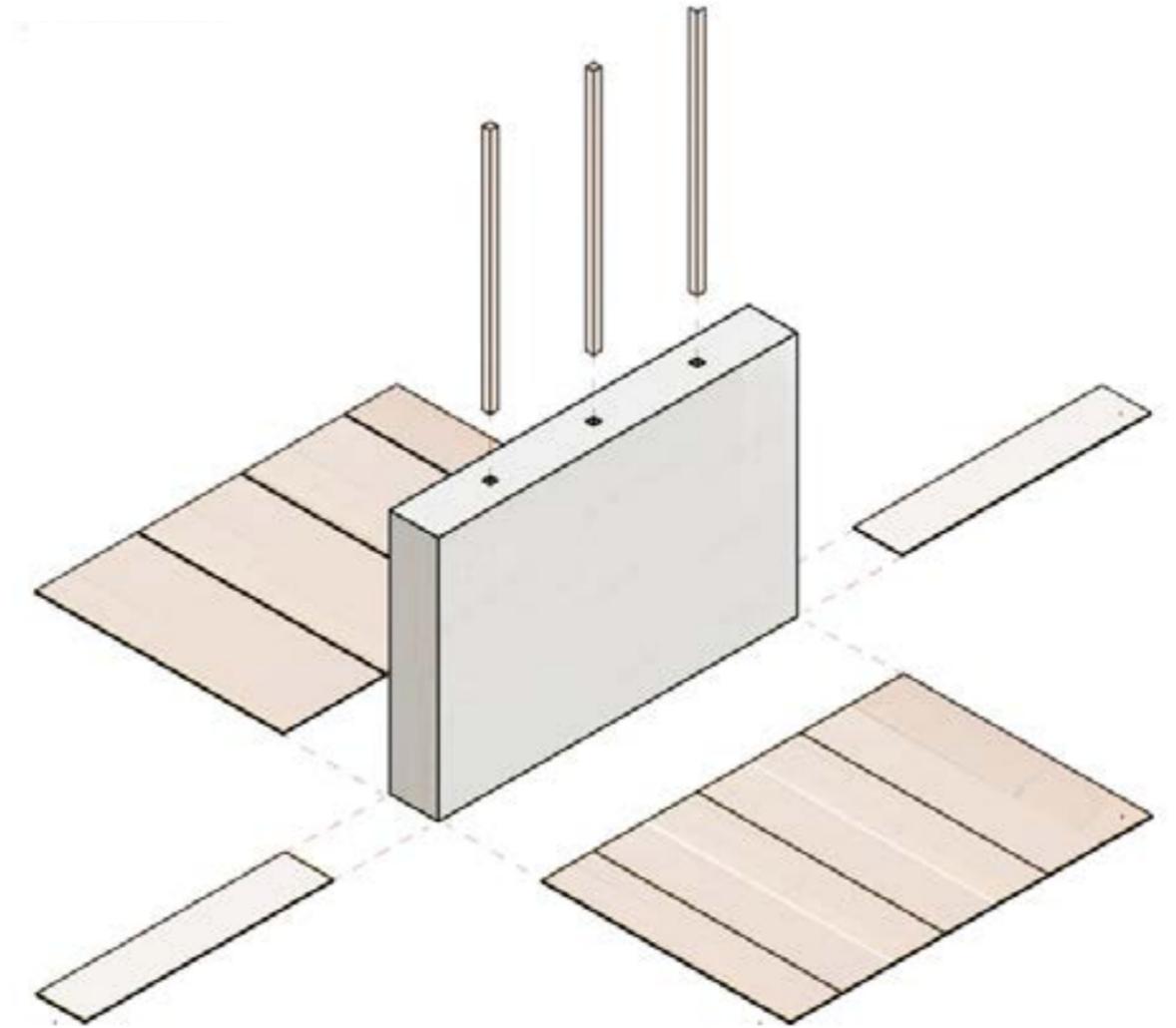


Fig. 100 *Componente B del sistema preliminar.*
Fuente: Elaboración propia

Módulo A

Los módulos constructivos de este sistema se conforman a partir de los componentes A y B contruidos. Para su armado, se utiliza un espacio rectangular compuesto de CLT (madera laminada cruzada), que cuenta con un espesor de 20 milímetros. Las uniones se realizan mediante pernos, similar a la construcción con CLT.

Cabe destacar que el uso de estos módulos se encuentra abierto a variaciones en cuanto a su composición, para lo cual se extraen componentes, según se estime conveniente, añadiendo otros módulos para la conformación de espacios mayores.

El primer módulo (A) corresponde al módulo constructivo de menor tamaño. Su interior es de 6 metros cuadrados interiores, los cuales se componen mediante la unión de cuatro componentes A. La axonométrica explotada (Ver Fig. 101) muestra dónde se coloca cada uno de los componentes.

Módulo A

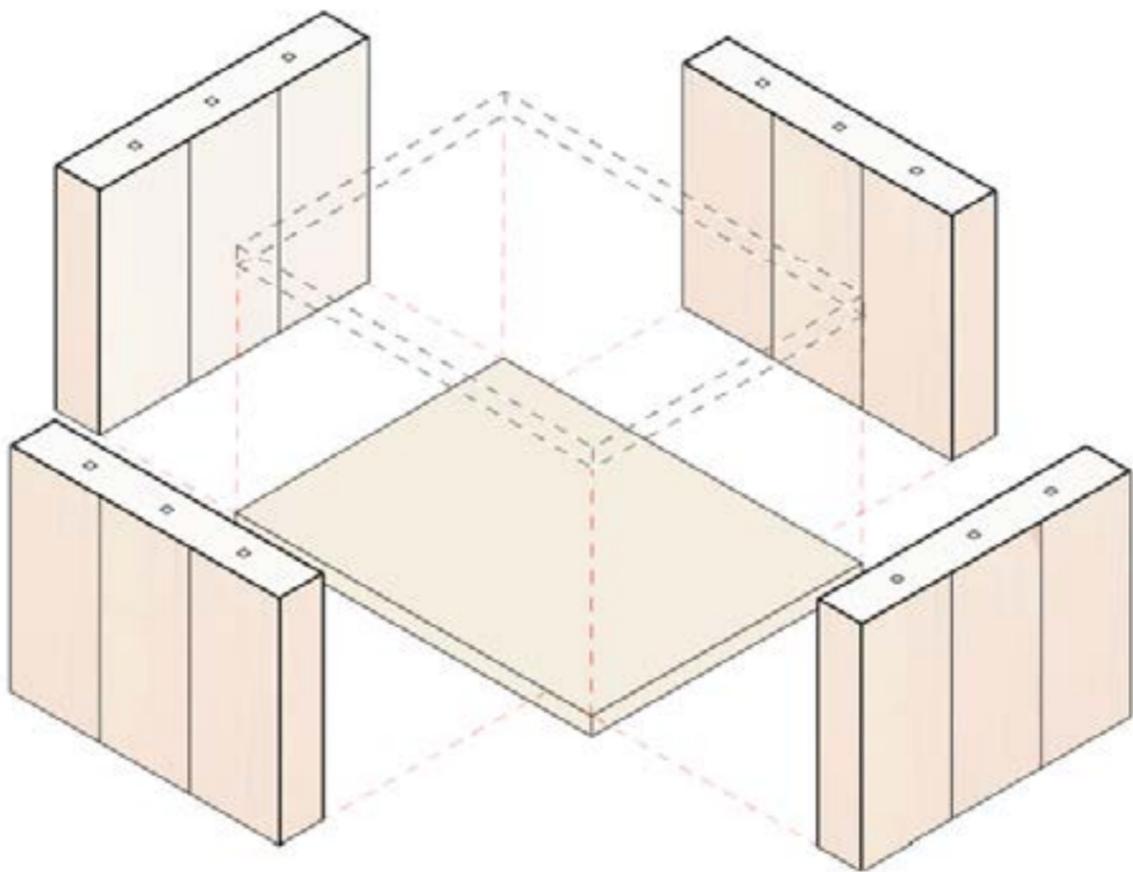


Fig. 101 *Módulo Pequeño del sistema preliminar.*
Fuente: Elaboración propia.

Módulo B

Por otro lado, el Módulo B corresponde al módulo de mayor tamaño. Su interior es de 7,5 metros cuadrados interiores, capaces de contener otro tipo de recintos. Este espacio se compone mediante la unión de dos componentes A y dos componentes B, dispuestos como se aprecia en la Figura 102.

Cabe mencionar que una de las condiciones con posibilidad de mejora de este sistema constructivo era la utilización del micelio. En este caso, este quedaba totalmente confinado entre las placas de terciado, limitando la exploración de su potencial de uso estructural. Junto con lo anterior, tampoco resulta en una variable importante en su diseño final más allá del espesor (considerado de 40 centímetros para este caso de estudio). Las siguientes propuestas tienen el objetivo de ser más radicales en cuanto a la utilización del micelio como componente principal, así como una mayor intencionalidad en sus implicaciones de diseño.

Módulo B

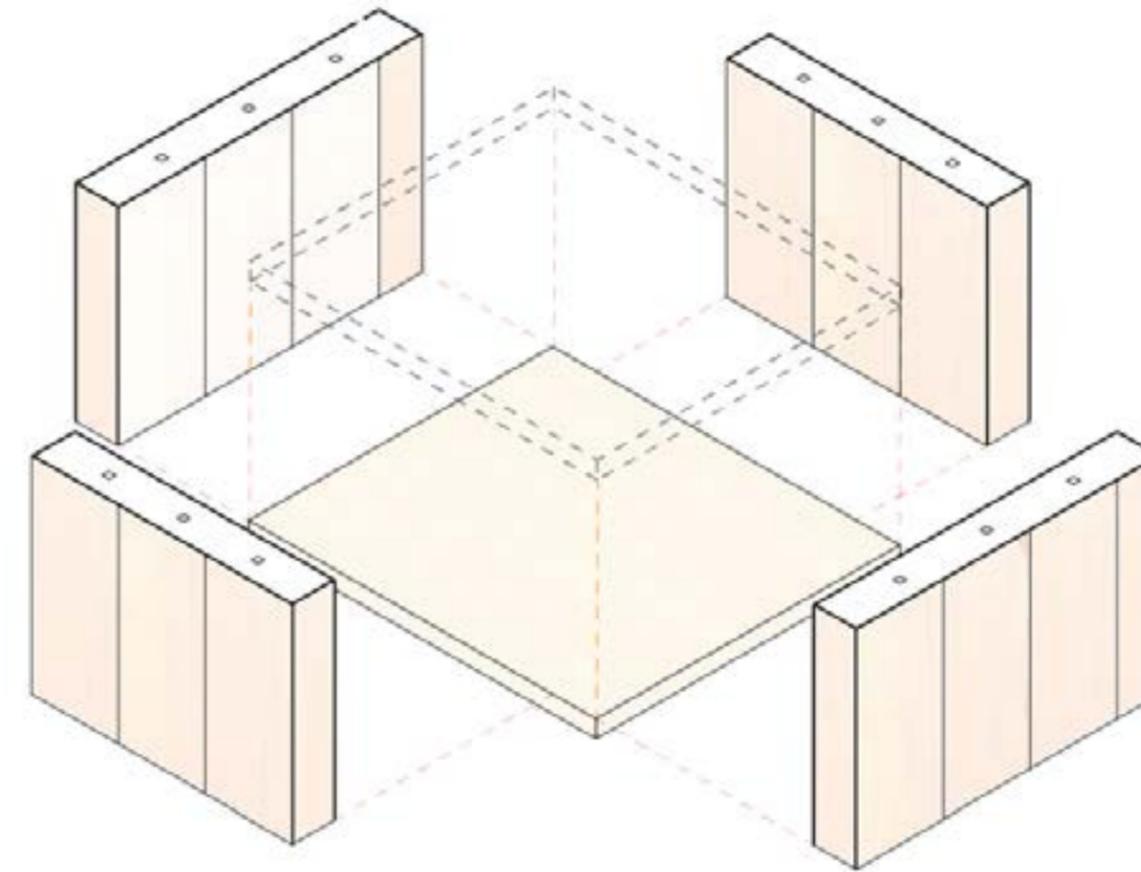


Fig. 102 *Módulo Grande del sistema preliminar.*
Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Entramado

Este sistema constructivo experimenta con el uso de elementos lineales de madera a modo de entramado. La unión entre estos elementos sería a través de clavos lanceros, similar a un entramado realizado de forma rústica, o bien mediante encajes. El interior de este entramado estaría compuesto por micelio confinado dentro de una malla geotextil. Las dimensiones del componente principal corresponden a 1m de ancho x 0,4m de ancho y 2,4m de alto.

Para la elaboración del componente se necesitan cinco piezas base, las cuales deben ser armadas previamente. El primer paso para su armado es la confección de un entramado con listones de 2x1". Luego, se coloca una base de poliestireno expandido y se coloca una malla geotextil al interior de la estructura formada. En su interior, se vierte la mezcla de micelio, con su respectivo sustrato y aditivos, para posteriormente ser ingresado a la incubadora. Una vez el micelio haya crecido, se extrae de la incubadora y se

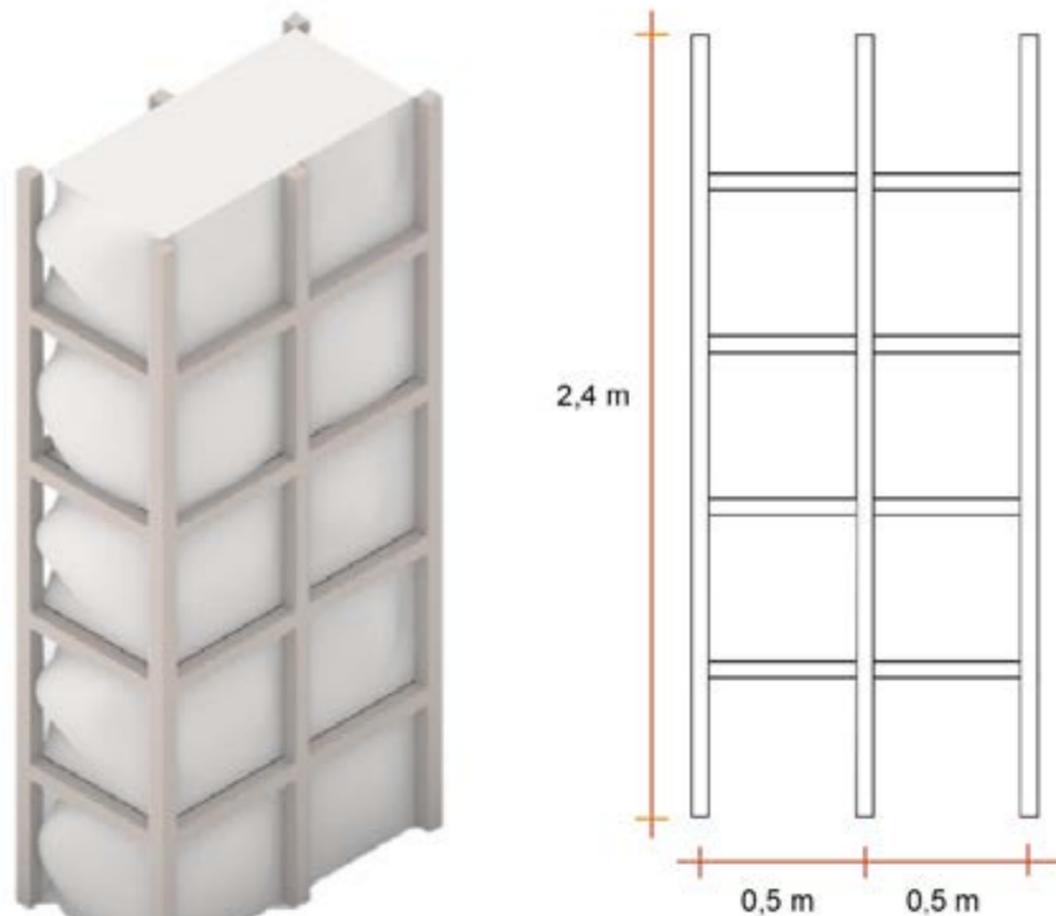


Fig. 103 *Componente prototipo preliminar Entramado.*
Fuente: Elaboración propia

deja secar al sol. De esta forma, se obtiene una primera pieza (ver Fig. 104) compuesta, en donde la madera con el micelio pasa a formar un elemento constructivo de manera conjunta. Cada una de estas piezas es apernada entre sí, conformando el componente constructivo base.

La unión de estos componentes se realiza mediante pernos y de manera similar al sistema de Paneles SIP, vale decir, posicionándose uno al lado del otro. La conformación de espacios es según sea necesario para cada módulo a construir.



Fig. 104

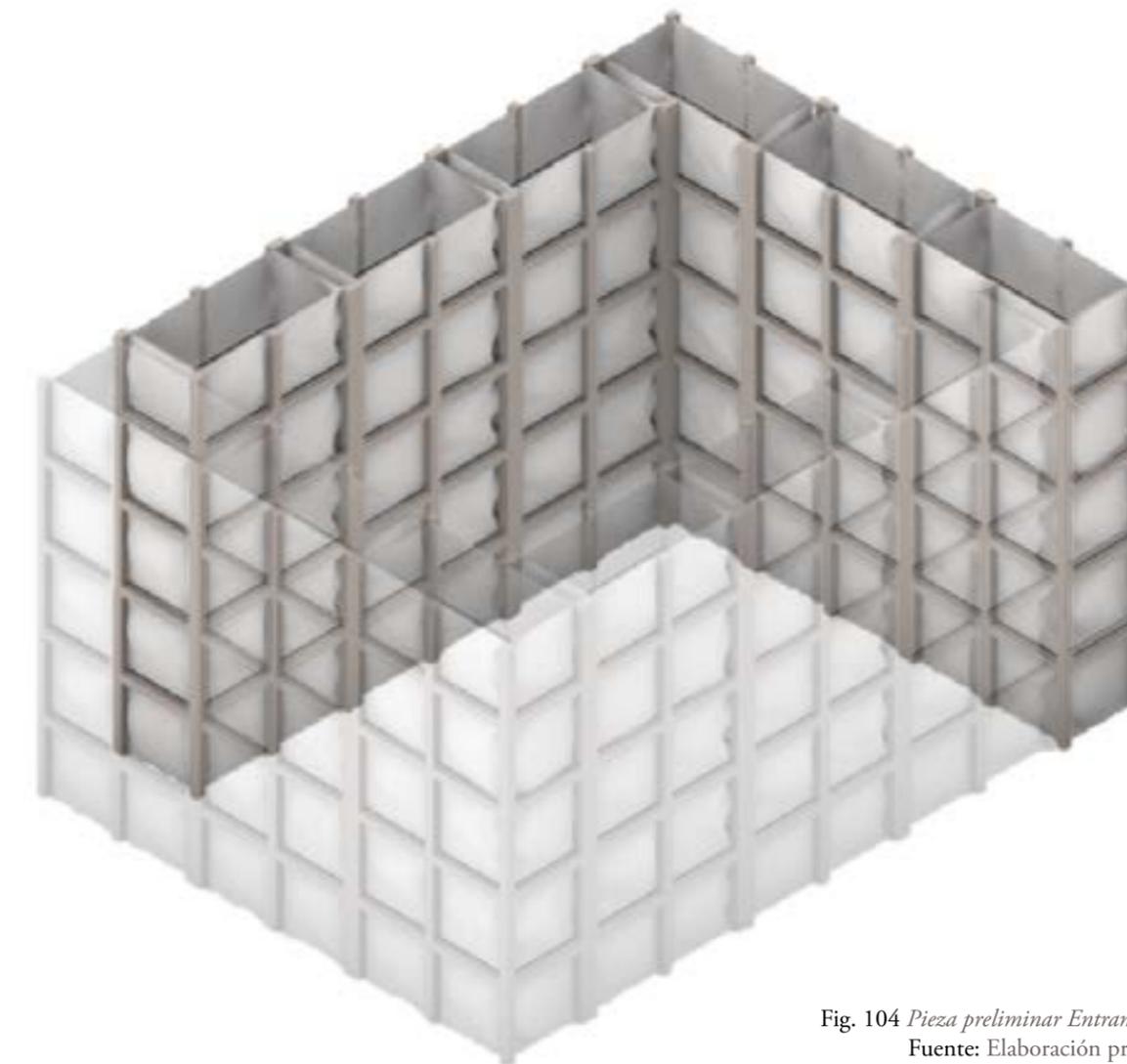


Fig. 105

Fig. 104 *Pieza preliminar Entramado.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 105 *Módulo preliminar Entramado.*
Fuente: Ibíd.

4.3.3 Contención Simple

El último prototipo desarrollado en este capítulo explora la posibilidad del uso de madera como elemento contenedor del micelio, pero de manera más radical que la realizada anteriormente (ver cap. 4.3.1) y sin refuerzos interiores. Este propósito se logra mediante el empleo de placas de madera solamente en las caras laterales del componente, manteniendo las otras dos libres. Las dimensiones del componente principal corresponden a 1m de ancho x 04m de ancho y 2,4m de alto.

Para la elaboración de la pieza se debe disponer una base de poliestireno expandido, sobre la cual se colocan dos tablas. Se cubre lateralmente con malla geotextil, quedando esta por fuera de las tablas. Posteriormente, se procede a la introducción de micelio en el interior, para luego ser llevado a la incubadora y, finalmente, ser secado al sol. La pieza obtenida (ver Fig. 110) queda entonces dispuesta para ser utilizada en la conformación del sistema constructivo.

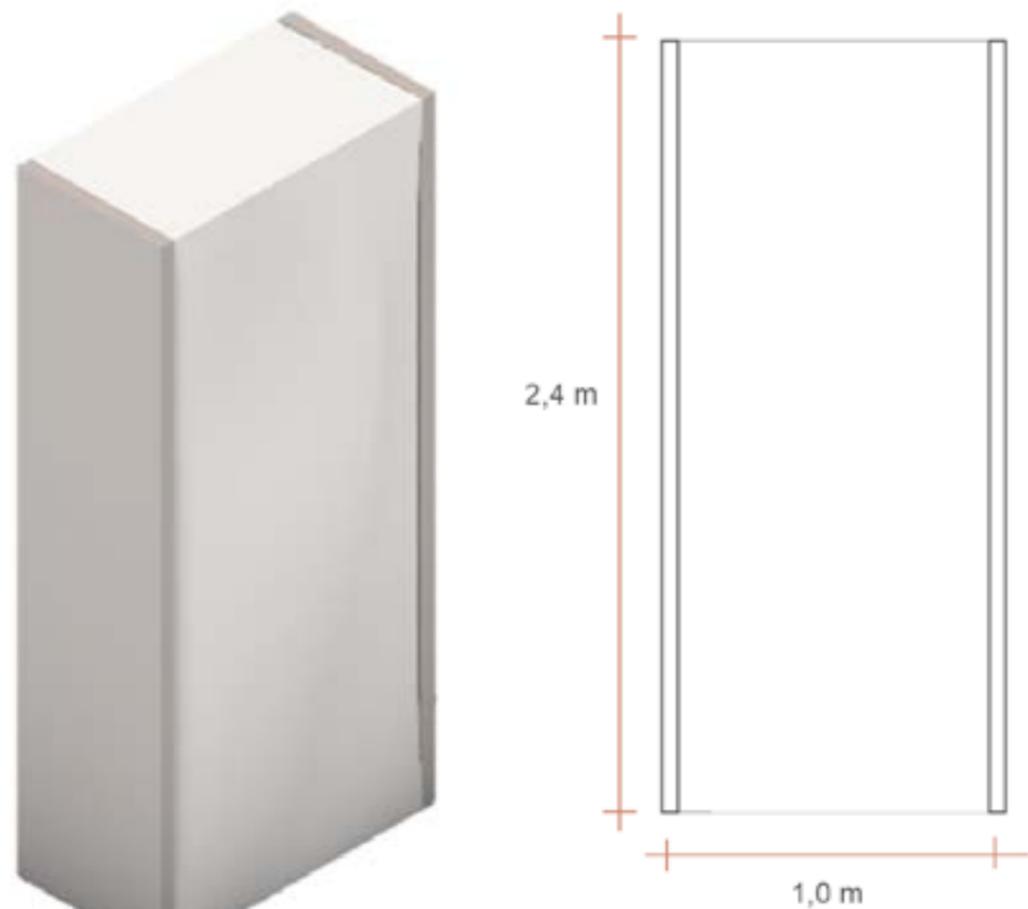


Fig. 106 Componente prototipo preliminar Confinado act.
Fuente: Elaboración propia

El apilamiento de cinco de estas piezas resultantes, de manera vertical, conforma un componente. La unión entre estas se realiza a través de clavos lanceros y el encolado de la estructura.

Finalmente, los componentes se montan aditivamente por sus caras laterales, utilizando clavos lanceros para su ensamblaje. En los casos de las esquinas, puede utilizarse un encolado para aportar adherencia.

La composición del montaje depende de las medidas necesarias para el diseño de un módulo, igual que en el caso anterior.



Fig. 107

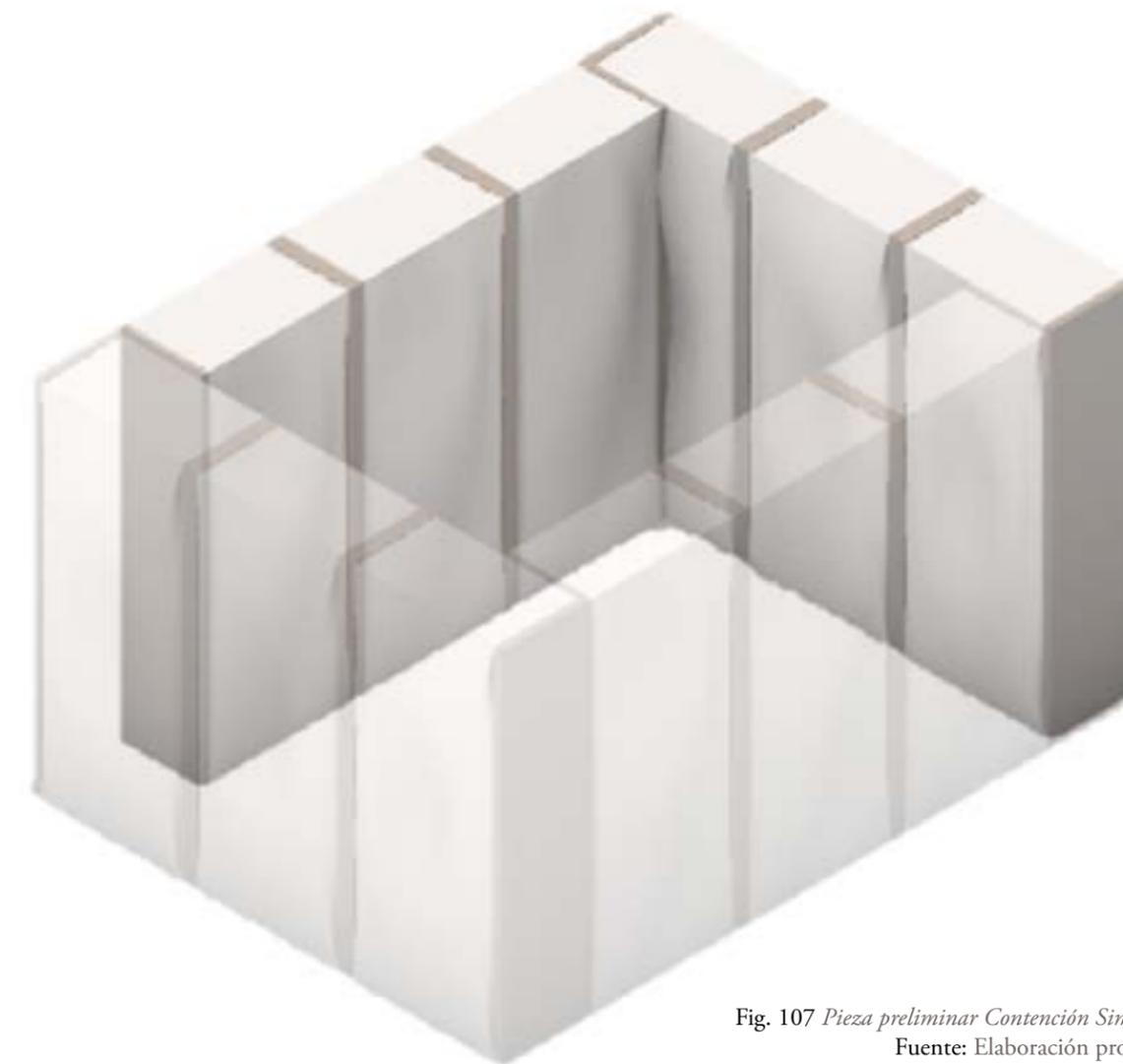


Fig. 108

Fig. 107 Pieza preliminar Contención Simple.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 108 Módulo preliminar Contención Simple.
Fuente: Ibíd.

4.3.4 Capitoné

El sistema Capitoné experimenta de manera más radical la utilización de micelio como material estructurante principal. Su conformación consta de una malla geotextil, la cual contiene al micelio en su interior. A modo de refuerzo, se opta por el uso de elementos tensores, los cuales se ubican geométricamente en la estructura. Las dimensiones del componente principal corresponden a 1m de ancho x 04m de ancho y 2,4m de alto.

Para la fabricación de la pieza principal, unidad base del sistema constructivo, se conforma un molde de poliestireno expandido capaz de contener al micelio en su interior, pero dejando las dos caras de mayor longitud abiertas. Este molde es confinado con material geotextil y y tensado mediante el uso de cuerda de yute y botones. Se vierte el micelio y se pasa a la incubadora para su crecimiento, para posteriormente ser extraído y secado al sol. Se obtiene entonces la pieza base del sistema (ver Fig. 107).

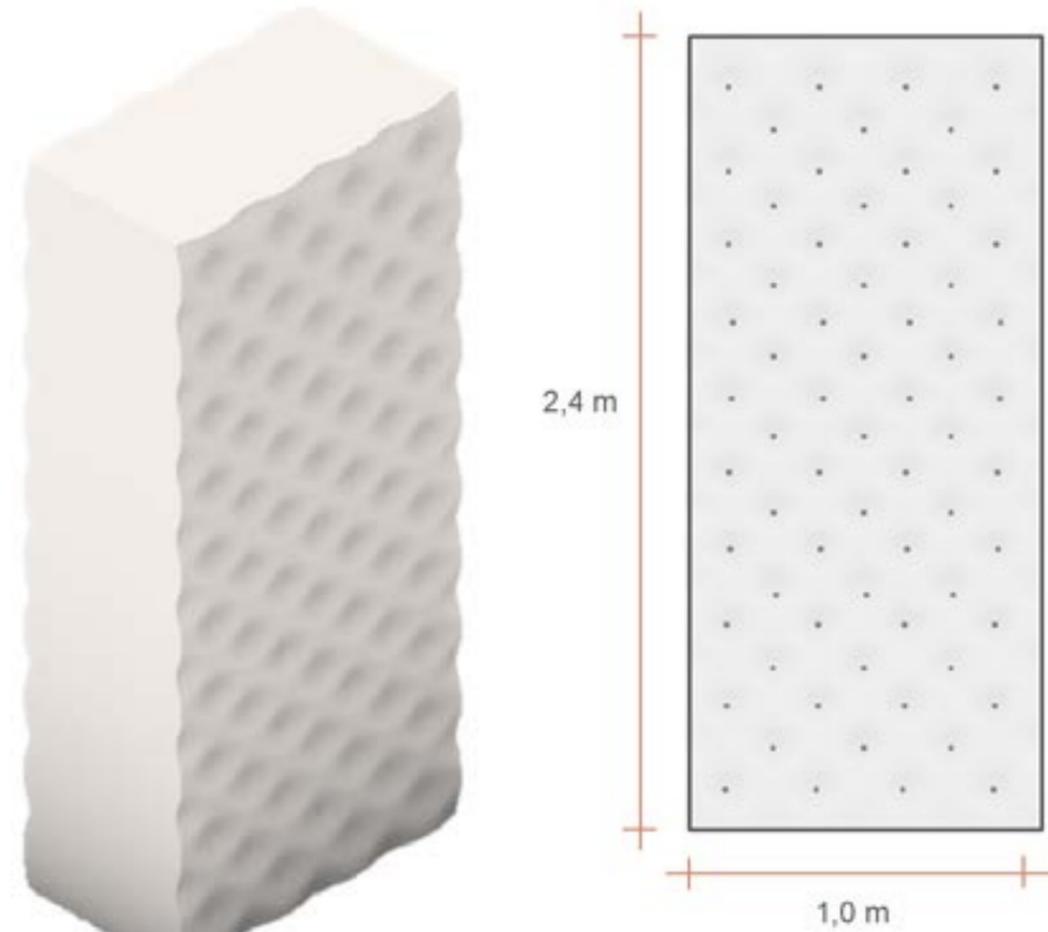


Fig. 109 Componente prototipo preliminar Capitoné.
Fuente: Elaboración propia.

El componente se conforma por cinco piezas apiladas de manera vertical, conformando una unidad constructiva a la compresión. La unión entre estas puede realizarse mediante encolados y/o tejidos entre las mallas.

Los componentes resultantes son montados similarmente a los dos casos anteriores, vale decir, uno al lado del otro según sea necesario para cada módulo a desarrollar. Su unión puede ser igualmente encolada y/o tejida entre mallas, para dar cabida a un espacio interior básico.

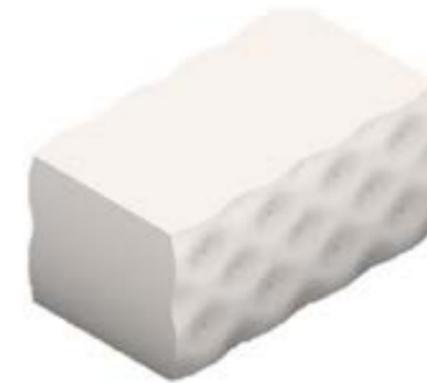


Fig. 110

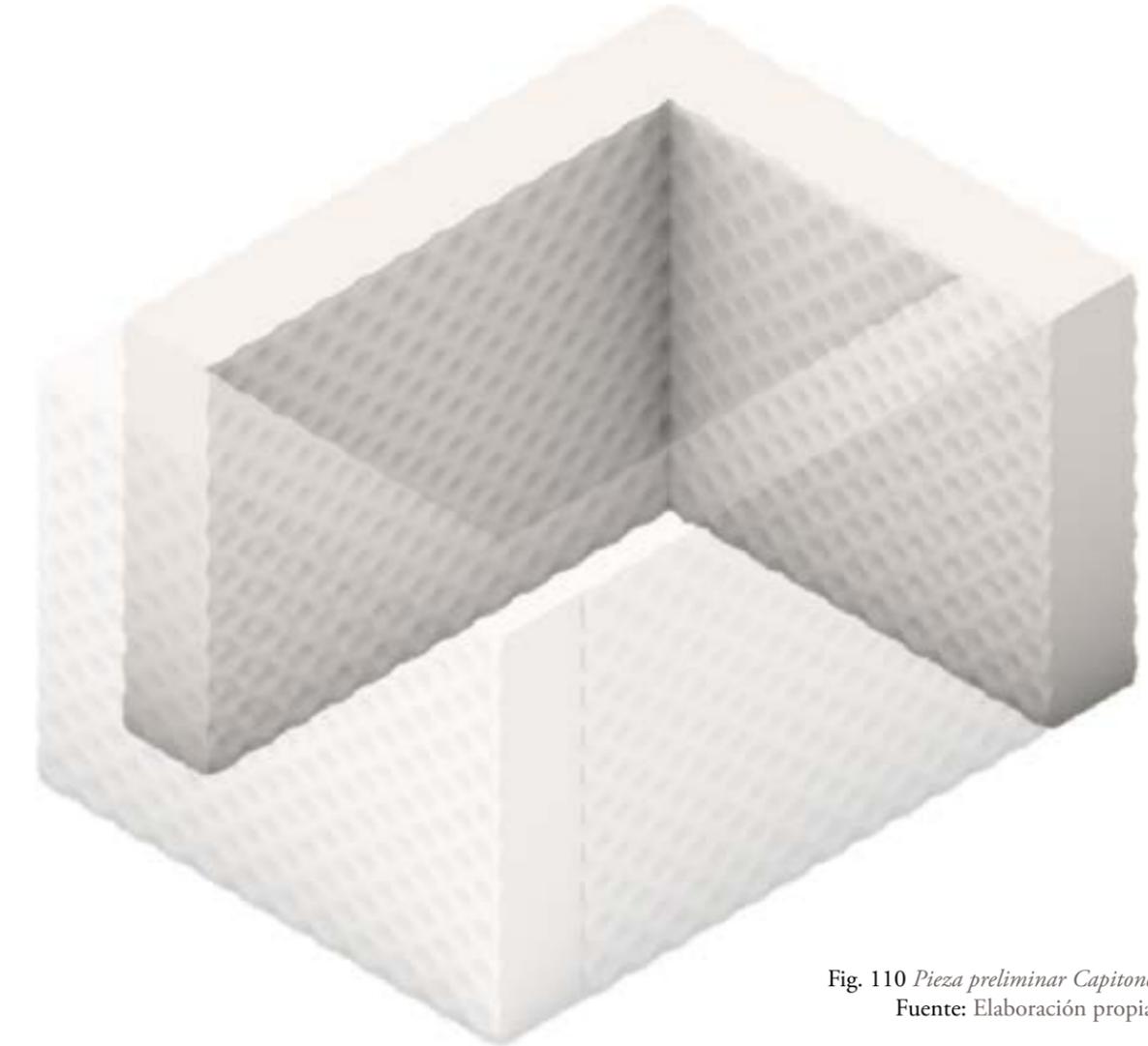


Fig. 111

Fig. 110 Pieza preliminar Capitoné.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 111 Módulo preliminar Capitoné.
Fuente: Ibíd.

4.3.5 Conclusiones de diseños preliminares

El diseño de los prototipos presentados permitió explorar distintas posibilidades del uso del micelio en el diseño de un sistema constructivo. Por un lado, se indagó en un uso menos radical, conformado por refuerzo y confinado de madera, un material que aporta considerablemente a la resistencia estructural. Es por esta razón que el micelio quedaba reducido más bien a un elemento de segunda categoría, no aportando ampliamente al diseño y actuando como aislamiento.

Posteriormente, se llevaron a cabo dos propuestas enfocadas en la utilización más radical de madera: una contaba con un entramado exterior, mientras que la otra con la utilización de planchas en sus caras laterales. En el caso del primero, si bien el micelio podía aportar por su forma, la solución no logra resolver bien las uniones entre piezas ni entre componentes, lo cual es realizado a través de clavos lanceros simplemente. Por

otro lado, el segundo caso tampoco logra resolver bien las uniones, además de carecer de refuerzo interiores que parecen ser necesarios para el funcionamiento del sistema.

Por último, se exploró una opción aún más radical, carente de materiales más resistentes como la madera. Esta opción se ve dificultada en su aplicación en la vida real, en tanto que los elementos de refuerzo no lograrían aportar los requerimientos estructurales necesarios, si bien existe una contención del micelio que aporta su capacidad mecánica.

Cabe destacar también que ninguna de las alternativas resuelve en su totalidad la variabilidad que debería tener el componente en cuanto a esquinas, vanos e instalaciones, así como tampoco su unión con algún elemento de losa biobasada en micelio. Además, se requiere una mayor investigación de las capacidades estructurales del material para saber dónde y cómo aplicar las estrategias utilizadas en estas propuestas.

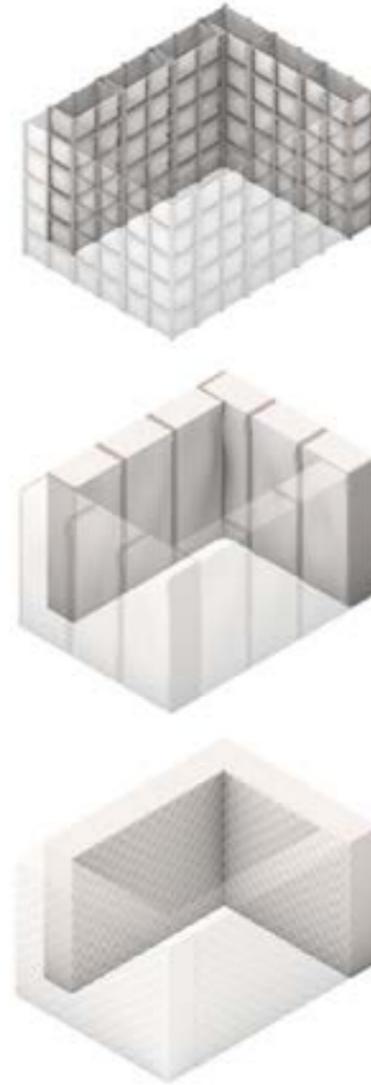


Fig. 112 *Casos preliminares.*
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. Serie de exploraciones con probetas

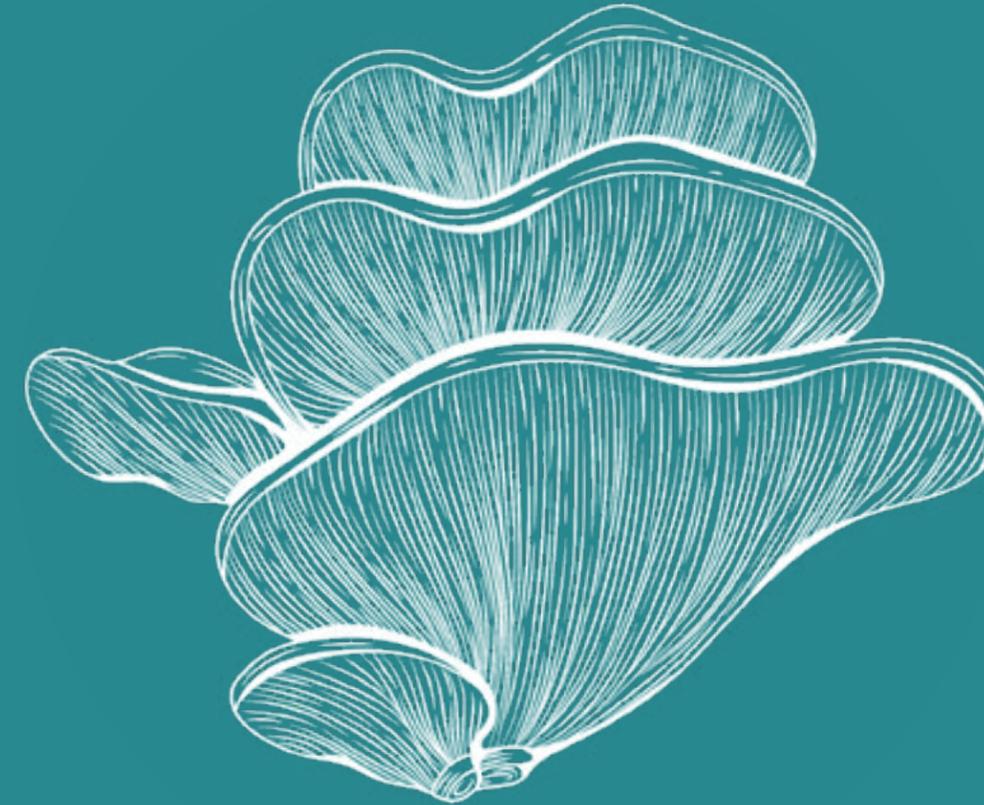


Fig. 113 *Ilustración de hongo ostra.*
Fuente: Extraída de Freepik.

5.1 Series con material tipo espuma

A modo de comprender las posibilidades físico-mecánicas con las que se puede trabajar el micelio, se proponen dos series de experimentos que, como la serie preliminar, utilizarán poliestireno expandido como un material similar. Esto permitirá identificar comportamientos en este tipo de materiales sin la necesidad de trabajar en el laboratorio.

La primera serie propuesta revisita las ideas de los diseños preliminares -entramado, contención simple y Capitoné-, indagando su rigidez, resistencia y deformación mediante el testeo con una carga uniformemente distribuida.

La segunda serie propuesta es más bien explorativa, en donde se confeccionan variantes de los casos anteriores a través del agregado o extracción de material o el cambio de los métodos y/o materiales

utilizados. El propósito es indagar en los posibles métodos en las que estas estrategias son utilizadas. Igual que en el caso anterior, cada prototipo es sometido a una prueba de compresión mediante el empleo de una carga uniformemente distribuida.

Las pruebas son realizadas en una prensa manual con tornillo (ver Fig. 114), la cual hace bajar una plataforma que distribuye una carga sobre los prototipos.

Para efectos de esta serie de experimentos, se evaluarán los resultados en términos del porcentaje de deformación vertical de cada prototipo con respecto a su situación inicial.



Fig. 114

Fig. 114 Prensa manual tornillo.
Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Serie comparativa

Esta serie presente una revisión a las estrategias desarrolladas como parte de los diseños preliminares para el sistema constructivo. El objetivo es poner a prueba estas estrategias mediante un testeo empírico para obtener conclusiones con respecto a su utilización. El experimento se basa en la utilización de cuatro probetas de aproximadamente 15cm x 15cm x 15cm, las cuales serán sometidas a una carga uniformemente distribuida para analizar su deformación.

La confección de probetas considera:

- **Control:** como base del experimento sin intervención de estrategias.
- **Reforzado:** se utilizan elementos de madera vertical y horizontalmente, cuatro de cada uno.
- **Contención simple:** Se utilizan dos planchas de madera en los costados y se cubre con fibra de vidrio. Se añade pegamento.
- **Capitoné:** se contiene el poliestireno expandido en arpillerera y se utiliza

Control	Reforzado	Contención Simple	Capitoné
Situación inicial	Situación inicial	Situación inicial	Situación inicial
Situación posterior	Situación posterior	Situación posterior	Situación posterior

Fig. 115

Fig. 115 Tabla comparativa de los resultados iniciales y posteriores al uso de la prensa según cada prototipo.
Fuente: Elaboración propia

cuerda y botones para tensar. Se añade pegamento.

Al realizar las pruebas de compresión, se obtiene el porcentaje de deformación vertical con respecto al caso original. A modo de comparación, el caso de control se deformó aproximadamente un 34,7%.

El prototipo Reforzado obtuvo un porcentaje de 18,9% de deformación, el menor de la serie, pero su estructura sufrió una grave destrucción, pues su parte derecha se desprende y separa del resto del componente. Por otro lado, el prototipo de Contención Simple obtuvo un 21% de deformación, pero igualmente su forma quedó considerablemente distinta provocada por una ruptura de las planchas de madera. Por último, el prototipo Capitoné obtiene un 22,4% de deformación, siendo de todas formas considerable con respecto al caso base; su forma resultante queda más bien achatada.

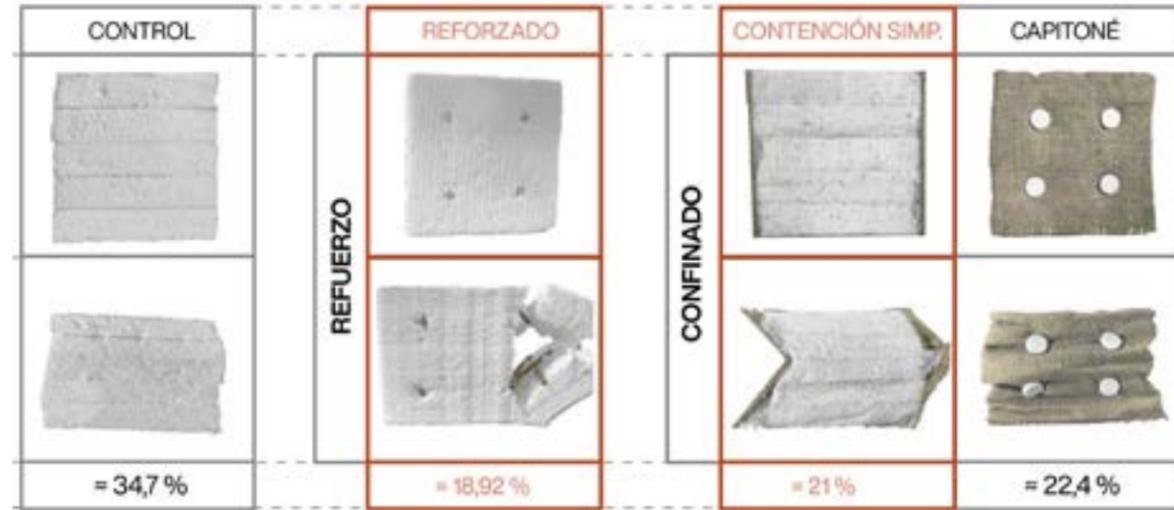


Fig. 116

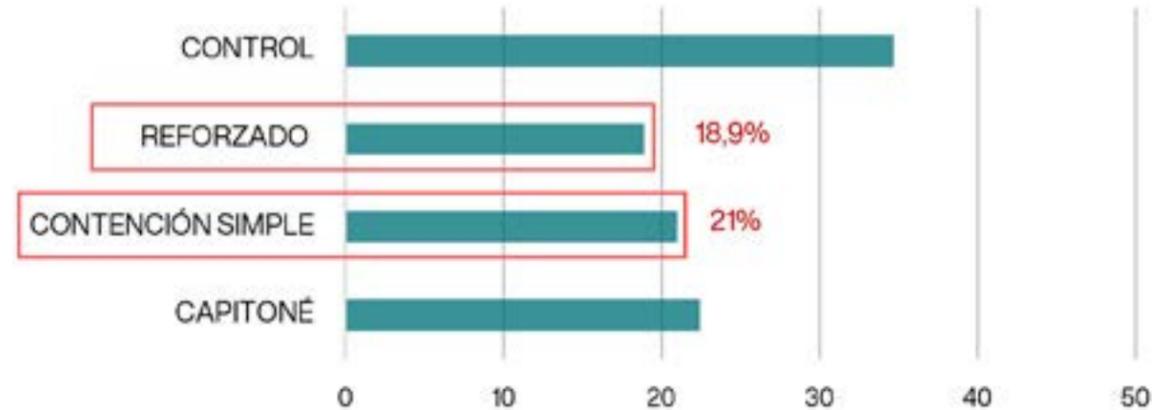


Fig. 117

Fig. 116 Tabla comparativa de los resultados según los porcentajes de deformación.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 117 Gráfico de los resultados obtenidos.
Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Serie explorativa

Esta serie corresponde a una exploración de las estrategias que fueron testeadas en la serie anterior. El propósito es poder indagar en el comportamiento de las estrategias al utilizar materiales-métodos distintos para su confección, así como también extraer o incorporar materiales. Las probetas utilizadas cuentan con medidas de aproximadamente 10cm x 10cm x 10cm, las cuales serán sometidas a una carga uniformemente distribuida para analizar su deformación, como fue realizado en la serie anterior.

La confección de probetas considera:

- **Reforzado I (R.I):** se prueba con cuatro varas de madera emplazadas en sentido vertical.
- **Reforzado II (R.II):** a la anterior, se le agregan cuatro varas en sentido horizontal que cruzan de una cara a la otra.
- **Reforzado III (R.III):** a la anterior, se le agregan cuatro varas más en sentido horizontal, de la cara que estaba sin

reforzar a la otra.

- **Confinado I (C.I):** se confina lateralmente con madera, pero el material no ocupa el total de la cara.
- **Confinado II (C.II):** para confinar se utiliza una malla metálica y se refuerza con material aglomerante.
- **Confinado III (C.III):** se usa material textil y se tensa con amarras plásticas.
- **Confinado IV (C.IV):** se usa material textil y se tensa con hilo y botones.

Al realizar las pruebas de compresión con su porcentaje de deformación vertical, el que mayor deformación obtuvo fue el prototipo C.III (28,1%), mientras que la menor fue del prototipo C.II (13,6%). Si bien este último tuvo una menor deformación vertical, sus elementos terminaron por desprenderse de su base de poliestireno expandido. Por otro lado, se ve una mejora en el comportamiento de la forma resultante al no confinar toda la cara con madera (C.I), siendo este más estable. En cuanto al refuerzo, se vuelve necesario agregar varas en más de un sentido para aumentar su resistencia.



Fig. 118 Prototipos explorativos fabricados con material tipo espuma (poliestireno expandido).
Fuente: Elaboración propia

	REFORZADO I	REFORZADO II	REFORZADO III	CONFINADO I	CONFINADO II	CONFINADO III	CONFINADO IV
REFORZADO							
	= 24,8 %	= 23,3 %	= 20,7 %	= 16,7 %	= 13,6 %	= 28,1 %	= 20,6 %

Fig. 119

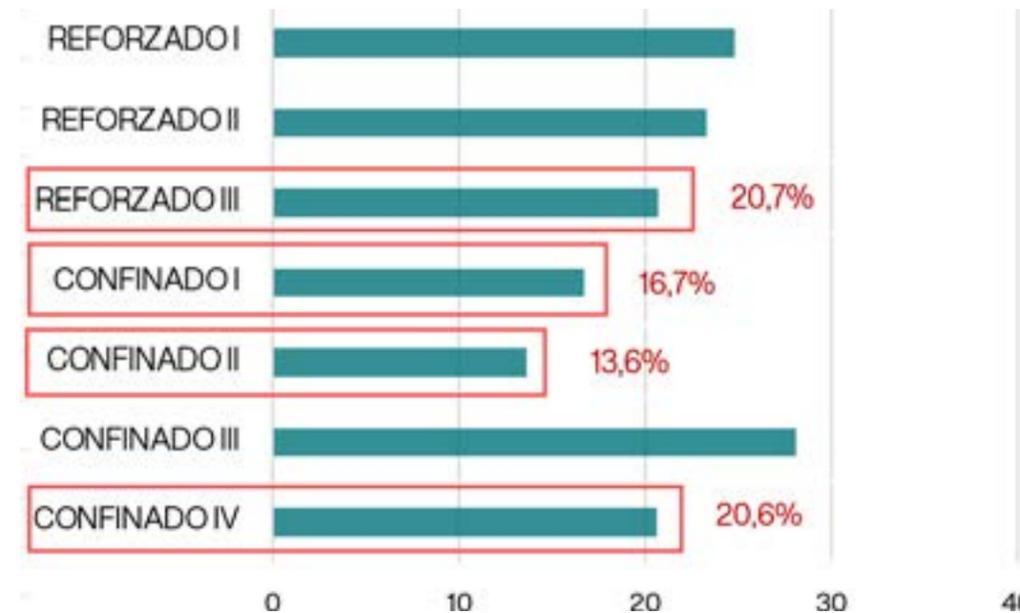


Fig. 120

Fig. 119 Tabla comparativa de los resultados según los porcentajes de deformación.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 120 Gráfico de los resultados obtenidos.
Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos permiten identificar que las distintas estrategias de refuerzo tienen unos resultados similares, aumentando la resistencia del material, para lo cual se hace necesario realizar estos refuerzos en más de una dirección.

Las estrategias de confinado, por su parte, son más bien disímiles. Se deduce que el capitoné tiene algo de aporte a la resistencia estructural, la cual es mayor si se utiliza hilo-cuerda y botones para su tensión. El confinado con madera obtiene resultados óptimos y tiene el potencial de reducir su material y seguir funcionando. Por último, el hecho de confinar con un material metálico y cubrirlo con un material aglomerante resulta ser la opción con menos deformación vertical. Sin embargo, es necesario revisar la manera en que estos materiales se adhieren al principal, puesto que se desprendieron una vez realizada la prueba de compresión.

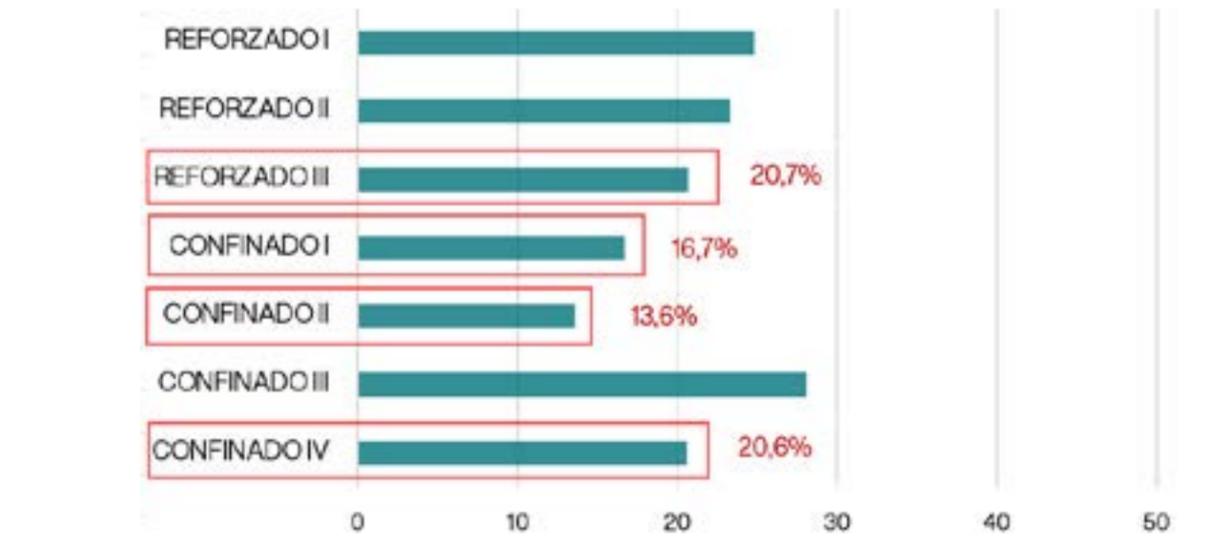
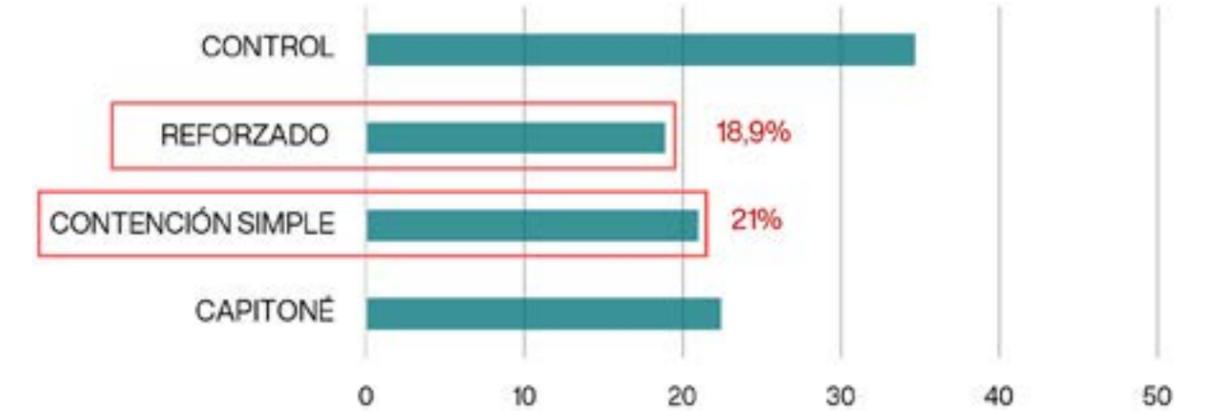


Fig. 121 Gráfico de los resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia

Fig. 122 Gráfico de los resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia

5.2 Series con probetas de micelio

Las siguientes series buscan trabajar con el micelio en el laboratorio y analizar cómo se comporta este biomaterial realmente, qué condiciones y estrategias se vuelven más favorables en su medio, qué dificultades trae en la ejecución de estas y de qué manera los distintos materiales se pueden complementar entre sí. La idea es implementar las estrategias realizadas con poliestireno expandido a probetas de micelio, las cuales serán sometidas a pruebas que pretenden evaluar su rigidez, deformación y resistencia a la compresión y la tracción.

Se realizan dos series que consideran la misma cantidad y de prototipos con las mismas estrategias. La primera busca evaluar principalmente la resistencia a la compresión de las probetas, mientras que la segunda busca evaluar la resistencia a la tracción. A su vez, ambas consideran un análisis de deformación de sus estructuras, así como de su rigidez total.

Al igual que en el caso de las series anteriores, las pruebas son realizadas en una prensa manual con tornillo que somete las probetas a una carga uniformemente distribuida.

Para la elaboración de los prototipos, se consideran condiciones similares, de manera que los resultados puedan ser comparables. Por ende, el planteamiento de los experimentos, así como los moldes y métodos de fabricación, contarán con las mismas características.



Fig. 123



Fig. 124

Fig. 123 *Spawn de micelio fúngico realizado con granos.*
Fuente: Elaboración propia

Fig. 124 *Sustrato de álamo esterilizado.*
Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Planteamiento de los experimentos

Los siguientes experimentos se basan en la utilización de probetas cúbicas de aproximadamente 15cm x 15cm x 15cm, tal como se hizo en la denominada serie comparativa (ver cap. 5.1.1). Cada probeta es fabricada en base a micelio en el Laboratorio de Biofabricación (ver Fig. 126), utilizando cepas del tipo *Ganoderma Lucidum*. Su elaboración se divide en cinco etapas:

1. Armado de los moldes.
2. Inserción de materiales en su interior.
3. Cultivo e incubación.
4. Secado.
5. Tratamiento posterior.

Cabe recalcar que estas series de prototipos utilizan estrategias que vienen de los experimentos hechos con poliestireno expandido (ver caps. 5.1.1 a 5.1.3). Las estrategias por testear son:

- **Reforzado A (R.A):** se utilizan elementos lineales de madera como refuerzos interiores, esto en cada eje vertical y horizontal. Además de lo considerado para los experimentos con poliestireno expandido, se toma en cuenta la propiedad de anastomosis, que es la "unión de unos elementos anatómicos con otros de la misma planta, animal o estructura mineral" (Fuentes-Cantillana, 2020, p. 58). Esta propiedad permita al micelio la unión con la madera, por lo que se busca evaluar su posibilidad de funcionar y así aportar resistencia al prototipo.
- **Reforzado B (R.B):** se utilizan elementos lineales de madera como refuerzos interiores como en el caso anterior, pero esta vez sin poner a prueba la propiedad de anastomosis: se incorpora la madera una vez secado el micelio. Para ello, se utilizan elementos lineales de plástico, los que al ser retirados dejan orificios, en los cuales se inserta y encola la madera.



Fig. 125

Fig. 125 *Probeta de micelio en laboratorio.*
Fuente: Elaboración propia.

- **Contención simple (C.S):** Se utilizan dos planchas de madera en los costados del componente y se cubre con textil no tejido. Al igual que en los dos casos anteriores, se pone a prueba la propiedad de anastomosis del micelio, por lo cual la madera es insertada previo al proceso de cultivo.
- **Malla ACMA (C.M):** se contiene el bloque de micelio mediante una malla simple de acero, la cual se agrega posterior a la etapa de secado.
- **Capitoné (C.C):** se contiene el bloque de micelio en textil no tejido y se utiliza cuerda de yute y botones para tensar. Posteriormente se añade pegamento.



Fig. 126

Junto con las probetas anteriores, se considera una de control para cada serie, a la cual no se le emplean estrategias.

Fig. 125 Laboratorio de Biofabricación, Campus Lo Contador - Pontificia Universidad Católica de Chile. Fuente: Elaboración propia.

	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
MOLDES						
INTERIOR						
CULTIVO						
SECADO						
POSTERIOR						

Fig. 127 Planteamiento de los experimentos. Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de los componentes está enfocada en la deformación y rigidez de las probetas en cada serie, las cuales son sometidas a ensayos de compresión y flexotracción. En ese sentido, se evalúa igualmente su resistencia a la compresión y la tracción.

La prueba a compresión corresponde a la serie A. Se realiza de manera similar a las anteriores (ver caps. 5.1.1 a 5.1.3), utilizando la misma prensa manual con tornillo. Sin embargo, para obtener un resultado comparable entre las probetas, se opta por bajar la prensa hasta 8,5 cm de la base inferior de cada componente.

El ensayo a la tracción corresponde a la serie B. Considera un método indirecto de prueba, pues resulta más simple de realizar que uno directo. Se opta por un ensayo basado en la flexotracción con carga a tercios, en donde se aplican dos cargas entre dos apoyos (ver Fig. 129). En este tipo de ensayos, la ruptura de la probeta puede ocurrir en cualquier lugar, pues toda esta se encuentra sometida bajo

el mismo momento flector (Amador, s.f.). Para efectos de este experimento, se realiza una carga uniformemente distribuida sobre cada probeta, la cual se encuentra sobre el nivel de suelo gracias a dos elementos que la sostienen, dejando un espacio entre ellos. Igual que en la serie A, se baja la prensa hasta 8,5 cm desde la base inferior de cada componente.

Cabe mencionar que pueden existir diferencias estructurales que sean resultado del crecimiento del micelio y su posterior secado al sol. Estos factores pueden incidir en la resistencia de los componentes independientemente de las estrategias utilizadas.

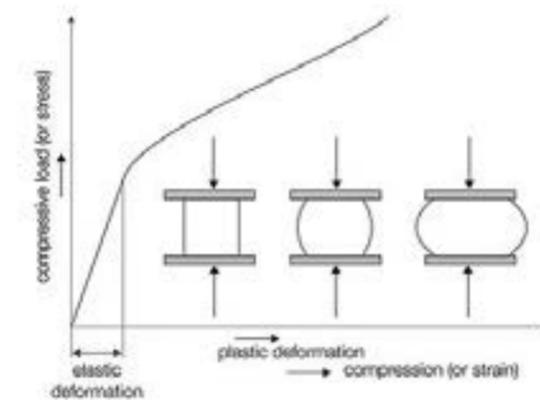


Fig. 128

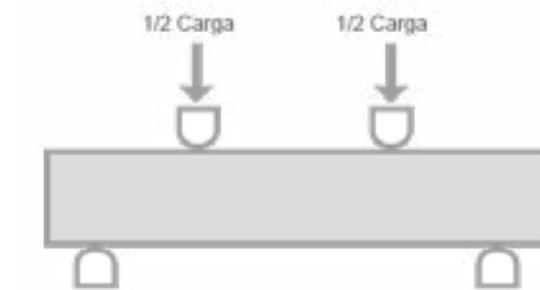


Fig. 129

Fig. 128 *Prueba de compresión.*
Fuente: ZwickRoell

Fig. 129 *Ensayo indirecto a flexotracción.*
Fuente: Extraído de MACG Ingeniería y Geotecnia.

5.2.2 Fabricación de los moldes

El primer paso de la elaboración de las probetas a experimentar es el armado de los moldes que deberán contener los bloques de 15cm x 15cm x 15cm. Para ello, se necesita un material capaz de soportar las condiciones a las que crece el micelio, así como también permitir un óptimo desarrollo. Además, se busca que estos puedan ser reutilizados.

El primer material por el que se optó fue PLA (ácido poliláctico), el cual es un polímero bioplástico que puede ser utilizado en la impresión 3D. Sin embargo, su producción resultaba lenta. Es por esto que se decidió finalmente elaborar los moldes con hojalata, material que puede ser cortado y doblado fácil y rápidamente con máquinas especializadas. De esta forma, se pueden obtener los moldes capaces de contener las dimensiones de las probetas a realizar. Cabe destacar que cada molde se encuentra dividido en cuatro partes, sujetas con clips, lo que permite un desarmado más sencillo.



Fig. 130



Fig. 131

Fig. 130 *Máquina dobladora del Taller de Herramientas.*
Fuente: Elaboración propia

Fig. 131 *Láminas de hojalata dobladas según condiciones.*
Fuente: Elaboración propia



Fig. 132



Fig. 133

Fig. 132 *Molde de PLA impreso en 3D con tornillos.*
Fuente: Elaboración propia

Fig. 133 *Molde de hojalata sujetado con clips.*
Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Consideraciones

Para la fabricación de las probetas, es también necesario considerar las condiciones de crecimiento del micelio. Como se vio en el capítulo 2 de esta investigación (ver cap. 2.2), el micelio requiere de una temperatura y humedad adecuada. Para cumplir con el estándar de estas condiciones, se utilizará la incubadora del laboratorio (ver Fig. 135), la cual cuenta con un interior aislado y protegido. La cara superior de los moldes será cubierta con film plástico, a pesar de lo cual se permitirá la respiración mediante la realización de orificios.

Se utilizarán distintos aditivos para el crecimiento del micelio. La cantidad será calculada según el porcentaje de masa del sustrato hidratado, considerándose:

- Café: 1%.
- Harina: 1%.
- Cal: 0,1%.

Cabe mencionar que el *spawn* a inocular corresponderá a un 5% de la masa.



Fig. 134



Fig. 135

Fig. 134 Laboratorio de Biofabricación Campus LC - UC.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 135 Incubadora para la colonización de sustrato.
Fuente: Elaboración propia



Fig. 136



Fig. 137

Fig. 136 Materiales aditivos al sustrato y spawn.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 137 Detalle del spawn colonizado por micelio.
Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Fabricación Serie A

Se inicia la preparación de las probetas de la serie A desinfectando los materiales a utilizar. Junto con eso, se realiza el armado de los seis moldes, los que cuentan con una base de poliestireno expandido capaz de absorber el agua y permitir la respiración. Posteriormente, se hidrata con agua filtrada el sustrato, el cual en este caso corresponde a virutas de álamo provenientes de desechos agroindustriales. Luego de esto, se pesa el resultante, con la finalidad de calcular las cantidades de *spawn* y aditivos que se deben agregar. Cabe mencionar que para esta serie se tuvo que repetir este proceso varias veces, puesto que no se contaba con un recipiente lo suficientemente grande para poder completar la cantidad de moldes a llenar.

Una vez completado el cultivo en los moldes, se cubre en papel film, se realizan orificios y se lleva a la incubadora. Las condiciones en el interior de la incubadora contaban con una temperatura inicial de 21,2°C y una humedad del 64%.

Se realiza una primera revisión del crecimiento dos días después. Las condiciones interiores marcaban una temperatura de 23,8°C y una humedad del 44%. A simple vista, existía cierto crecimiento en puntos específicos, a la vez que no se observaba contaminación con moho.

La segunda revisión se realiza 14 días después de la primera. En esta se observó un crecimiento óptimo del micelio en el sustrato, colonizando de manera visible en todas las probetas. Sin embargo, se descubrió presencia de moho sobre todo en la probeta correspondiente a contención simple. Para evitar una mayor propagación, se desinfecta con peróxido. Se procede entonces a la fase de cobertura de las probetas, en donde se espera que el micelio pueda cubrir de manera más homogénea las caras superficiales. Para ello, se desprenden las piezas de hojalata del micelio y se disponen en las esquinas del poliestireno expandido utilizado como base. Se cubre con film plástico y se realizan orificios (ver Fig. 142). De esta forma, se obtiene un nuevo molde que permite una



Fig. 138



Fig. 139

Fig. 138 Spawn de *Ganoderma Lucidum*.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 139 Desecho agroindustrial esterilizado de álamo.
Fuente: Elaboración propia.

mayor oxigenación de los componentes. Se ingresa a la incubadora nuevamente, la cual para ese entonces contaba con una temperatura de 21,3°C y una humedad del 44%.

Luego de un día destinado al proceso de cobertura, se extraen las probetas de la incubadora y se pasa al proceso de secado, el cual se realiza al sol (ver Fig. 143). Para ello, se vuelven a utilizar los moldes como en el proceso inicial. Después de cinco días, se completa el proceso de secado, retirando los moldes de hojalata.

Finalmente, se realizan los tratamientos posteriores, vale decir, se cubre con textil no tensado las probetas C.S y C.C, y esta última se tensa con yute en su interior. Se insertan también las varas de madera (R.B) y se cubre con la malla simple de acero (C.M).



Fig. 140

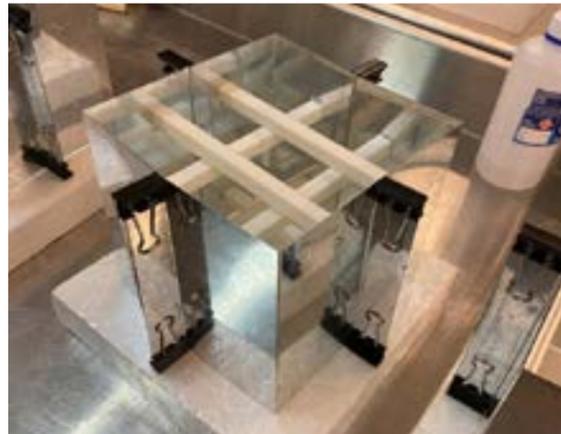


Fig. 141

Fig. 140 Disposición de los materiales de madera.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 141 Molde armado con elementos impresos al interior.
Fuente: Elaboración propia



Fig. 142



Fig. 143

Fig. 142 Armado del molde para proceso de cobertura.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 143 Secado al sol de los prototipos realizados.
Fuente: Elaboración propia

	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
CULTIVO						
REVISIÓN I						
REVISIÓN II						
SECADO						
POSTERIOR						

Fig. 143 Proceso de fabricación de los componentes. Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Fabricación Serie B (resultado fallido)

La fabricación de la serie B tuvo dificultades en su primer intento de desarrollo, resultando con un bajo crecimiento del micelio. Su proceso se inició igualmente con la desinfección de los materiales a utilizar y el armado de los moldes. El proceso de preparación del sustrato, igualmente de álamo, se pudo realizar en una menor cantidad de veces, puesto que esta vez se contó con un recipiente mayor. Se pesó el álamo hidratado y se añadieron los aditivos, junto con el *spawn* de micelio, y se realizó el llenado de los moldes. Luego de finalizado este proceso, se ingresaron las probetas a la incubadora, la cual contaba con una temperatura de 26°C y una humedad del 78%.

En la primera revisión, efectuada ocho días después, se observó un lento crecimiento del micelio, junto con contaminación visible en la probeta C.S.

La segunda revisión fue llevada a cabo nueve días después de la primera. Si bien ya habían pasado más de dos semanas desde el cultivo del micelio, este apenas había colonizado el sustrato. Se observaron puntos mínimos de crecimiento y un aumento de la contaminación, no solo en la probeta C.S, sino también en las otras. Luego, al desmoldar los bloques, estos empezaron a desarmarse, especialmente el de control y las probetas R.A y R.B.

En consecuencia de lo ocurrido con las probetas, no se continúa con el desarrollo de estos componentes. Sin embargo, una de las ventajas que tiene el trabajo con biomateriales es que estos pueden ser compostados (ver Fig. 151). Asimismo, casi todos los materiales pueden ser reutilizados en un nuevo proceso de fabricación.

En cuanto a los resultados, se conversó con parte del equipo del laboratorio, quienes mencionaron que el *spawn* utilizado puede haber sido el causante, dado que no estaba en condiciones óptimas.



Fig. 144



Fig. 145

Fig. 144 *Spawn de Ganoderma Lucidum.*
Fuente: Elaboración propia

Fig. 145 *Desecho agroindustrial esterilizado de álamo.*
Fuente: Elaboración propia



Fig. 146

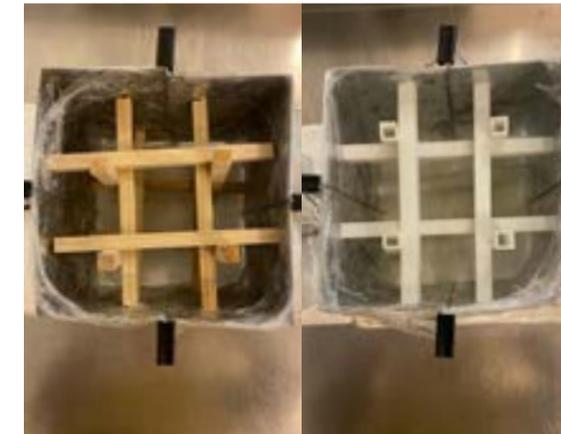


Fig. 147

Fig. 146 *Disposición de los moldes en el laboratorio.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 147 *Moldes de los prototipos reforzados.*
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 148



Fig. 149

Fig. 148 *Resultado de uno de los prototipos.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 149 *Resultado de uno de los prototipos.*
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 150



Fig. 151

Fig. 150 *Resultado del prototipo Refuerzo A.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 151 *Depósito de los residuos en el compost.*
Fuente: Elaboración propia.

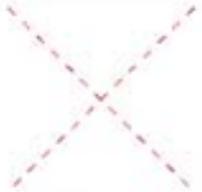
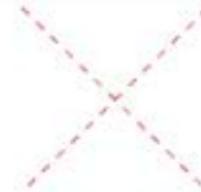
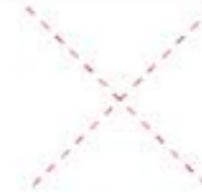
	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
CULTIVO						
REVISIÓN I						
REVISIÓN II						
SECADO						
FINAL						

Fig. 152 Proceso de fabricación de los componentes. Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Fabricación Serie B (resultado final)

Dados los resultados del primer intento de fabricación de la serie B, se decide volver a intentar, esta vez con mejores resultados. Como en los casos anteriores, se utiliza *Ganoderma Lucidum* como cepa de hongo y virutas de álamo como sustrato. La preparación del cultivo, como en el caso anterior, no tuvo que realizarse en múltiples recipientes distintos. Se hidrata el sustrato, se pesa y se añaden los aditivos con el *spawn*. Se vierte la preparación en los moldes, se sella con film plástico y se lleva a la incubadora, que contaba con una temperatura de 26,5°C.

En la primera revisión, realizada nueve días después, se observa una óptima colonización en la mayoría de probetas. A pesar de esto, se presentan problemas con la contaminación, especialmente las probetas R.A y C.S. A pesar de esto, se sigue con la fabricación, esperando que el micelio pueda superar el moho. Se pasa entonces a la fase de cobertura, realizando los moldes exteriores,

y se ingresan los componentes nuevamente a la incubadora.

Seis días después, se lleva a cabo una segunda revisión. La mayoría de los componentes cuentan con una colonización importante del micelio sobre el sustrato. La probeta C.S logró crecer y la contaminación no se hace tan visible, si bien las placas de madera comenzaron a desprenderse. Por otro lado, se descubrió que la probeta R.A desarrolló aún más contaminación con moho, por lo cual se descontamina. A pesar de esto, se decide continuar con la fase de secado, esperando que el sol pueda combatir las inclemencias del moho y dicho componente pueda ser utilizado para las pruebas.

Se llevan las probetas al sol por seis días para su secado. A diferencia del proceso de la serie A, acá se optó por no utilizar los moldes durante esta fase, quedando sus caras laterales mayormente expuestas a la radiación. Posterior a los seis días, se retiran las probetas de la radiación solar. En cuanto al componente R.A, el moho pasó de un



Fig. 153



Fig. 154

Fig. 153 *Spawn de Ganoderma Lucidum*.
Fuente: Elaboración propia

Fig. 154 *Desecho agroindustrial esterilizado de álamo*.
Fuente: Elaboración propia

color verde a uno de tonalidades más oscuras, dando cuenta de su deceso. El componente C.S logró un resultado final aceptable en su interior, pero se deberá encolar las maderas.

Finalmente, se realizan los tratamiento posteriores como en la serie A las probetas C.S, C.C, R.B y C.M, incluyendo la adhesión de las maderas del C.S como estrategia adicional.



Fig. 155

Fig. 155 Disposición de moldes en el laboratorio.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 156



Fig. 157

Fig. 156 Spawn de *Ganoderma Lucidum* a utilizar.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 157 Crecimiento del micelio en bloque.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 158



Fig. 159

Fig. 158 Molde para cobertura.
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 159 Secado al sol de las probetas.
Fuente: Elaboración propia.

	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
CULTIVO						
REVISIÓN I						
REVISIÓN II						
SECADO						
POSTERIOR						

Fig. 160 Proceso de fabricación de los componentes. Fuente: Elaboración propia.

5.2.7 Ensayo serie A

Al realizar las pruebas del ensayo A, correspondientes a deformación y compresión se obtienen valores positivos tanto en la contención simple (10% de deformación vertical) como en el refuerzo A (10% igualmente), así como también se observó el buen desempeño de la probeta de control (11%). Por otro lado, las demás estrategias estuvieron cercanas a un 20% de deformación vertical, lo cual puede deberse en parte a una diferencia en la colonización del sustrato de cada componente

La estrategia de refuerzo A, si bien obtuvo un buen desempeño en cuanto a la deformación vertical, sufrió el desprendimiento de material, mientras que en el refuerzo B se observó menos. Cabe señalar que para el caso B se utilizó una menor cantidad de elementos lineales al interior, lo que explicaría el resultado favorable del caso A en términos de deformación vertical.

Con respecto a la contención simple, se ob-

serva de manera más significativa una deformación horizontal, con lo cual se haría necesario algún tipo de refuerzo para que esta disminuyera. El prototipo de malla ACMA, a su vez, también tuvo deformación horizontal, si bien esta se evidencia ampliamente menor, mientras que la estrategia Capitoné se conserva de manera más íntegra en su eje horizontal.

Los resultados de esta prueba muestran la capacidad del material de soportar cargas horizontales, hasta aproximadamente su centro, y volver a dimensiones anteriores hasta el 10% de su medida inicial. Destacan entonces estrategias de refuerzo, que pueden ser incluidas posteriormente en tanto se utilicen varas en tres dimensiones, así como la contención simple en tanto se contrarreste su deformación horizontal.



Fig. 161 Prototipo previo al ensayo. Fuente: Elaboración propia.

	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
SITUACIÓN INICIAL						
COMPRESIÓN						
SITUACIÓN POSTERIOR						

Fig. 162 Realización de los experimentos y comparación de la situación inicial y posterior. Fuente: Elaboración propia.

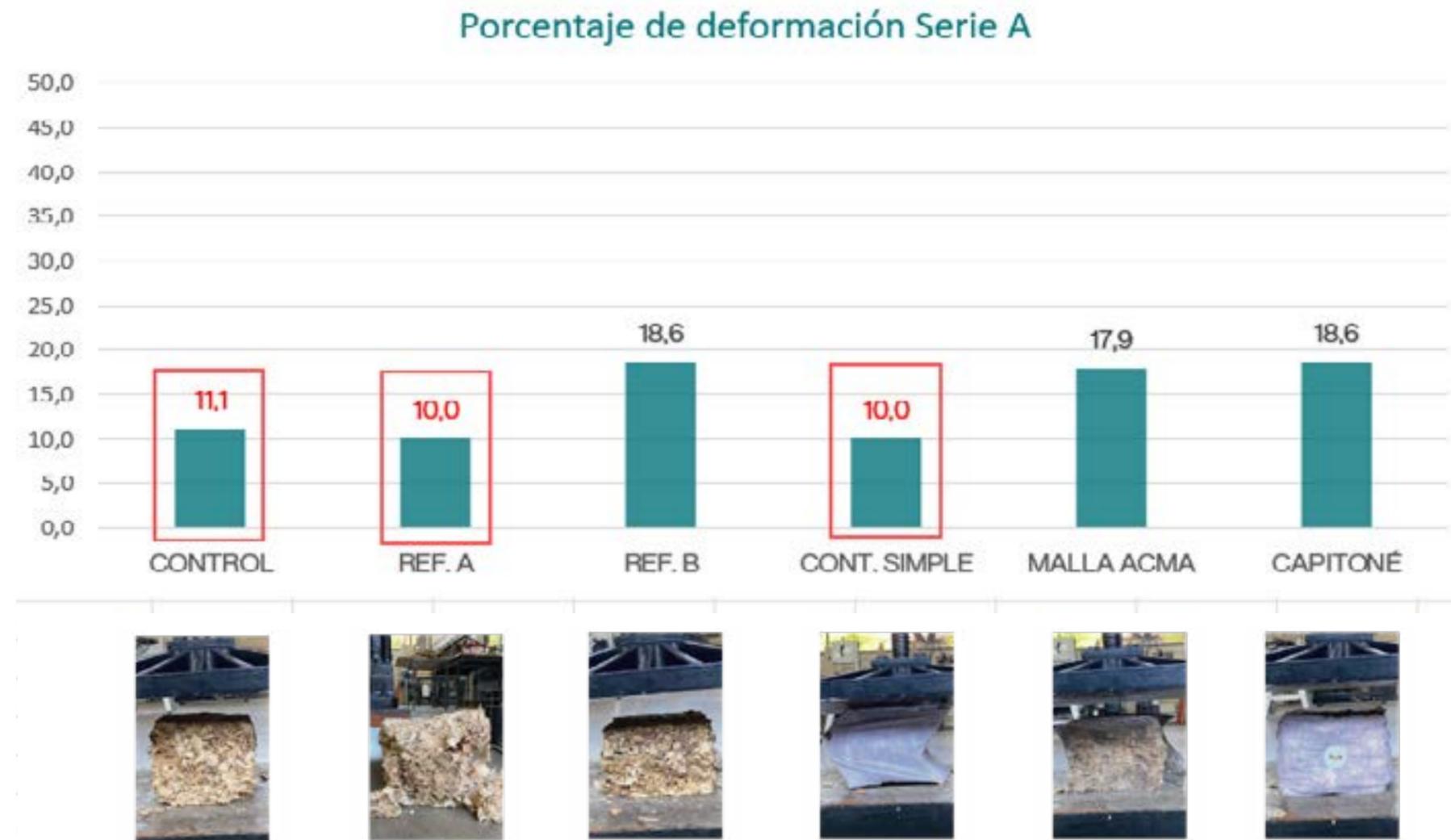


Fig. 163 Gráfico comparativo según porcentajes de deformación obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.8 Ensayo serie B

Esta segunda serie, enfocada a comprender la deformación y la flexotracción, obtuvo resultados menos favorables en su proceso de incubación, presentando moho y menor adherencia en algunos de sus componentes. Esto afecta a los resultados de los ensayos, más aún al considerar que la resistencia se hace más difícil en estas pruebas de flexotracción.

Como resultados, se obtuvo un mejor desempeño en la probeta de control, refuerzo A y malla ACMA, las tres con un porcentaje de deformación vertical de 21,4%. Igual que en el ensayo anterior, el hecho de que el prototipo de control tenga mejor resultado que otras estrategias da a entender la importancia que tiene el proceso de incubación en la resistencia final de los componentes. Por ejemplo, el refuerzo B prácticamente se destrozó, con un porcentaje de deformación vertical de 44,8%, lo cual puede deberse a la baja adherencia. Asimismo, si bien el porcentaje del refuerzo A fue favorable

en cuanto a la deformación vertical, su incubación presentó una fuerte presencia de moho e igualmente terminó separando sus partes. Cabe mencionar que el moho puede producirse por la introducción de madera al momento de la incubación, por lo cual una opción puede ser agregarla después.

En el caso de las estrategias de contención, el caso de malla ACMA pudo mantener de mejor manera el micelio en su interior, con un 21,4% de deformación vertical, así como la contención simple tampoco se aleja demasiado con un 26,7%. Por otro lado, la estrategia Capitoné no parece tener mucho efecto a la flexotracción, obteniendo un 36,7% de deformación vertical.

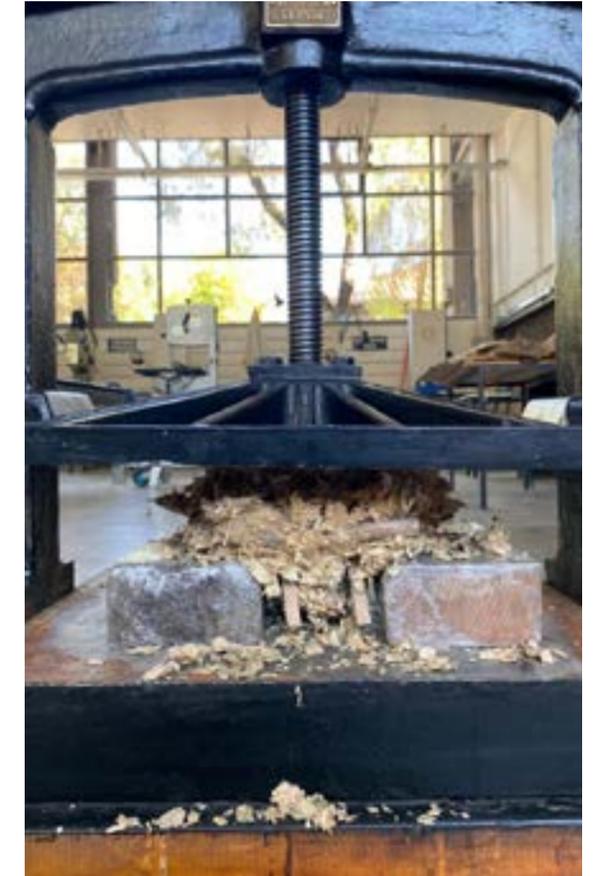


Fig. 164 Resultado de un ensayo. Fuente: Elaboración propia.

	CONTROL	REFORZADO A	REFORZADO B	CONT. SIMPLE	MALLA ACMA	CAPITONÉ
SITUACIÓN INICIAL						
FLEXOTRACCIÓN						
SITUACIÓN POSTERIOR						

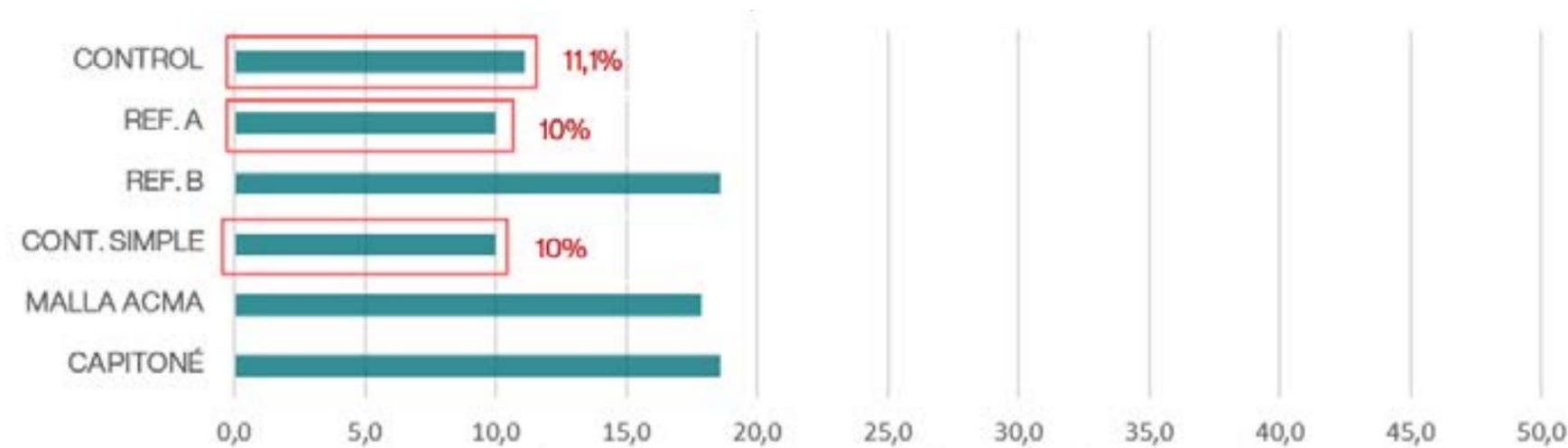
Fig. 165 Realización de los experimentos y comparación de la situación inicial y posterior. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 166 Gráfico comparativo según porcentajes de deformación obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.9 Comparación de los resultados

PORCENTAJES DE DEFORMACIÓN SERIE A



PORCENTAJES DE DEFORMACIÓN SERIE B

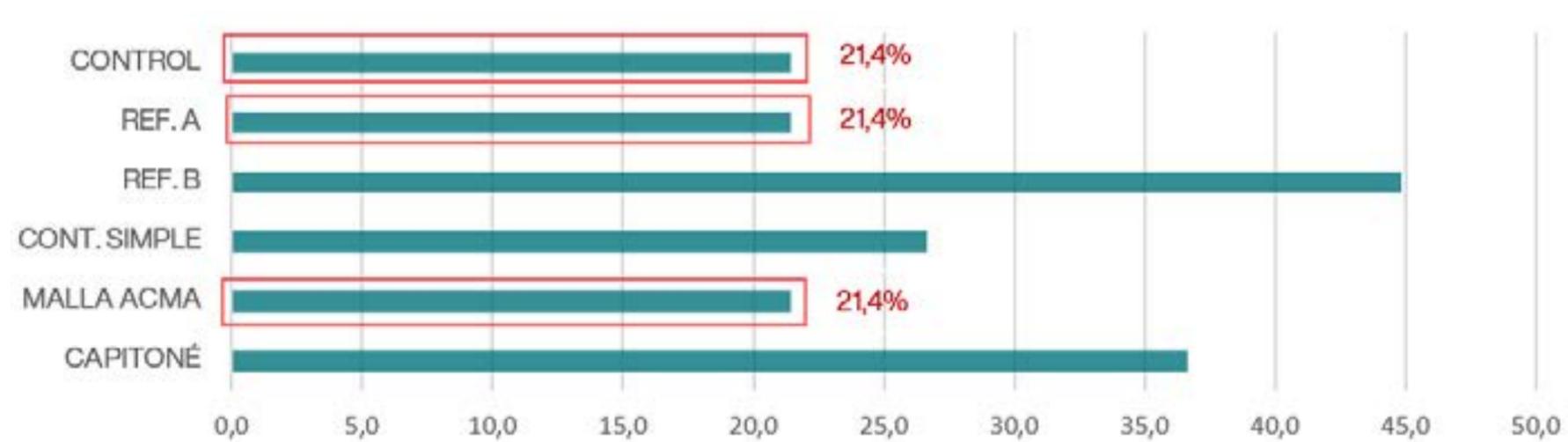


Fig. 167 y 168 Gráficos comparativos de los resultados obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.10 Conclusiones de los experimentos

Los resultados obtenidos y la comparación entre estos, junto con la consideración de distintas variables tanto durante la incubación como en las pruebas, permiten identificar distintas formas de llevar a cabo las estrategias.

En primer lugar, se deduce que la introducción de elementos de madera a los componentes de micelio puede afectar a su crecimiento si se realiza previo a la incubación, por lo que se decide optar por su colocación posterior. Junto con eso, se deduce que existe un cambio en el éxito de esta estrategia al utilizar elementos de madera en tres direcciones y no solamente dos. Asimismo, la estrategia de contención simple puede verse afectada positivamente al combinarse con la introducción de elementos de refuerzo interior, a lo cual se suma también el hecho de no utilizar madera cubriendo por completo las caras del componente, sino solamente una sección.

Esto último podría evitar su deformación en el eje horizontal.

La estrategia de contención también contaba con una capa de adhesivo, la cual permite que el componente se mantenga más firme, aportando resistencia. Asimismo, la estrategia capitoné también contaba con esta capa, si bien su aporte a la resistencia fue menor, especialmente a los esfuerzos de flexotracción. El prototipo de malla ACMA también contaba con un adhesivo.

Por último, cabe recalcar que el proceso de producción, incubación y secado pueden afectar ampliamente los resultados obtenidos, por lo cual es necesario que este se realice según las condiciones establecidas en un principio.



Fig. 169 Prototipo previo al ensayo. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6. Definición de estrategias

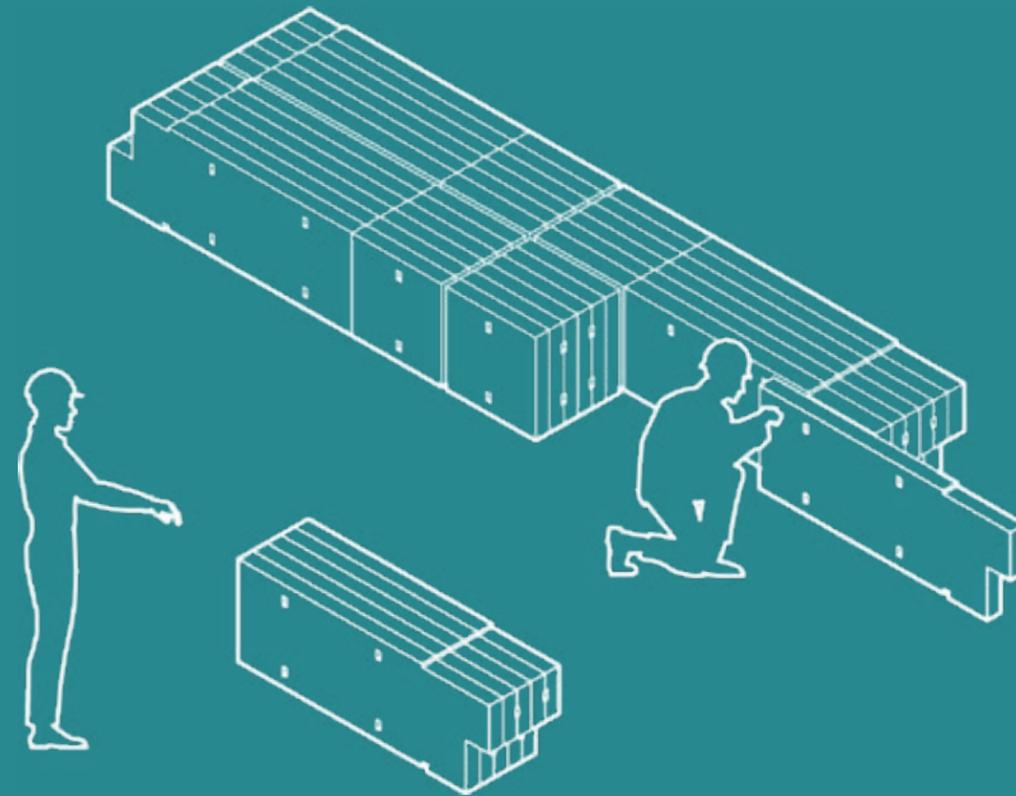


Fig. 170. Armado de componente constructivo.
Fuente: Elaboración propia.

6.1 Condiciones de diseño

Los componentes constructivos por diseñar estarán bajo una lógica de parámetros basados en la investigación previa y los ensayos estructurales. Estas condiciones generales permitirán seguir una pauta desde la cual los componentes desarrollados responderán a las propiedades del micelio.

En primer lugar, se propone que todos los componentes estén conformados por piezas de menor tamaño; así, un conjunto de piezas conformará un componente. La razón detrás de esto es la capacidad del micelio de colonizar sustrato preferentemente en los bordes más expuestos, vale decir, su crecimiento al interior de piezas muy grandes se vería afectado (ver cap. 2.2). Esto se debe a que al interior existe una falta de oxígeno y un aumento de la temperatura, condiciones que impiden el correcto crecimiento del micelio (Lelivelt et al., 2015).

En vista de lo anterior, se vuelve necesario fijar un espesor máximo para las piezas, a

modo de generar una distribución uniforme del oxígeno y la temperatura (Ibíd.). Tomando como base la experimentación en el laboratorio (ver cap. 5.2), con probetas cúbicas de 15cm x 15cm x 15cm, se considerará una desviación de 5cm, con lo cual se pondrá como límite 10cm para el espesor, sin considerar aberturas para la respiración interior del micelio. Ahora bien, si se cuenta con aberturas, se podrá utilizar un espesor de 20cm.

La respiración del micelio se realizará principalmente en la cara superior de las piezas, la cual estará cubierta con film plástico perforado al momento de su incubación. Se dejará un espacio entre la cara superior de la pieza y el film (ver Fig. 172). Además, como se mencionó anteriormente, se realizarán aberturas para la respiración, en tanto sea necesario para el diseño del componente.

Las piezas serán apiladas y para su unión será utilizada una membrana geotextil que las confine, utilizando las estrategias experimentadas (ver cap. 5.2.10). En

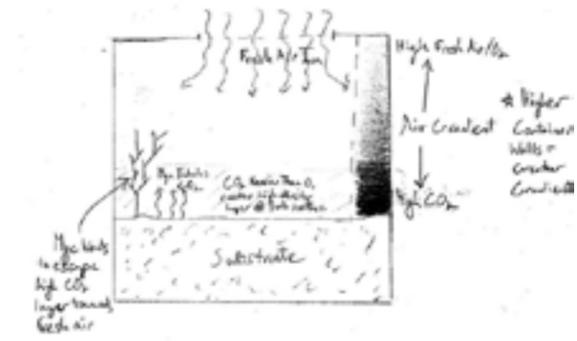


Fig. 171

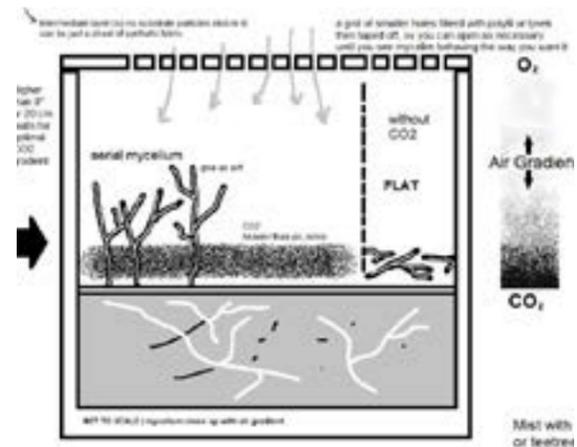


Fig. 172

Fig. 171 *Respiración del micelio.*
Fuente: Usuario Mackenzie; imagen extraída de información adjuntada por Ricardo Aliste.

Fig. 172 *Esquema respiración del micelio.*
Fuente: Reddit; How to Grow Mycelium Leather | Don't be a plebian grow some now!

casos específicos se optará por tensar esta membrana mediante el uso de cuerda de yute y botones, estrategia que, si bien no tiene un impacto mayor en la resistencia por sí misma (ver cap. 5.2.10), aporta una mayor tensión en la membrana. Posteriormente, se cubrirá el componente con resina.

Junto con lo anterior, las piezas quedarán unidas también por listones de madera que se insertarán posterior al cultivo del micelio, puesto que si se insertaran previamente corren el riesgo de contaminación por moho (ver cap. 5.2.10). Esto permite la utilización de un elemento lineal que ensarte todas las piezas cultivadas separadamente según los requerimientos del micelio. Asimismo, para insertar los listones se deberán dejar aberturas en las piezas, lo cual potenciará la respiración del micelio durante su incubación.

Con respecto a lo anterior, se decide utilizar elementos lineales de madera en cada eje tridimensional, aportando más a su resistencia estructural (ver cap. 5.1.3).

El uso de madera también se aplicará de

manera lateral en los componentes, material que puede ocupar solamente una fracción de cada cara y seguir funcionando (ver cap. 5.1.2). Igual que en el caso de los refuerzos interiores con madera, se opta por su incorporación posterior al cultivo y secado del micelio, evitando su contaminación y fallo (ver cap. 5.2.5 y 5.2.10). Adicionalmente, la madera funciona como medio de unión entre los distintos componentes, puesto que la unión entre dos componentes de micelio puede resultar más compleja (ver cap. 4.3.5).

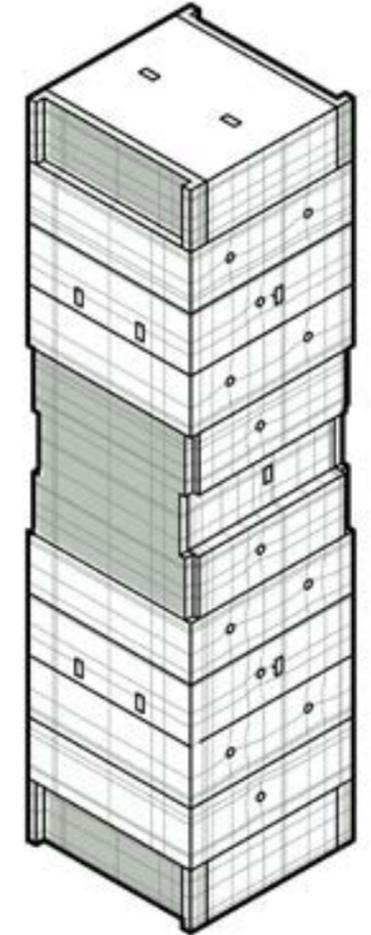


Fig. 173 *Ejemplo de componente con estrategias utilizadas.*
Fuente: Elaboración propia.

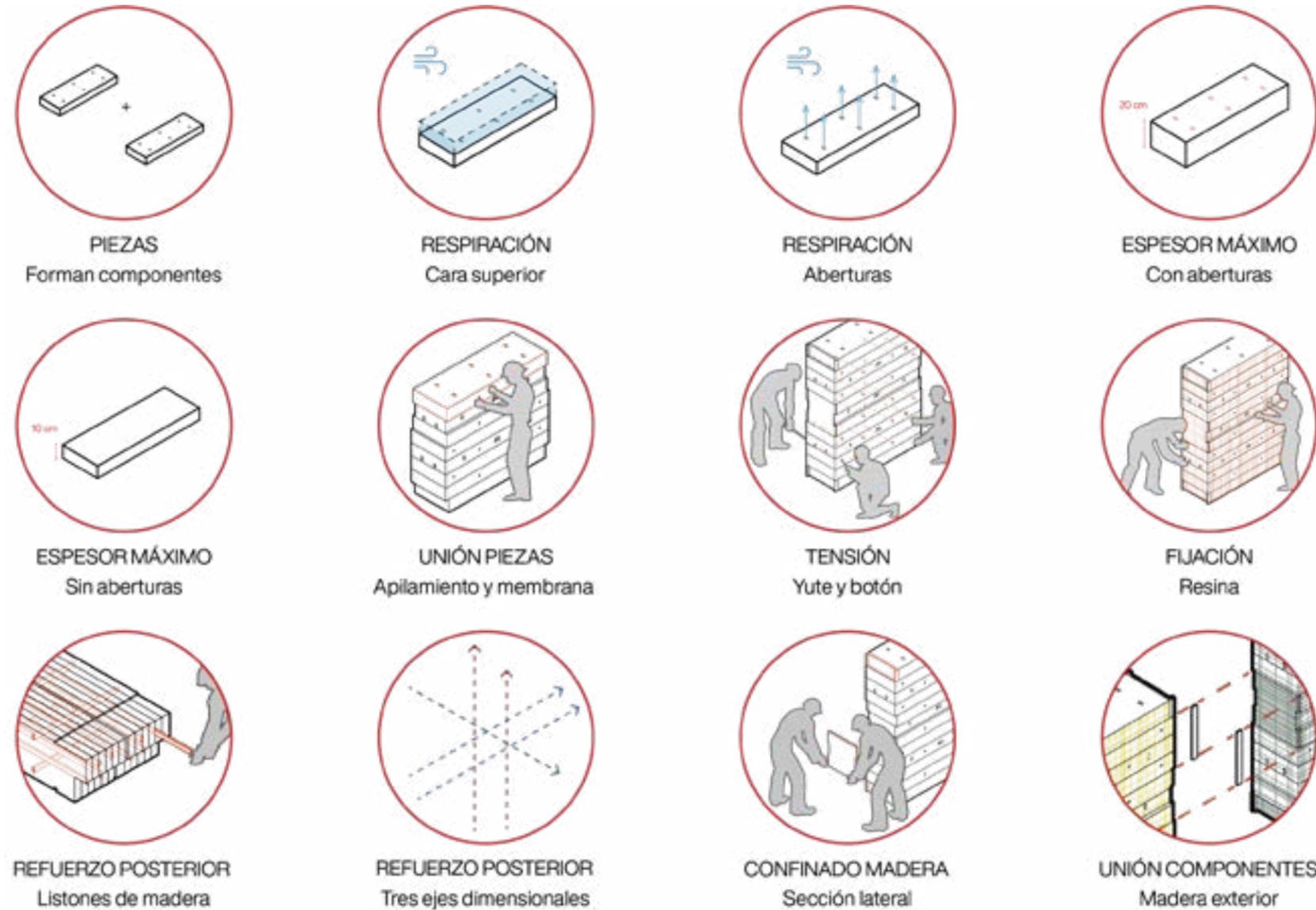


Fig. 173 Esquemas gráficos de las estrategias a implementar. Fuente: Elaboración propia.

6.2 Fabricación de pieza constructiva

Como ejercicio práctico e ilustrativo de las condiciones de diseño, se propone la realización en el laboratorio de dos piezas tipo en lo que sería una escala 1:1. El espesor de estas piezas ronda los 9 centímetros y ambas cuentan con aberturas para la posterior inserción de elementos de madera. Sin embargo, estas no califican como aberturas para respiración propiamente tal, puesto que corresponden a aberturas longitudinales y no a través de la pieza.

Los moldes compuestos de hojalata miden 15 centímetros de alto, proporcionando espacio para la respiración del micelio. El sustrato utilizado mezcla virutas de álamo con pino, mientras que la cepa corresponde nuevamente a *Ganoderma Lucidum*. La base es de poliestireno expandido, así como las piezas para dar cabida a las aberturas.

Cabe mencionar que para este ejercicio práctico, las condiciones del laboratorio no



Fig. 174



Fig. 176

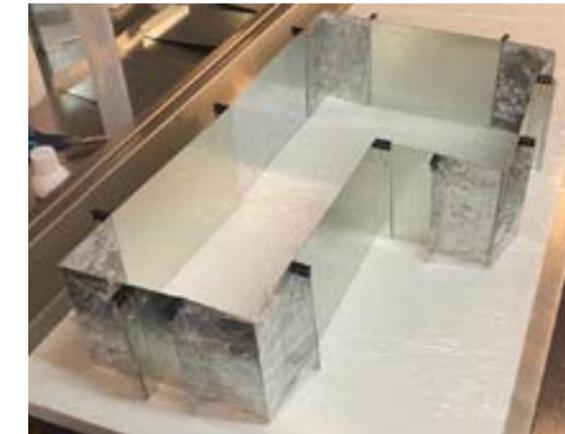


Fig. 175



Fig. 177

Fig. 174 *Spawn de Ganoderma Lucidum a utilizar.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 176 *Proceso de llenado del molde.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 175 *Molde de hojalata para pieza.*
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 177 *Detalle del sustrato y la pieza de poliestireno.*
Fuente: Elaboración propia.

se encontraban favorables en tanto que el aire acondicionado estaba con problemas. Los resultados quedarán entonces limitados por este inconveniente. Junto con esto, el laboratorio se encontró cerrado durante el período de incubación, por lo que no se realizaron observaciones del proceso ni se conoció el resultado final de las piezas al momento de la entrega de este documento.

A pesar de los percances anteriores, este ejercicio permite visualizar cómo sería el proceso de fabricación de las piezas del sistema constructivo. Este desarrollo fue realizado en un entorno de baja escala, si bien se volvería necesario un equipamiento a mayor escala para completar la demanda constructiva del sistema. Se recalca entonces el cariz experimental de la presente tesis de investigación.



Fig. 178

Fig. 178 *Pieza 1 previo a la incubación.*
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 179

Fig. 179 *Pieza 2 previo a la incubación.*
Fuente: Elaboración propia.

6.3 Armado de componentes

Una vez se tengan las piezas fabricadas, se puede iniciar el armado de los componentes. Estos se diferenciarán principalmente entre verticales y horizontales.

Los componentes verticales serán la unidad base para la constitución de muros en el sistema constructivo propuesto. Para su elaboración se utilizarán las piezas correspondientes. Se apilarán unas encima de otras y se insertarán los refuerzos de madera. Posteriormente, se encolarán las piezas de madera pensadas para las uniones entre componentes y se confinará todo con una membrana geotextil. Esta membrana se tensará y luego se reforzará con resina.

Por otro lado, los componentes horizontales serán la unidad base para la constitución de losas en el sistema constructivo propuesto. Su elaboración es similar al caso de los componentes verticales. Se parte disponiendo las piezas de canto unas al lado de otras e insertando los refuerzos

correspondientes. Luego, se añadirán las piezas de unión y se confinará el total con membrana geotextil la cual será igualmente reforzada con resina.

Cabe mencionar que, para el diseño de los componentes horizontales, se considera una mayor utilización de planchas de madera en sus caras laterales, similar a lo que se hace en el Sistema VAP (ver cap. 3.1.2). De este modo, se aporta resistencia de manera vertical, junto con el entramado interior que es horizontal.

Cada componente quedaría listo para ser transportado y utilizado *in situ* en la construcción.

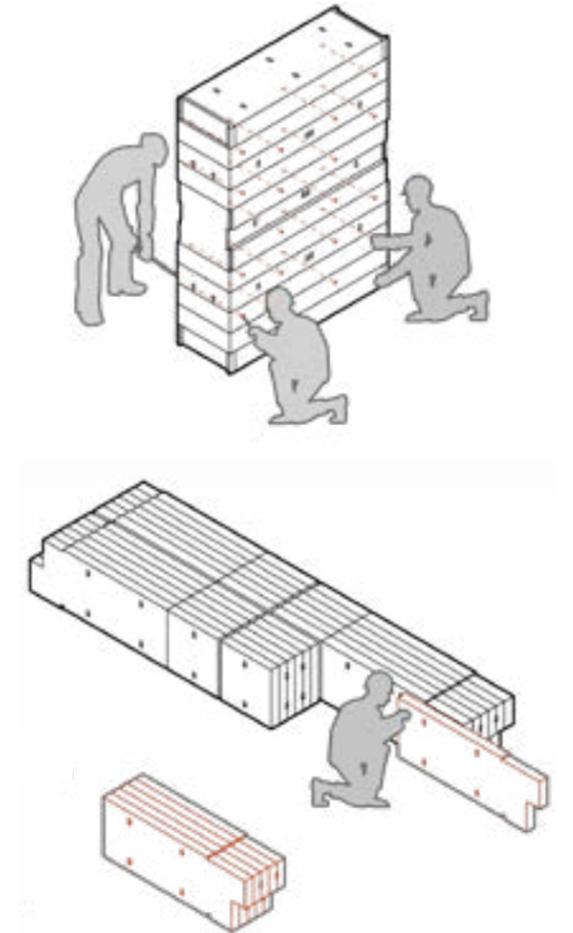


Fig. 180 *Proceso de armado de componentes.*
Fuente: Elaboración propia.

6.3.1 Verticales

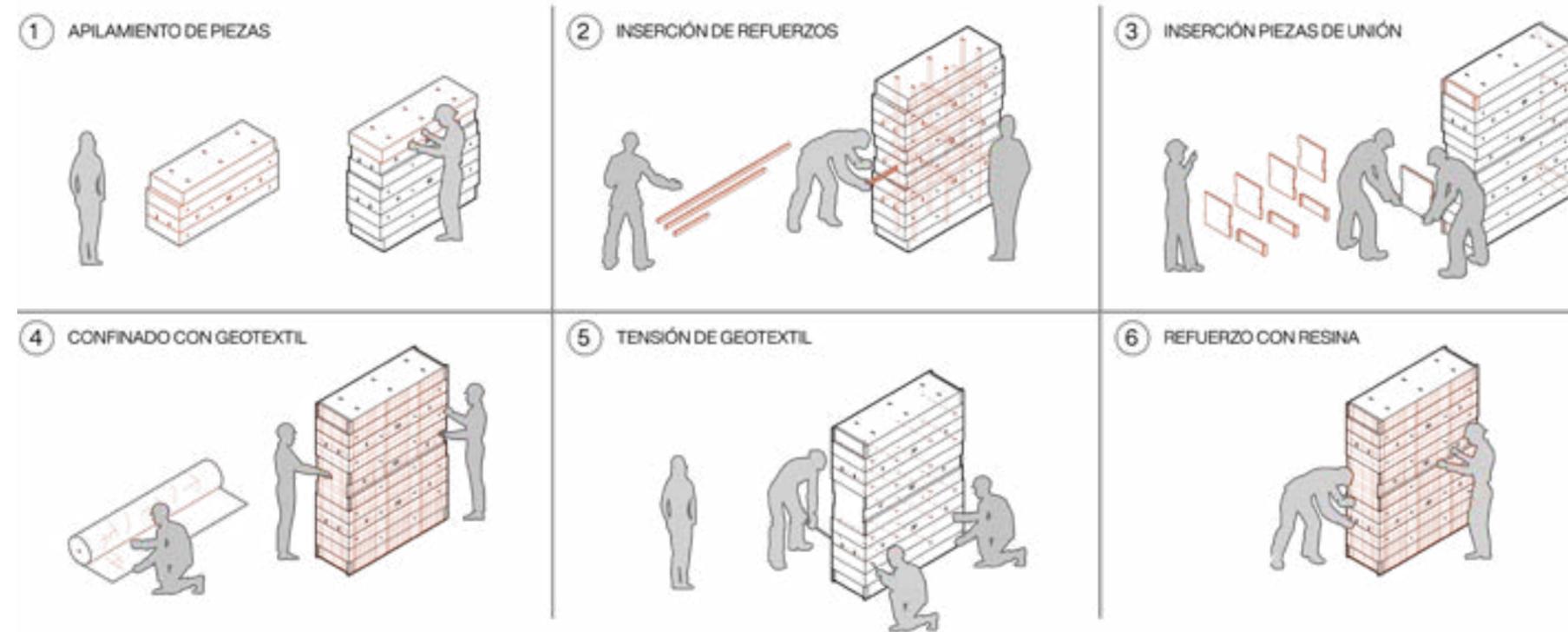


Fig. 181

Fig. 181 Proceso de armado de componentes verticales. Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Horizontales

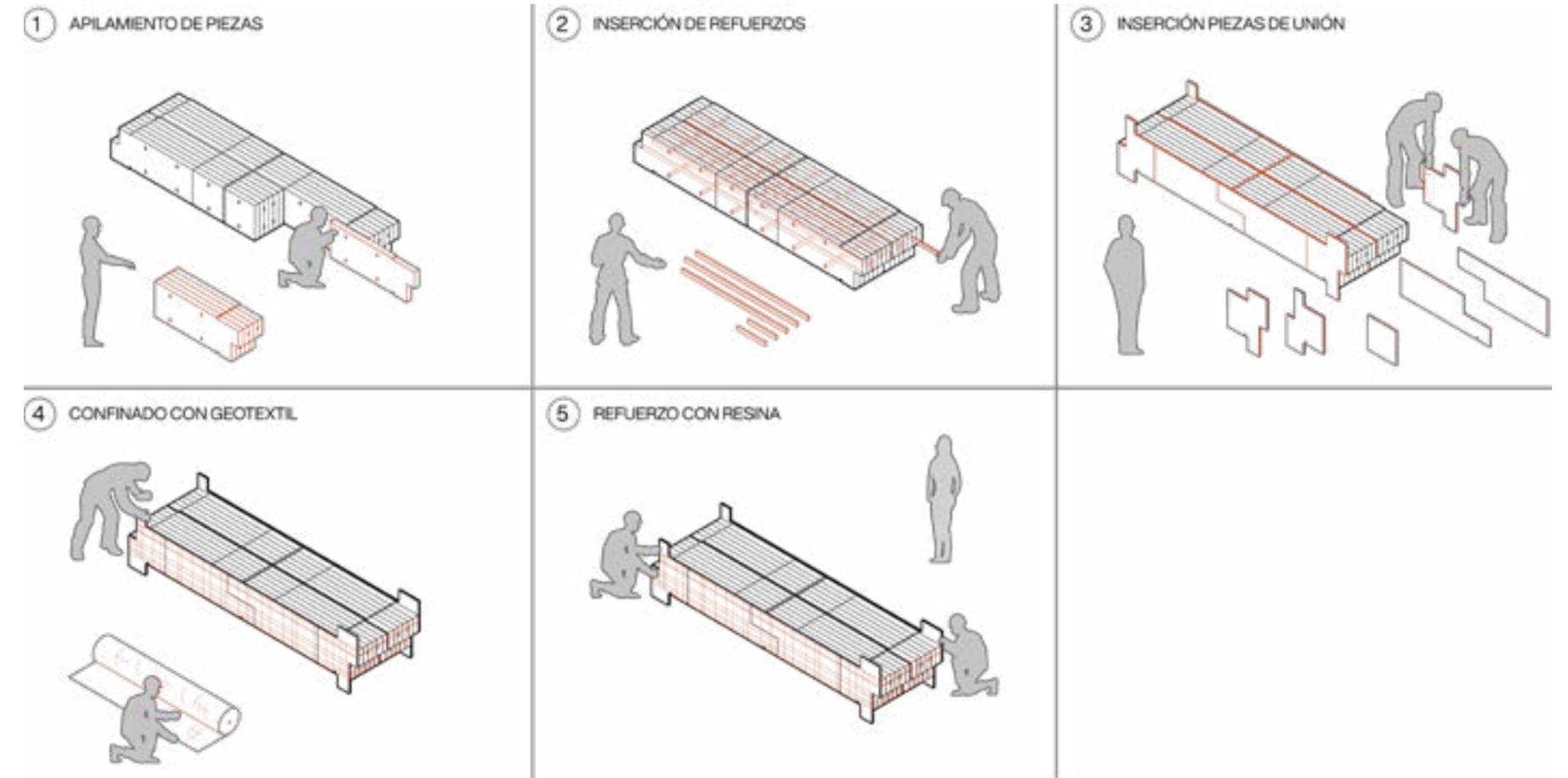


Fig. 182

Fig. 182 Proceso de armado de componentes horizontales. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7. Desarrollo de módulos constructivos

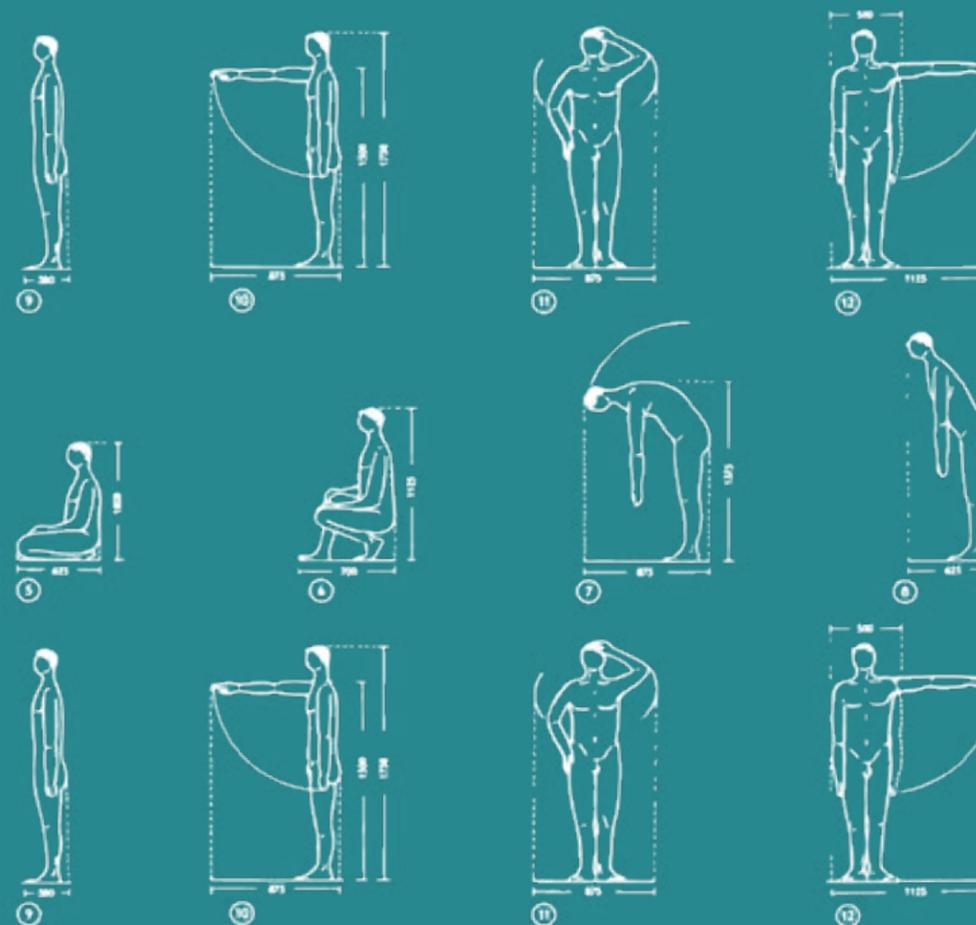


Fig. 183 Editado. *Ernst Neufert, Architect's Data, 1936.*
Fuente: Extraída de The Funambulist.

7.1 Estudio de condiciones de habitabilidad arquitectónica

Previo al diseño del sistema constructivo, contando con una base de investigación y experimentación, surge la incógnita sobre las medidas mínimas de habitabilidad. Dicha incógnita pretende traer a la discusión cuáles son las medidas que debe tener un sistema constructivo modular, de qué tamaño deberían ser estos módulos y de qué manera es posible integrar las condiciones de diseño para para componentes basados en micelio expuestas en el capítulo anterior.

Sin la pretensión de responder a cabalidad estas interrogantes, el presente capítulo busca comprender y explorar las medidas estándar de mobiliario doméstico y sus circulaciones para saber cuál es la cabida que deberían tener los módulos del sistema constructivo propuesto. Para lograr esto, se recurrirá a diversas fuentes de información, tanto tradicional como contemporánea y local, además de intervenciones de criterio propias:

- **Arte de Proyectar de Proyectar en la Arquitectura (Neufert, 1936):** este libro cuenta con una serie de medidas, disposiciones e información sobre el diseño arquitectónico en diversos tipos de programa. El enfoque para esta investigación estará en las medidas de recintos para vivienda.
- **Manual de Diseño Básico para el Taller de Arquitectura (Gray et al., 2021):** se muestra como un compendio del conocimiento general para el diseño arquitectónico. Guarda interés la recopilación de medidas básicas de mobiliario para vivienda.
- **Cuadro normativo y Tabla de Espacios y Usos Mínimos para el Mobiliario (MINVU, 2017):** recurso que presenta una serie de requerimientos mínimos de diseño para el Fondo Solidario de Elección de Vivienda en Chile. Destaca nuevamente el detalle de medidas sobre mobiliario y recintos, además de incluir medidas básicas para el diseño universal, enfocado en usuarios de silla de ruedas.



Fig. 184

Fig. 184 *Piezas de la vivienda.*
Fuente: Neufert.

Entonces, se revisará la información y se generará una serie de medidas base de mobiliario y circulaciones con el propósito de iterar diferentes disposiciones de recintos básicos de vivienda.

Posteriormente, se explorará la yuxtaposición de los recintos diseñados con una serie de grillas estructurales definidas. Se seleccionará aquella grilla que permita obtener una mayor eficiencia, es decir, aquella que sea capaz de llevar las medidas de los recintos a una lógica estructural común alterando mínimamente sus dimensiones. De esta forma, se podrá tener una serie estandarizada de recintos bajo una lógica estructural común.

Finalmente, se realizará una comparación espacial entre los recintos básicos adaptados a la grilla seleccionada. Con esto, se podrá determinar cuáles son los rangos de metros cuadrados interiores que permiten dar cabida a recintos grandes, medianos y pequeños. Con esta información, se diseñarán los módulos constructivos, respondiendo a la grilla y a los metros cuadrados determinados.

CUADRO NORMATIVO Y TABLA DE ESPACIOS Y USOS MÍNIMOS PARA EL MOBILIARIO
Para proyectos de nuevo edificación de Recintos de Vivienda regulados por el D.S. Nº 21.211, 2017

REQUERIMIENTOS POR RECINTOS

1. ESPACIO Y USOS MÍNIMOS PARA VIVIENDAS Y EDIFICIOS

1.1. DORMITORIOS

TIPO DE DORMITORIO	MOBILIARIO MÍNIMO	Superficie mínima	Área mínima
1. DORMITORIO	1 Módulo A o 1 Puerta + 1 Chaise longue o 1 Troncalón	16,3 m ²	2,00
2. DORMITORIO	1 Módulo B o 1 Puerta + 1 Chaise longue o 1 Troncalón	13,3 m ²	1,50
3. DORMITORIO ADICIONAL	1 Módulo B o 1 Puerta + 1 Chaise longue	8,3 m ²	1,00

Módulo A: 1 Módulo A o 1 Puerta + 1 Chaise longue o 1 Troncalón

Módulo B: 1 Módulo B o 1 Puerta + 1 Chaise longue

1.2. COCINA

REQUERIMIENTOS

La superficie de cocina dependerá de los dormitorios de la vivienda, como en viviendas con 1 sitio dormitorio confirmado en su etapa inicial, donde se deberán considerar 4 módulos de cocina como mínimo.

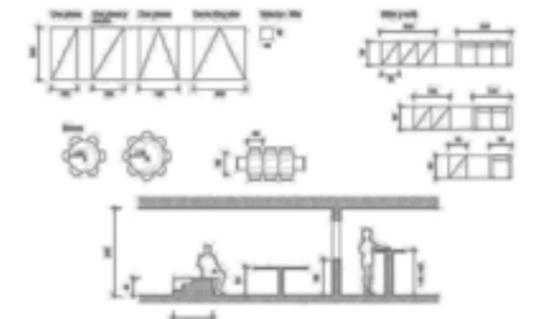
1.3. BARRIO DE USOS MÍNIMOS

Módulo cocina y baño mínimo

Fig. 185

Fig. 185

FIGURA 13 • MEDIDAS DE MOBILIARIO EN PLANTA Y SECCIÓN



- **Dimensiones típicas de mobiliario en planta [Figura 13]**
- Cama de 1 plaza: 100 x 200 cm (anchura 90 x 190 cm en Chile)
- Cama de 2 plazas: 150 x 200 cm.
- Cama "King size": 200 x 200 cm.
- Sillón, sillón: 45 x 45 cm.
- Mesa rectangular: 120 cm (hasta 6 personas), 140 cm (hasta 8 personas)
- Mesa rectangular: 80 cm de ancho (salvavidas). Largo: 60 cm / persona (Mesa para 6 = 60 x 120 cm)
- Silla, Silla: módulos de 90 x 70 cm (solo de dos cuerpos = 90 x 140 cm; solo de tres cuerpos = 90 x 210 cm)
- Cocina, lavadero, refrigerador: 60 x 60 cm.
- Refrigerador de doble: 80 x 80 cm (o similar a través)
- Tasa: 70 cm de ancho. Largo: 120-140-150-170 cm.

Fig. 186

Fig. 185 *Cuadro normativo FSEV para dormitorio.*
Fuente: Cuadro normativo y tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario, FSEV.

Fig. 186 *Medidas de mobiliario en planta y sección.*
Fuente: Gray, Vergara, Meneses.

7.1.1 Medidas de mobiliario básico

En esta sección se presenta el diseño de mobiliario basado en los referentes consultados. Cada uno de estos cuenta con sus medidas propias, así como variaciones en determinados casos.

El mobiliario es categorizado según el programa específico a los cuales pueden dar cabida, es decir, los recintos donde pueden ser utilizados. Estos corresponden a living, comedor, cocina, dormitorio, baño, logia (se incluye también terraza). Estos recintos se consideran como los básicos utilizados para el diseño de una vivienda. Junto con ello, se adjuntas elementos extra, como puertas y escaleras con sus variaciones y medidas estándar.

Para el diseño de un living, se considera mobiliario como sillas o mesas que cuentan con medidas que pueden llegar hasta los 90 centímetros de ancho y 2,2 metros de largo.

En cuanto al comedor, se proponen dos tipos de mesa: rectangular y circular. La primera cuenta con tres versiones, que van desde 1,8 a 2,35 metros de largo, mientras que la segunda solamente considerada dos, de diámetro 1,2 y 1,4 metros. La cocina concentra una serie de medidas estandarizadas en 60 centímetros de espesor, mientras que el dormitorio mantiene las dimensiones de las camas en un largo de 2 metros, variando su ancho. Por otro lado, el mobiliario de baño cuenta con una mayor versatilidad, dado principalmente por el largo que puede tener la ducha, en tanto que la logia considera medidas estándar de 60 centímetros de ancho y largo para lavadora y secadora. Por último, la terraza cuenta con elementos misceláneos de mobiliario, dentro de los cuales se pueden encontrar aquellos presentes en comedor y living.

Las puertas, como elementos extra, consideran tres anchos: 70, 80 y 90 centímetros. Las escaleras, por otro lado, cuentan con un ancho de 70 centímetros y una huella de 25. Se considera una escalera lineal y otra de ida y vuelta.

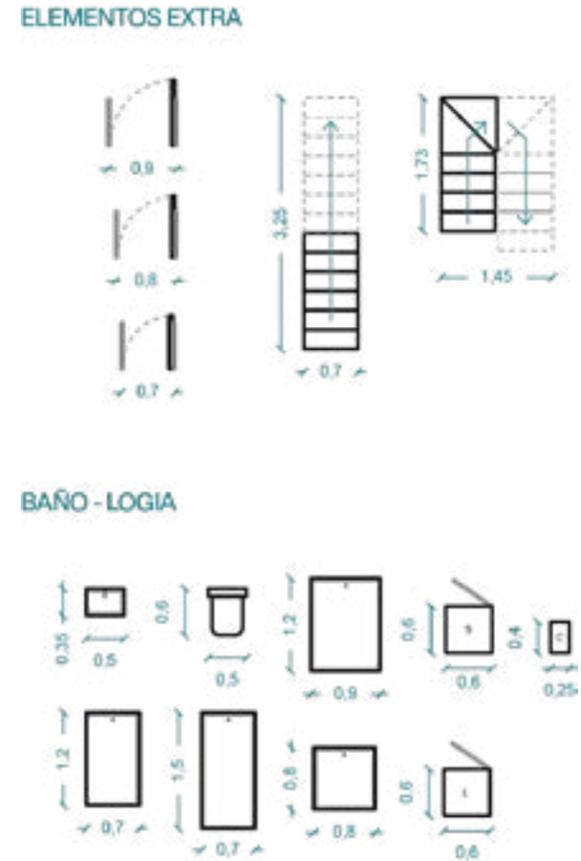


Fig. 187

Fig. 187 Medidas básicas de mobiliario doméstico basada en información obtenida de los referentes mencionados anteriormente, incluyendo criterio propio. Fuente: Elaboración propia

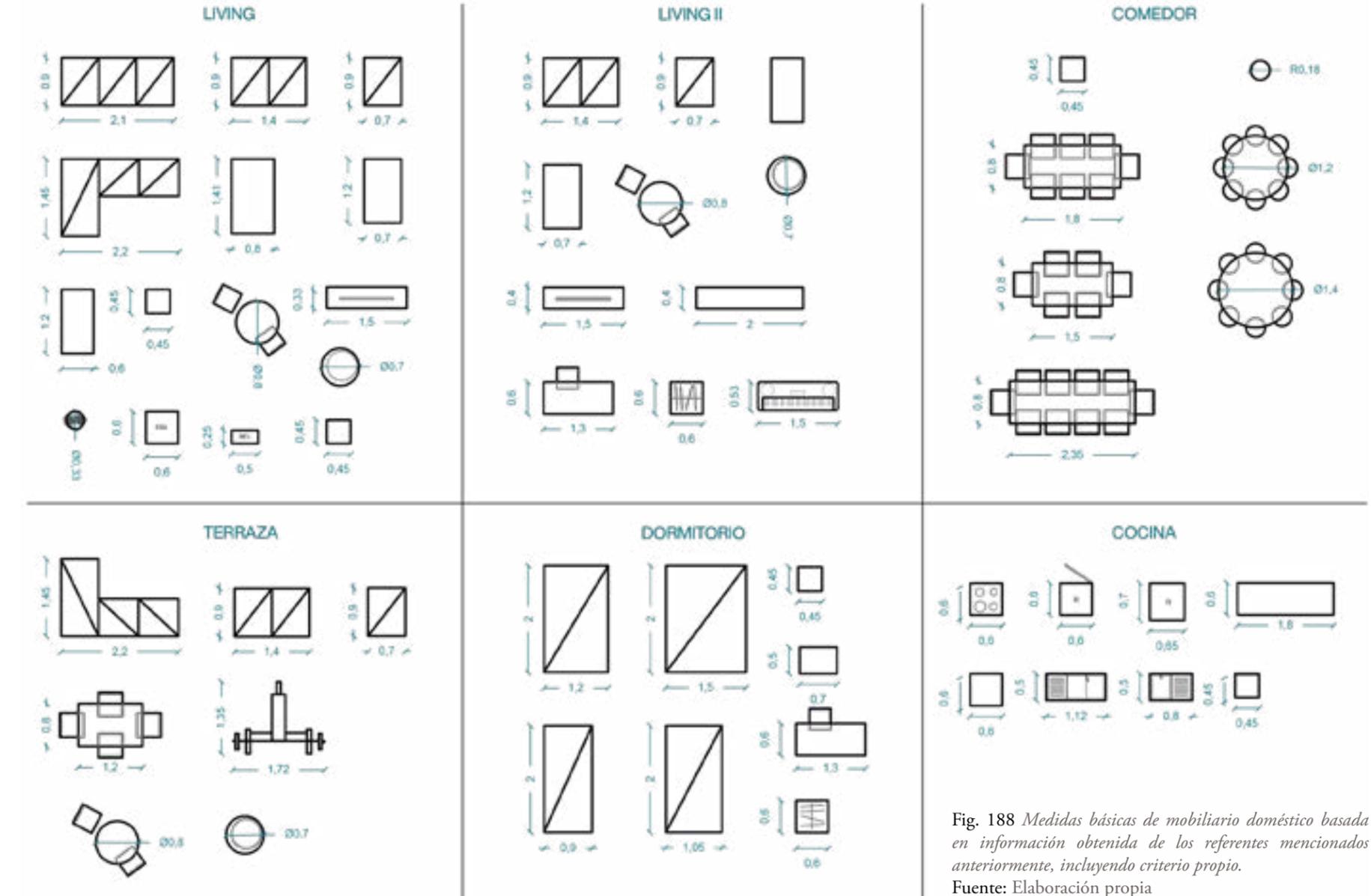
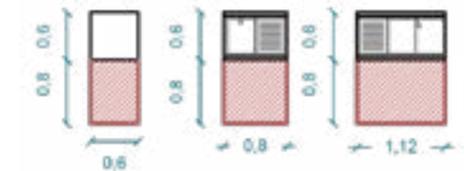
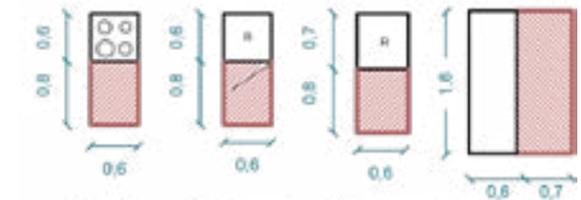


Fig. 188 Medidas básicas de mobiliario doméstico basada en información obtenida de los referentes mencionados anteriormente, incluyendo criterio propio. Fuente: Elaboración propia

7.1.2 Circulaciones de mobiliario

En cuanto a las circulaciones, se decide en algunos casos aumentar las dimensiones convencionales para el caso de algunos tipos de mobiliario. Se consideran entre 50 y 80, trazando una línea paralela al largo del mueble a considerar.

COCINA



LOGIA

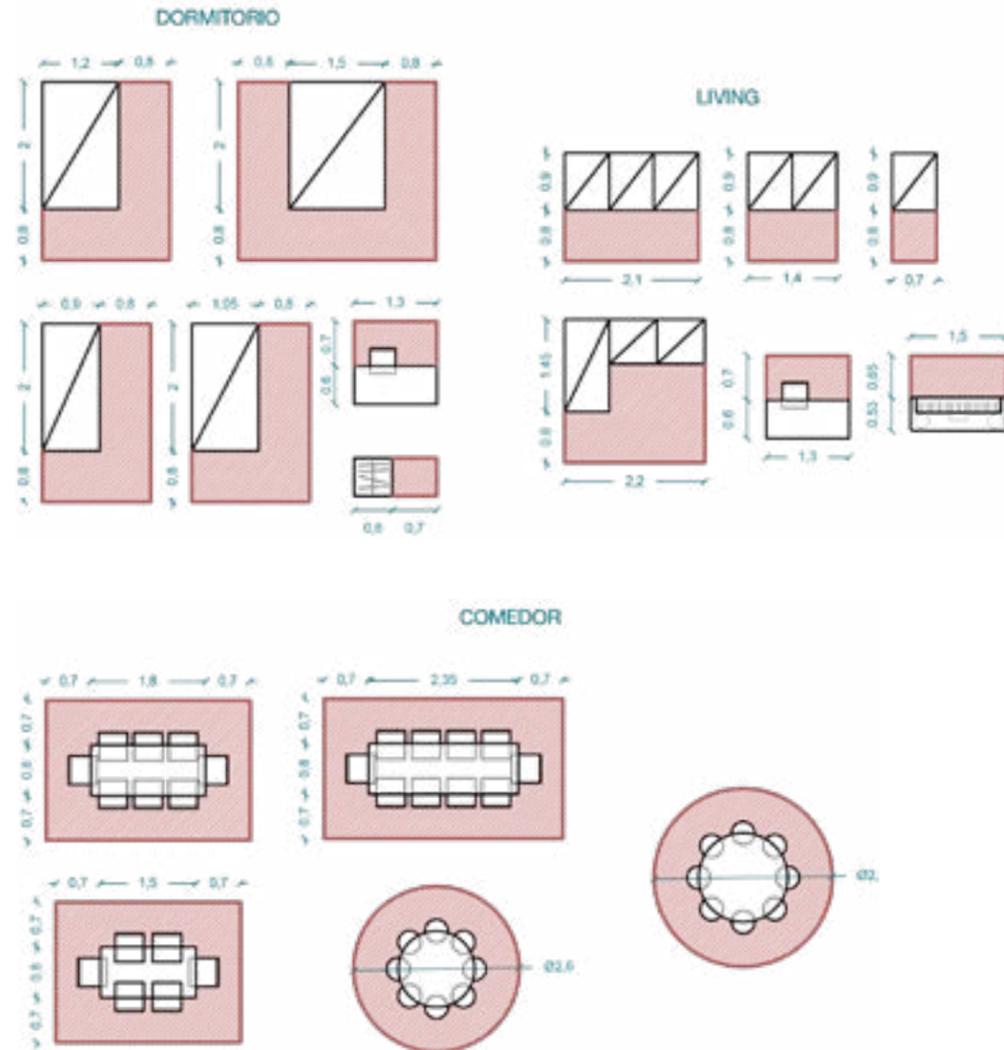
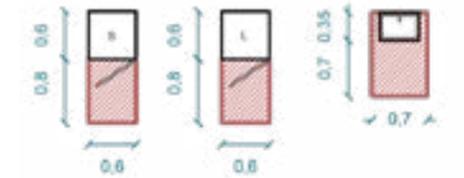


Fig. 189 Espacios de circulación del mobiliario básico doméstico. Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Iteración de recintos

Una vez propuestas las medidas básicas para mobiliario con sus respectivas circulaciones, es posible iterar diversas maneras de componer espacios interiores. Se busca explorar las distintas dimensiones que pueden tener los recintos interiores básicos planteados anteriormente (living, comedor, cocina, dormitorio, baño, logia). Para ello, se utilizan distintas formas en la disposición de mobiliario dentro de estos recintos, así como variaciones en la cantidad y tipo de estos.

El recinto que cuenta con una mayor cantidad de variaciones es el dormitorio, con 15 iteraciones distintas. Esto se debe principalmente a que se considera tanto la habitación principal como secundaria, así como también para una o dos personas. Por otro lado, el recinto que cuenta con una menor cantidad de variaciones es la logia, con solo cuatro, debido a que la cantidad de mobiliario que lo compone es baja.

En cuanto al resto de recintos, estos cuentan con una cantidad de entre cinco y seis iteraciones cada uno. En el caso del living, se cuentan cinco variaciones, las cuales guardan gran diferencia entre sí, así como también el caso de la cocina. Por otro lado, el recinto destinado al baño muestra seis iteraciones, dentro de las cuales solamente una destaca por sobre las otras: aquella pensada para uso universal. Por último, el comedor tiene un total de cinco iteraciones, las cuales toman su forma según la mesa utilizada.

A cada una de estas iteraciones se le será yuxtapuesta una serie de grillas estructurales, lo cual variará sus dimensiones.



Fig. 190 Distintas disposiciones del mobiliario básico, las cuales conforman distintos espacios que dan dimensiones a los recintos. Fuente: Elaboración propia

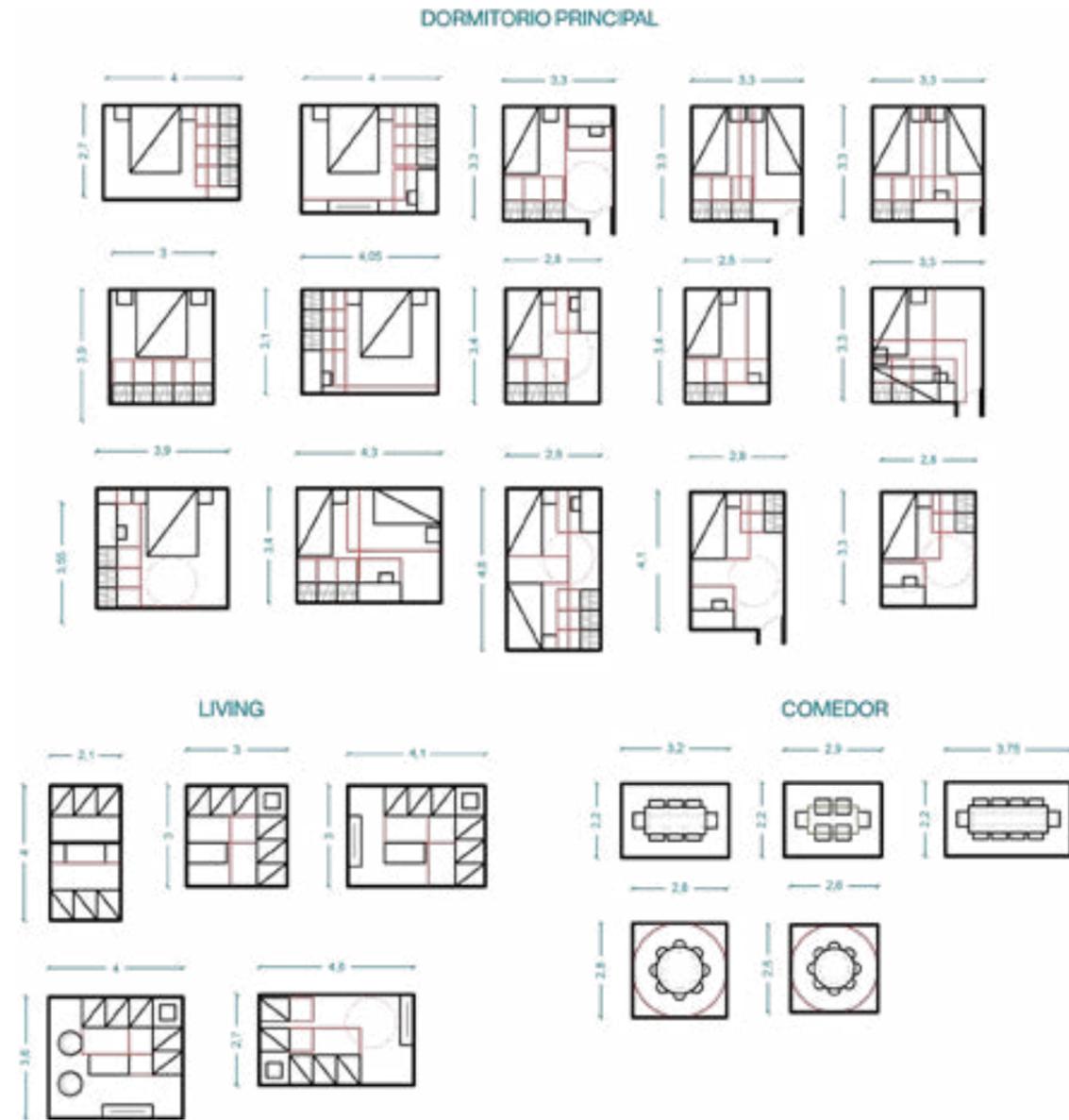


Fig. 191 Disposiciones del mobiliario básico.
Fuente: Elaboración propia.

7.2.1 Iteración de recintos con grillas

Para la iteración de grillas estructurales se considerarán los recintos diseñados en la sección anterior (ver cap. 7.1.3). A cada uno se le aplicará una grilla con la finalidad de identificar cuál de estas permite una mayor eficiencia en términos de adaptabilidad y aprovechamiento del espacio interior.

Las grillas que se utilizarán serán cuadrículadas y estarán definidas en módulos de 10 centímetros. Se partirá un mínimo de 30 centímetros para la cuadrícula, puesto que se consideran los valores inferiores muy reducidos para diseñar una grilla. Luego se continúa con 40 y 50 centímetros y se pasa directamente a los 70 centímetros, omitiendo los 60 puesto que pueden conformarse con la grilla inicial de 30. Igualmente, los valores mayores a 70 centímetros pueden ser conformados por las grillas dispuestas anteriormente y/o se consideran valores muy grandes para el desarrollo de una grilla en este caso.

Entonces, las cuadrículas a ser iteradas son:

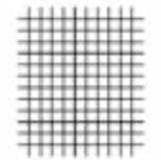
- 30x30 centímetros.
- 40x40 centímetros.
- 50x50 centímetros.
- 70x70 centímetros.

Cada grilla será sobrepuesta a cada recinto de la sección anterior (ver Figs. 193 y 194), categorizados según programa. Asimismo, se utilizará una nomenclatura alfabética para nombrar cada iteración en cada uno de los programas.

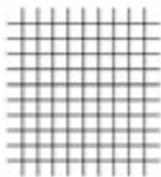
Se realizará un análisis para determinar cuál de las cuatro grillas propuestas permite una menor variación de los recintos iniciales, sin reducir el tamaño de estos. En ese sentido, la grilla más eficiente será aquella en que la mayor cantidad de recintos tengan una menor variabilidad de sus dimensiones al ser aplicada.

Cabe mencionar que el ancho de muros variará en su espesor según la medida de cada grilla.

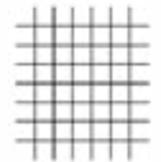
GRILLA 30X30 cm



GRILLA 40X40 cm



GRILLA 50X50 cm



GRILLA 70X70 cm

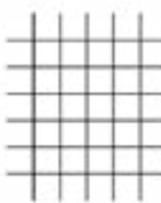
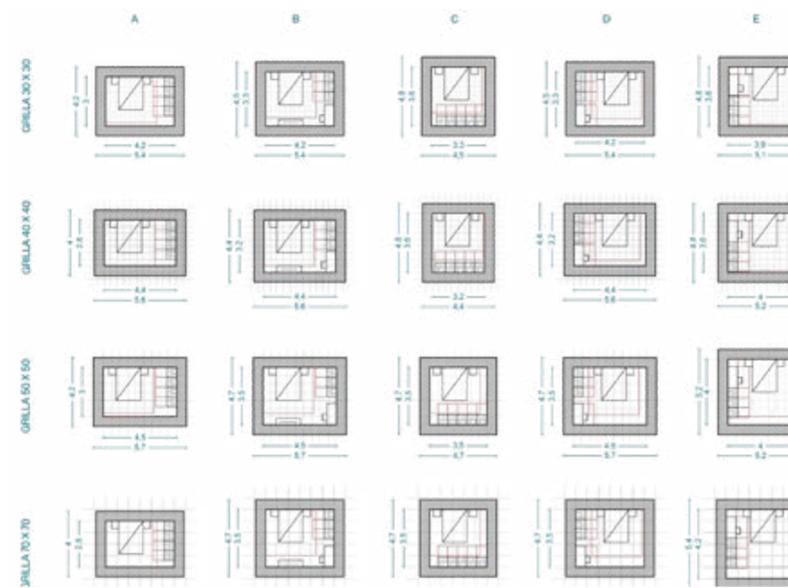


Fig. 192

Fig. 192 Grillas estructurales a iterar con recintos.
Fuente: Elaboración propia

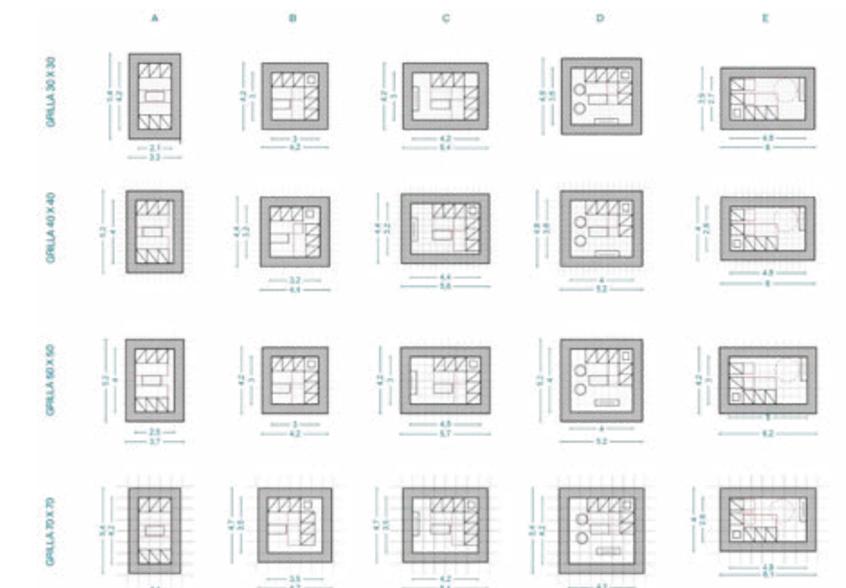
Dormitorio Principal



Dormitorio Secundario



Living



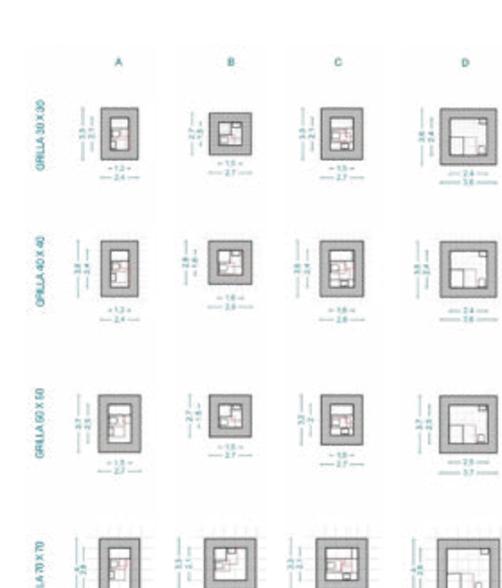
Comedor



Cocina



Baño



Logia



Fig. 193 Iteración con dormitorio principal, dormitorio secundario y living. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 194 Iteración con comedor, cocina, baño y logia. Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Estudio de eficiencia de grillas

Para poder determinar cuál de las cuatro grillas es más eficiente, se calculará la diferencia de dimensión, en metros cuadrados, entre los primeros recintos iterados (ver cap. 7.1.3) y los recintos iterados con cada grilla. Los gráficos presentados en las figuras 195 y 196 muestran las variaciones del caso inicial con cada una de las grillas, donde se puede visualizar que las grillas 50x50 y 70x70 cuentan con una mayor diferencia que las grillas 30x30 y 40x40 con respecto al caso inicial.

Para entrar en mayor detalle acerca de las diferencias entre los casos iniciales y los casos con estructuración posterior mediante las grillas, se realiza un estudio de los porcentajes de variación (ver fig. 197). El valor de los porcentajes será favorable en tanto menor sea y menos favorable en tanto sea mayor. Cabe mencionar que no se consideraran los valores negativos como favorables.



Fig. 195

Fig. 195 Gráfico de comparación entre las iteraciones de los recintos iniciales y la estructuración posterior. Fuente: Elaboración propia

Junto con lo anterior, se realiza un estudio para determinar qué grilla es más eficiente, es decir, aquella grilla que permite menor variación entre el caso inicial y el con grilla estructural la mayor cantidad de veces. Este estudio se muestra en la figura 197, donde se muestran los porcentajes categorizados según programa y grilla. Cada uno de los programas está dividido según la cantidad de recintos que fueron iterados inicialmente.

Los resultados muestran la prevalencia de la grilla 30x30 como grilla más eficiente en 20 de los recintos iterados, frente a una frecuencia de 10 de la grilla 40x40 y 7 de las grillas 50x50 y 70x70. Dados los resultados, se escoge la utilización de la grilla 30x30 como base para el desarrollo de los módulos constructivos, puesto que se posiciona como la más versátil de las cuatro propuestas.



Fig. 196

Fig. 196 Gráfico de comparación entre las iteraciones de los recintos iniciales y la estructuración posterior. Fuente: Elaboración propia

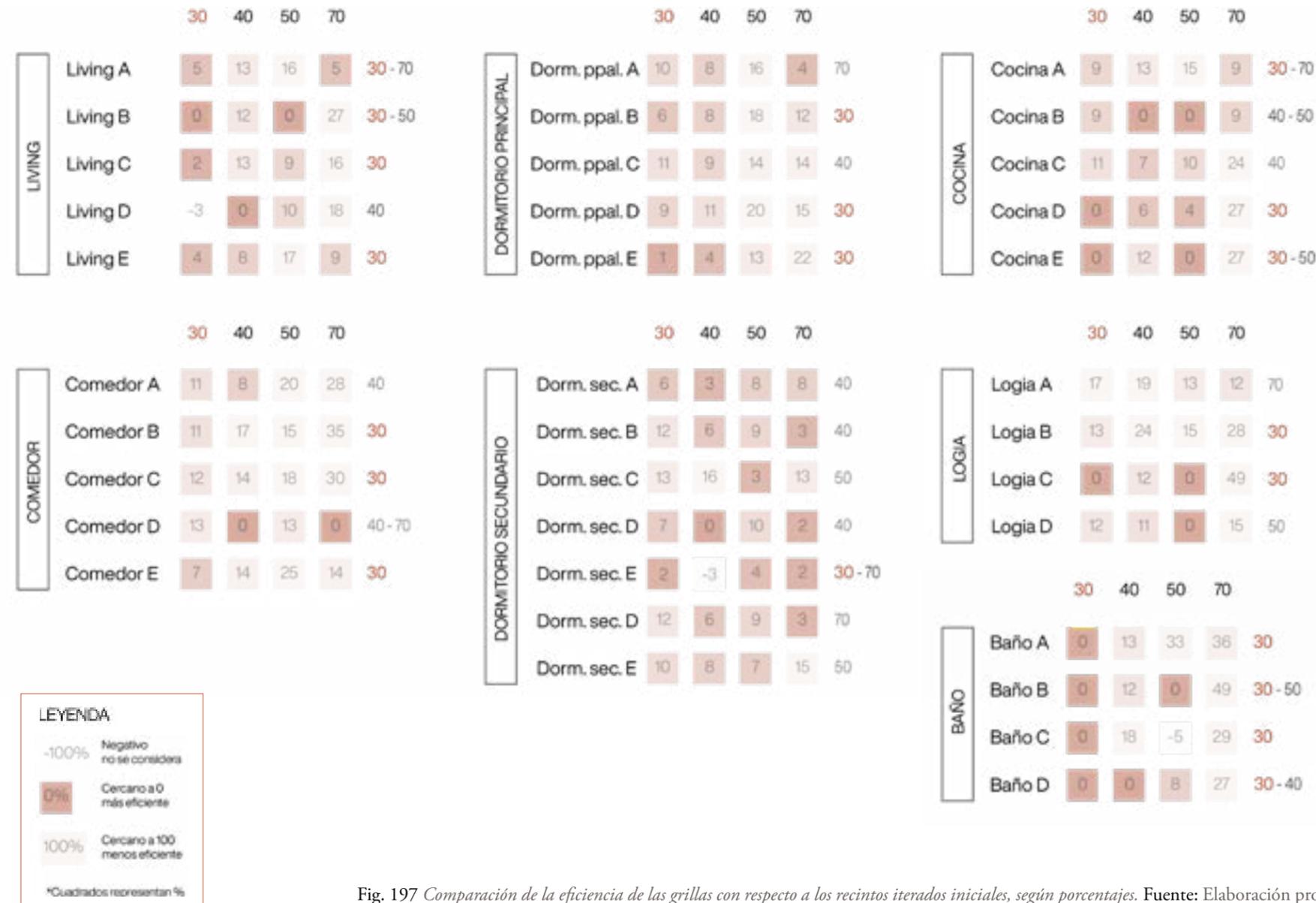


Fig. 197 Comparación de la eficiencia de las grillas con respecto a los recintos iterados iniciales, según porcentajes. Fuente: Elaboración propia.

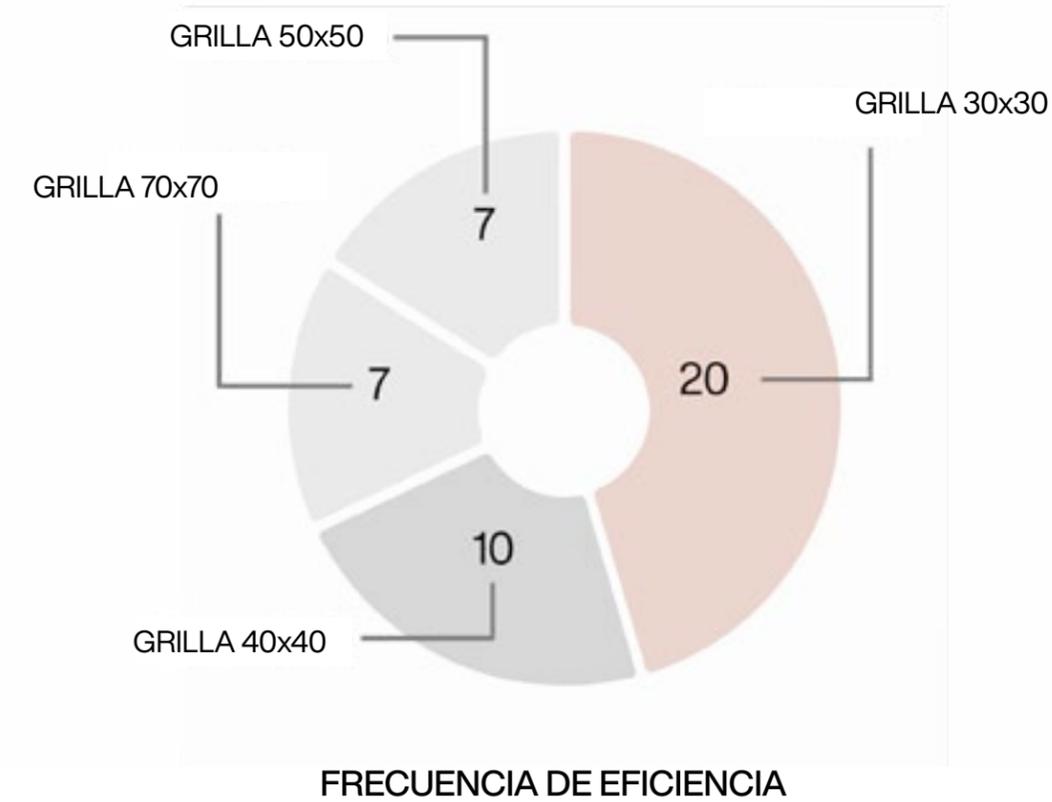


Fig. 198 Resultado de la grilla más eficiente. Este cálculo se logra calculando la diferencia de dimensión -en metros cuadrados- entre los primeros recintos iterados y los recintos a los cuales se le suma el muro, el cual tiene su ancho determinado por cada una de las grillas. De esta forma, al tener una menor diferencia la grilla es más eficiente y, al comparar cada uno de los recintos iterados, se puede saber cuál grilla es la que es más eficiente con mayor frecuencia. Fuente: Elaboración propia.

7.3 Dimensión de los módulos

Una vez determinada la grilla a utilizar (30x30), se podrá continuar con la definición de las dimensiones de los módulos constructivos. Se buscará identificar las medidas capaces de dar cabida a programas grandes, medianos y pequeños dentro de una vivienda.

Se realizará una comparación espacial de los recintos resultados de la grilla más eficiente (30x30) para establecer qué dimensiones conforman recintos grandes, medianos y pequeños. Se utilizarán los metros cuadrados interiores como medida a comparar.

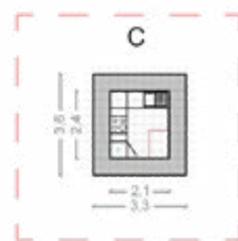
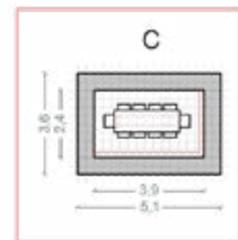
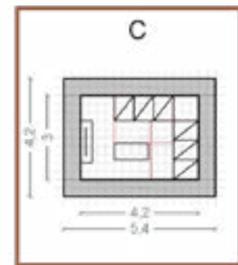
7.3.1 Comparación espacial

La figura 200 corresponde a la comparación espacial de los recintos utilizando la grilla 30x30. Como se puede apreciar, se presentan las tres categorías: grande, pequeño y mediano. Cada una de estas queda separada según tres categorías: grande, mediano y pequeño.

Al comparar los recintos, se establece que las dimensiones de cada categoría serán:

- **Grande:** 11 - 17 m² (interior).
- **Mediano:** 7 - 11 m² (interior).
- **Pequeño:** 0 - 7 m² (interior).

Estas dimensiones serán las utilizadas para la definición de los módulos del sistema constructivo propuesto. Cada uno de los módulos diseñados deberá tener una medida que se encuentre en alguno de esos tres rangos, con la finalidad de contar con una variabilidad que permita la construcción de distintos recintos de una vivienda.



COMPARACIÓN ESPACIAL DE M² - RECINTOS GRILLA 30x30 (grilla más eficiente)

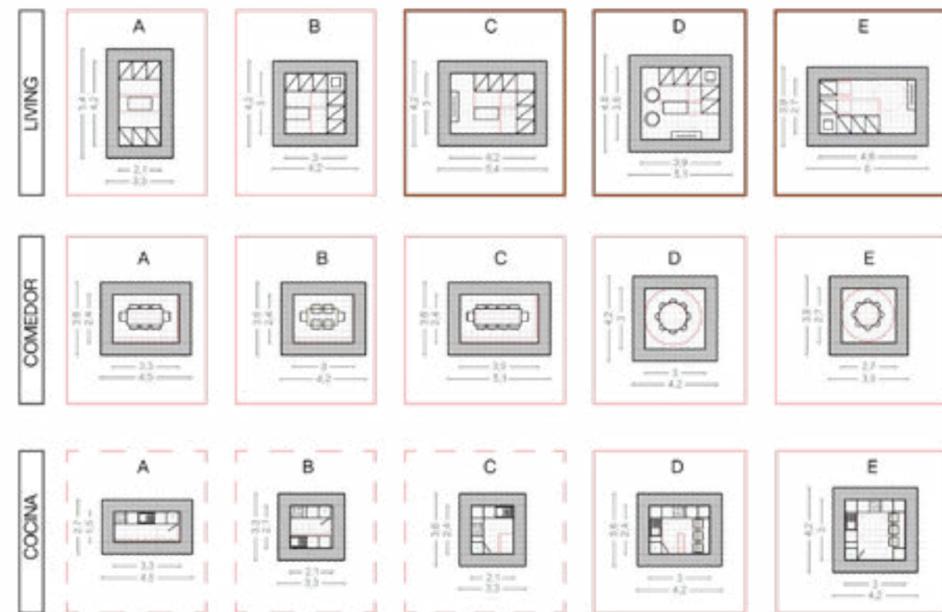


Fig. 199 Ejemplos de rangos de recintos según tamaño
Fuente: Elaboración propia

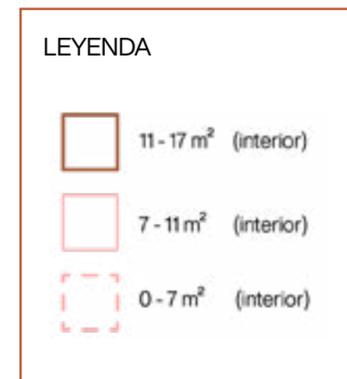
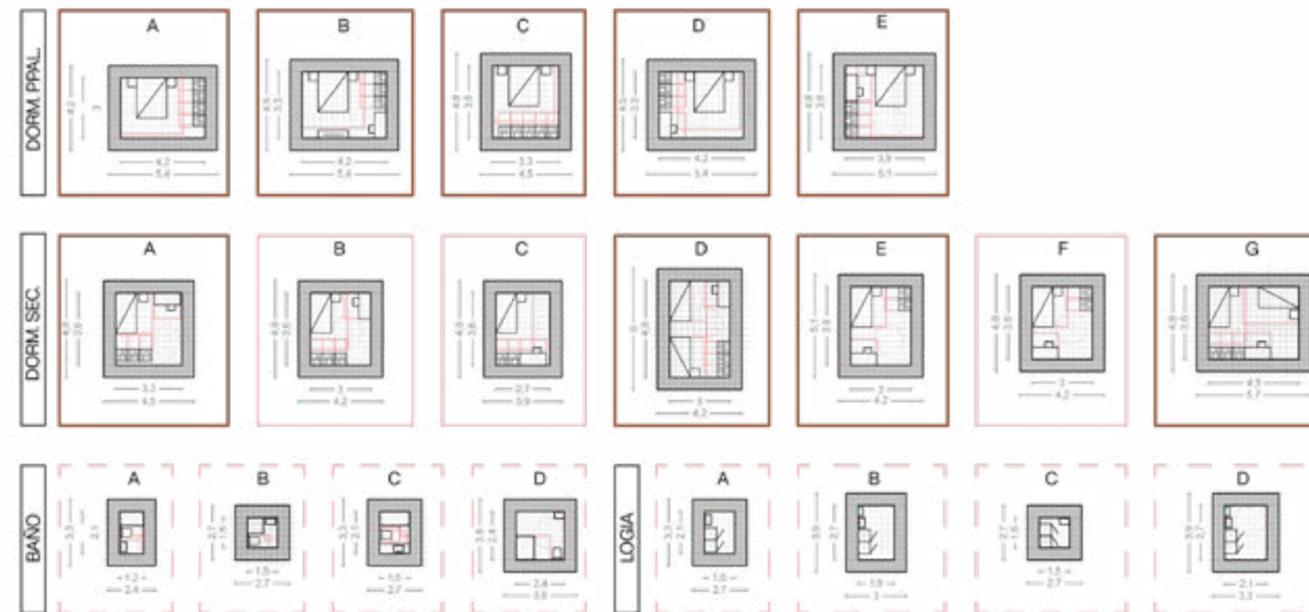


Fig. 200 Comparación de recintos iterados grilla de 30 x 30cm. Se comparan según los tamaños resultantes de estos, separándolos en tres categorías: 0-7m²; 7-11m²; 11-12m² (todas estas según las dimensiones interiores de los recintos). Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Modulaci3n resultante

Los m3dulos presentados en esta secci3n son el resultado de las iteraciones realizadas anteriormente, por lo cual su dise1o se basa en la grilla cuadriculada seleccionada (30x30) y los metros cuadrados determinados para cada tipo de recinto (grande, mediano y peque1o), basados en el estudio del mobiliario dom3stico y sus circulaciones.

En primer lugar, el m3dulo mayor (A) consta de 15,12 m² disponibles, con medidas interiores de 3,6 y 4,2 metros. Se enmarca en una cuadr3cula de 16x18 y es capaz de dar cabida a recintos como dormitorios y livings.

En segundo lugar, el m3dulo mediano (B) consta de 8,64 m² disponibles, con medidas interiores de 3,6 y 2,4 metros. Se enmarca en una cuadr3cula de 16x12 y puede dar cabida a recintos como dormitorios, comedores y cocinas.

Por 3ltimo, se consideran dos m3dulos medianos (CI y CII), los cuales son resultado de la divisi3n del m3dulo B, permitiendo una mayor versatilidad en el dise1o. El m3dulo CI consta de 4,32 m² disponibles con medidas interiores de 2,4 y 1,8 metros, enmarcado en una cuadr3cula de 12x10. Por otro lado, el m3dulo CII consta de 2,88 m² disponibles con medidas interiores de 2,4 y 1,2 metros, enmarcado en una cuadr3cula de 12x8. Ambos m3dulos pueden dar cabida a recintos como ba1os, logias e, incluso, cocinas.

Los m3dulos ser3n utilizados en el desarrollo del sistema constructivo propuesto, integrando las estrategias presentadas anteriormente para construcci3n con micelio (ver cap. 6). En la figura 202 se muestra un ejemplo de las posibilidades de uso de los m3dulos en el dise1o de vivienda.

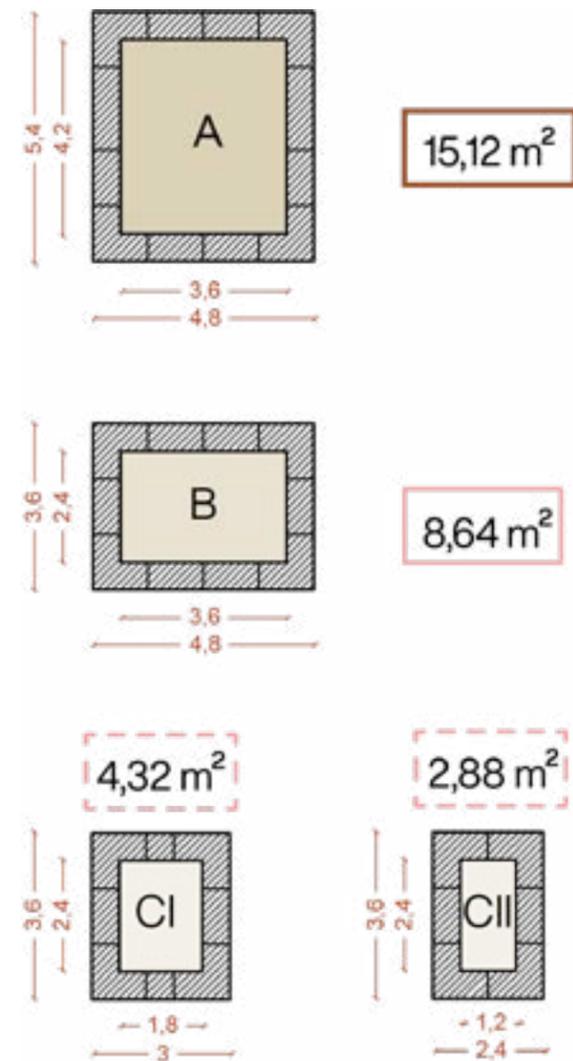


Fig. 201 Modulaci3n resultante seg3n dimensiones y clasificaci3n del estudio realizado. Fuente: Elaboraci3n propia.

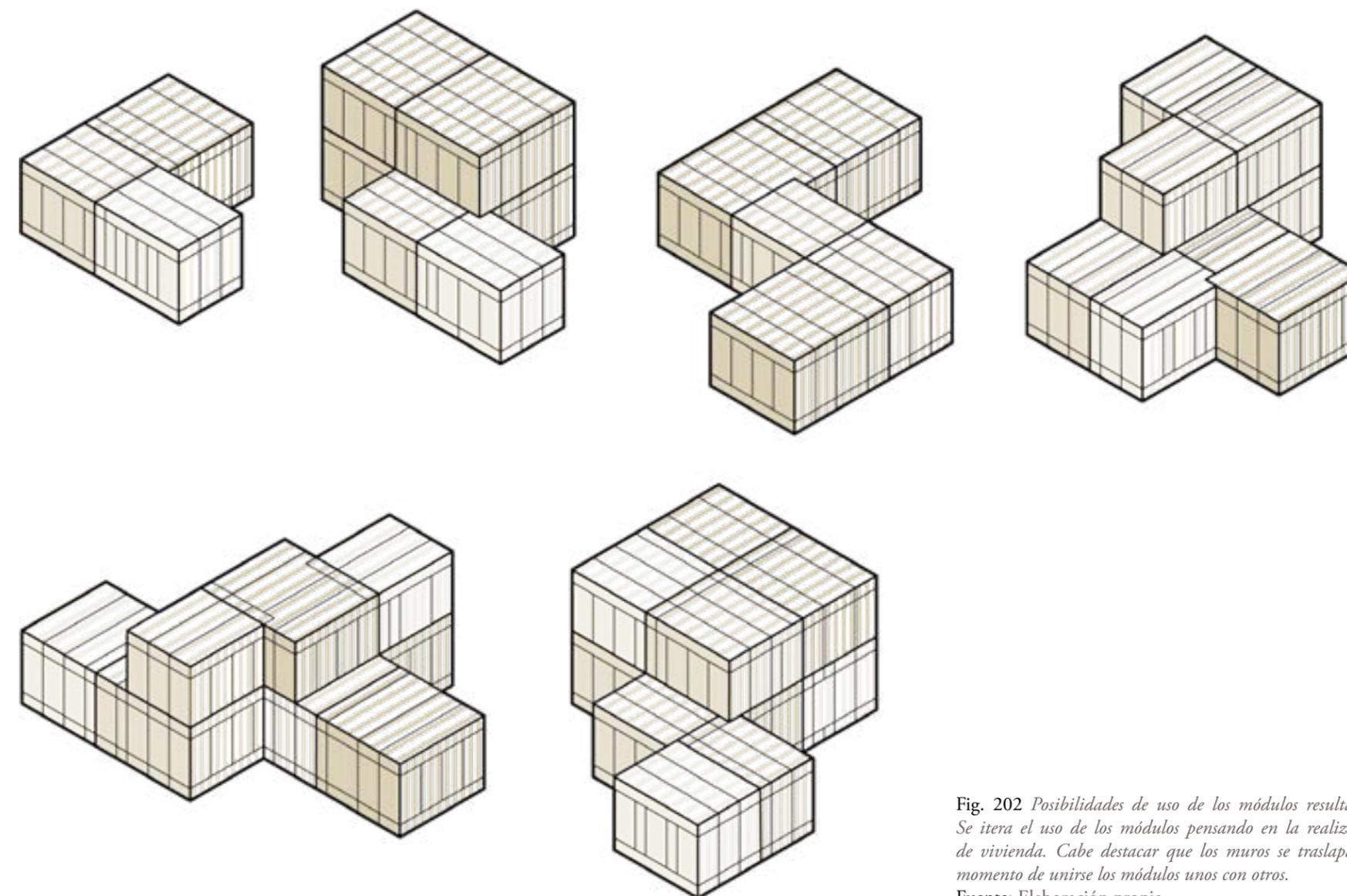


Fig. 202 Posibilidades de uso de los m3dulos resultantes. Se itera el uso de los m3dulos pensando en la realizaci3n de vivienda. Cabe destacar que los muros se traslapan al momento de unirse los m3dulos unos con otros. Fuente: Elaboraci3n propia.

CAPÍTULO 8. Diseño de Sistema Constructivo

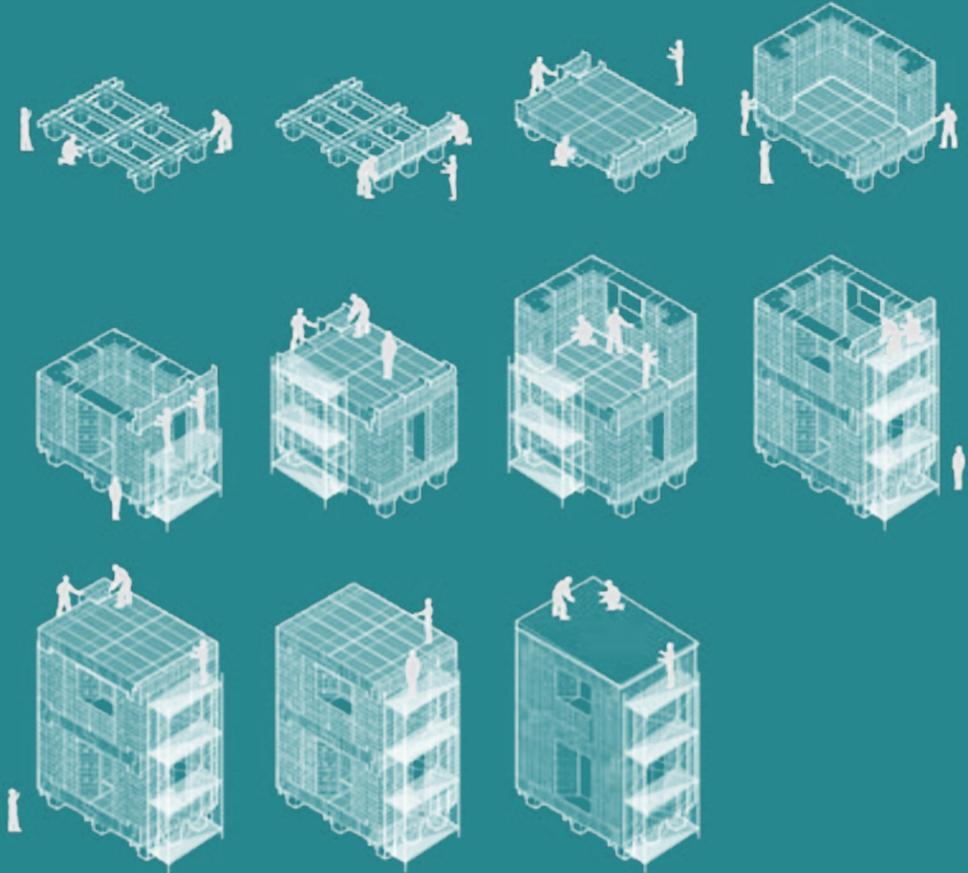


Fig. 203 Construcción paso a paso del sistema propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Consideraciones iniciales

El desarrollo del sistema constructivo se enmarca en las estrategias obtenidas de la información recabada y la experimentación con prototipos. Este capítulo presenta desde las piezas básicas del sistema hasta su montaje y detalles constructivos, pasando por la exposición de sus distintos componentes, modos de unión y conformación de módulos. Cabe recordar que el propósito de este diseño es experimentar y explorar las propiedades estructurales y capacidades mecánicas de los componentes basados en micelio en el área de la arquitectura y la construcción.

Para el diseño del sistema constructivo se tomarán en cuenta las estrategias, especialmente de reforzado y confinado, presentadas en el capítulo 6 (ver cap. 6.1) como resultado de los ensayos estructurales. Junto con lo anterior, se definirá un espesor de muros en 60 centímetros, considerando la construcción confinada en tapiales (ver cap. 3.2.4) que cuenta con un promedio en esas dimensiones (Gomaa et al., 2023). De esta

forma, se asegura que las cargas del sistema constructivo puedan ser dirigidas a través del espesor de los muros, aumentando la resistencia estructural que se necesita para componentes biobasados en micelio. En ese sentido, se decide también simplificar la grilla a 60x60 centímetros, es decir, el doble de la grilla más eficiente según el capítulo anterior, puesto que de esta forma la cuadrícula base estará compuesta por el espesor del muro.

Al igual que los muros, las losas propuestas también contarán con 60 centímetros de espesor, continuando una misma lógica estructural. Su método constructivo toma como referencia el sistema VAP (ver cap. 3.1.2), en donde se utiliza poliestireno expandido (material similar a biomateriales basados en micelio) entre planchas de madera, conformando una solución estructural.

Las piezas y componentes presentados están diseñados también para responder a la lógica modular diseñada en el capítulo anterior.

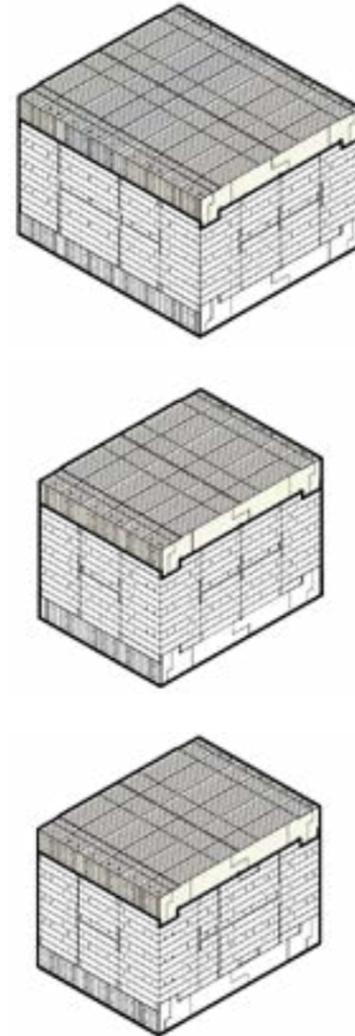


Fig. 204 Módulo en base a componentes biobasados en micelio. Fuente: Elaboración propia

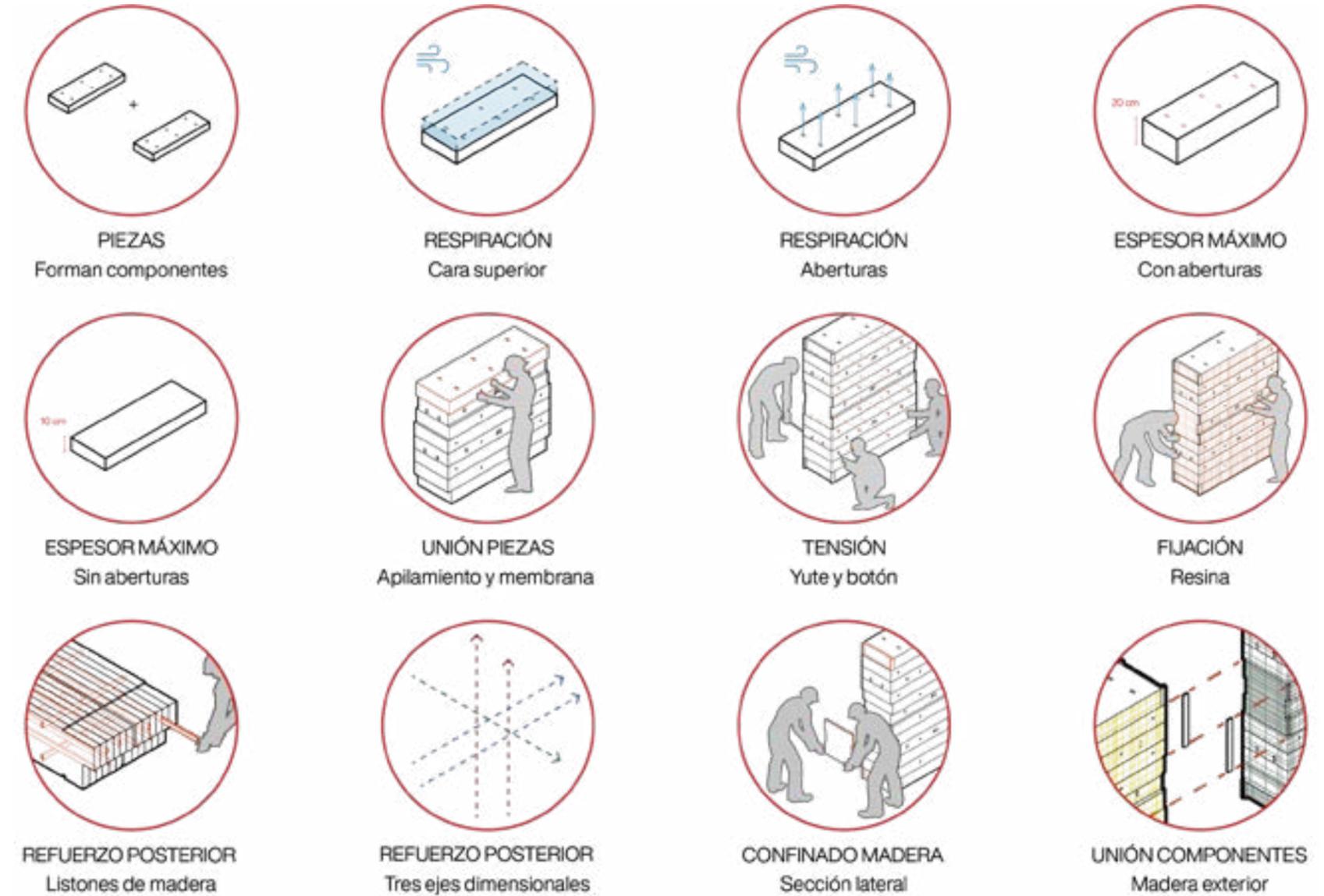


Fig. 205 Recuento de estrategias presentadas en el capítulo 6. Fuente: Elaboración propia.

8.1.2 Catálogo de piezas

El siguiente catálogo muestra las piezas base que darán lugar a los componentes constructivos mediante su unión y combinación. Estos se dividen en dos: piezas de madera (ver Fig. 206) y piezas de micelio (ver Fig. 207). Se omiten los listones de madera utilizados como refuerzo, puesto que se consideran como elementos lineales que pueden ser fácilmente seccionados.

Las piezas de madera corresponden a las diferentes placas que servirán como confinamiento lateral de los componentes. así como también piezas de unión y elementos horizontales.

Las piezas de micelio corresponden a las distintas formas que tendrán los componentes, respondiendo en su amplia mayoría a las estrategias de cultivo propuestas. Estas piezas permiten además visualizar la variedad de componentes que pueden ser fabricados utilizando micelio.

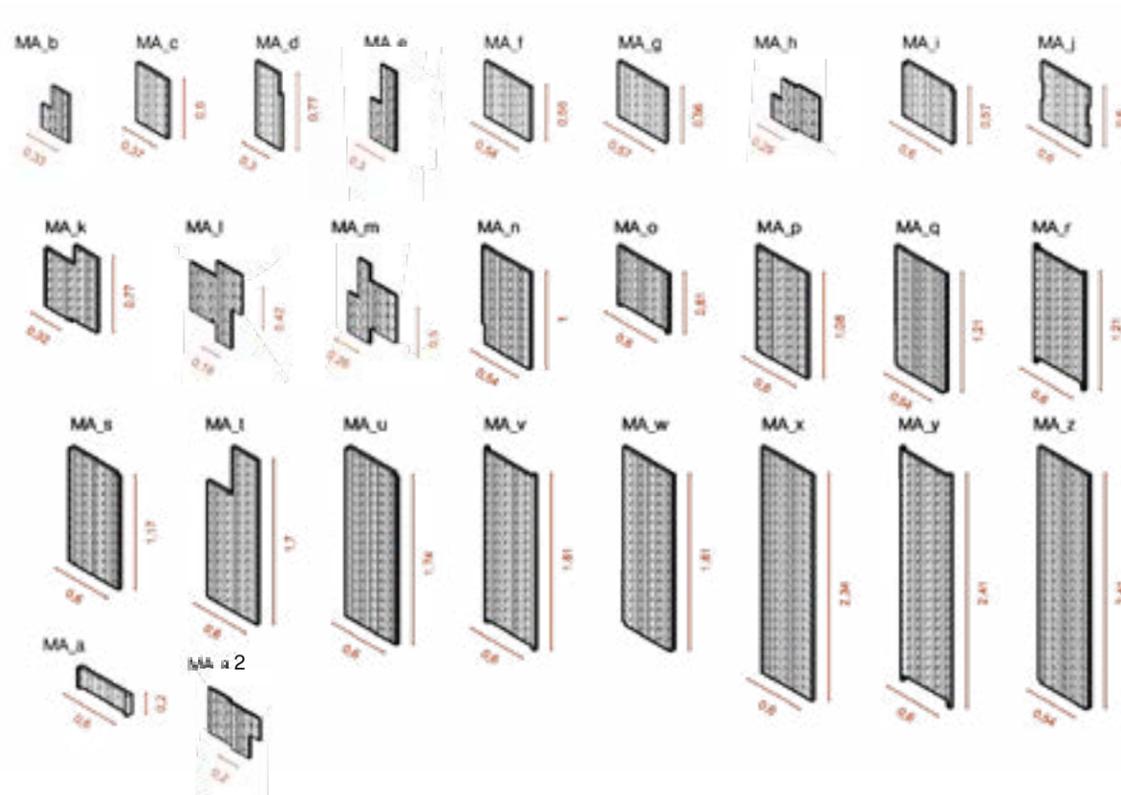


Fig. 206

Fig. 206 *Catálogo de piezas principales de madera para construcción del sistema constructivo, fabricadas en madera terciada según medidas correspondientes. Fuente: Elaboración propia.*

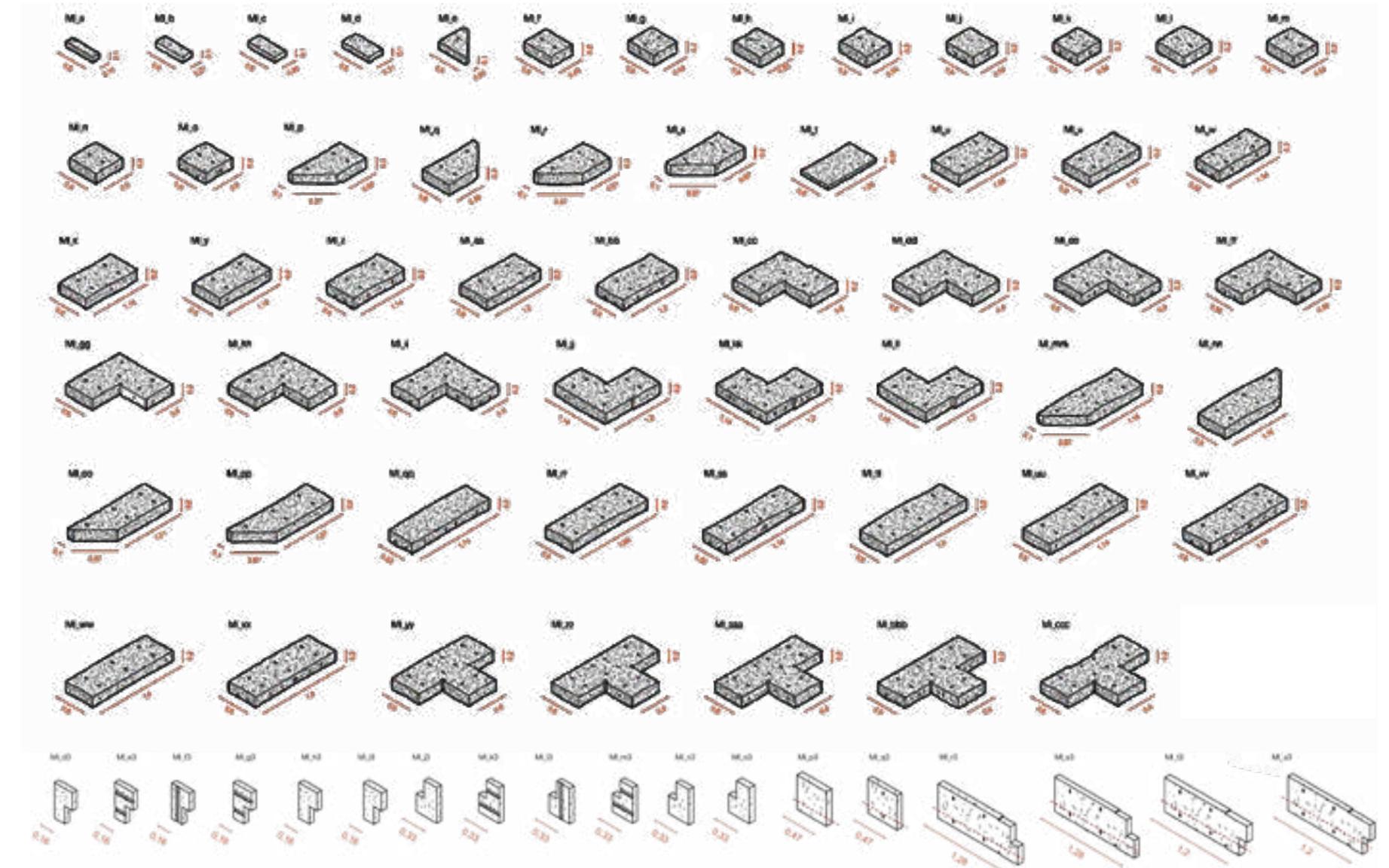


Fig. 207 *Catálogo de piezas de micelio. Fuente: Elaboración propia.*

8.2 Catálogo de componentes

El siguiente catálogo muestra los componentes diseñados, utilizando las piezas mostradas anteriormente y respondiendo a las estrategias planteadas. Se categorizan en dos grandes grupos: verticales y horizontales. Dentro de estos, se diferencian en componentes constructivos simples, dobles y triples, según su longitud respecto al espesor del muro:

- **Simple:** (60x60).
- **Dobles:** (60x120).
- **Triples:** (60x180).

8.2.1 Verticales

Para el desarrollo de los componentes verticales, se toman en cuenta las funciones de los elementos constructivos verticales de una vivienda. Estas funciones se pueden separar primeramente en muro propiamente tal y vanos.

Ahora bien, como los espesores de muro para este sistema constructivo son mayores a los

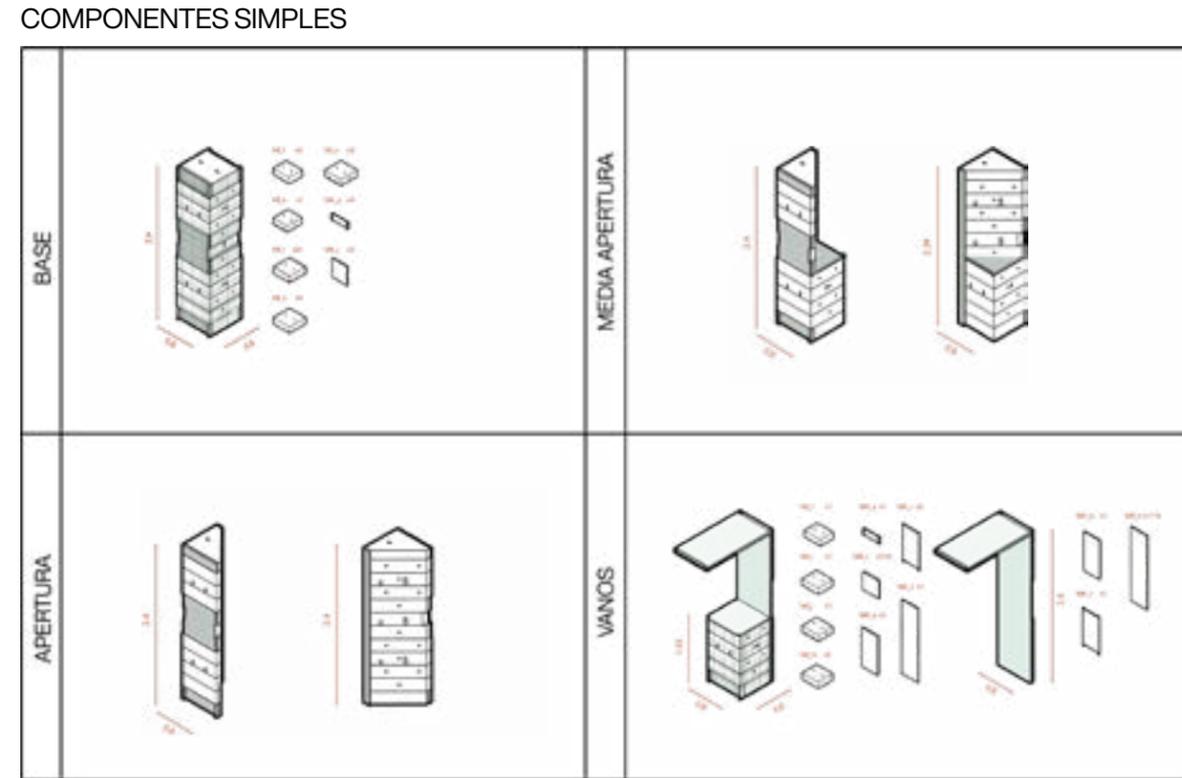


Fig. 208

Fig. 208 Catálogo de componentes constructivos simples. Se hace la división entre el componente inicial base, para luego pasar a las aperturas (medias y completas), las cuales otorgan un dinamismo a la fachada y el diseño al ser diagonales: finalmente, se encuentran los componentes de vanos propiamente tales, los cuales se unen a los otros. Fuente: Elaboración propia

utilizados en una vivienda contemporánea convencional (60 centímetros), se propone una operación de extracción al muro base de manera diagonal, con lo cual aumentará el espacio disponible para uso y permitirá vistas en escorzo. Estas extracciones se denominarán aperturas y se considerarán tanto en la totalidad de su alto como también hasta el metro de altura. Lo anterior se debe a que estas aperturas están pensadas para la unión con un componente de vano, los cuales pueden ser vanos totales o vanos medios.

Como se mencionó anteriormente, los vanos pueden ser divididos en dos categorías principales, las cuales son: vanos totales y vanos medios. Para fines del diseño, se considerarán como vanos totales aquellos que posean una altura de 2,4 metros (considerando dinteles) y vanos medios aquellos que comiencen desde el metro de altura.

Como resultado, se obtienen cuatro categorías para los elementos verticales, que son: base, apertura (completa), apertura media y vanos (totales y medios). Cabe mencionar

COMPONENTES DOBLES

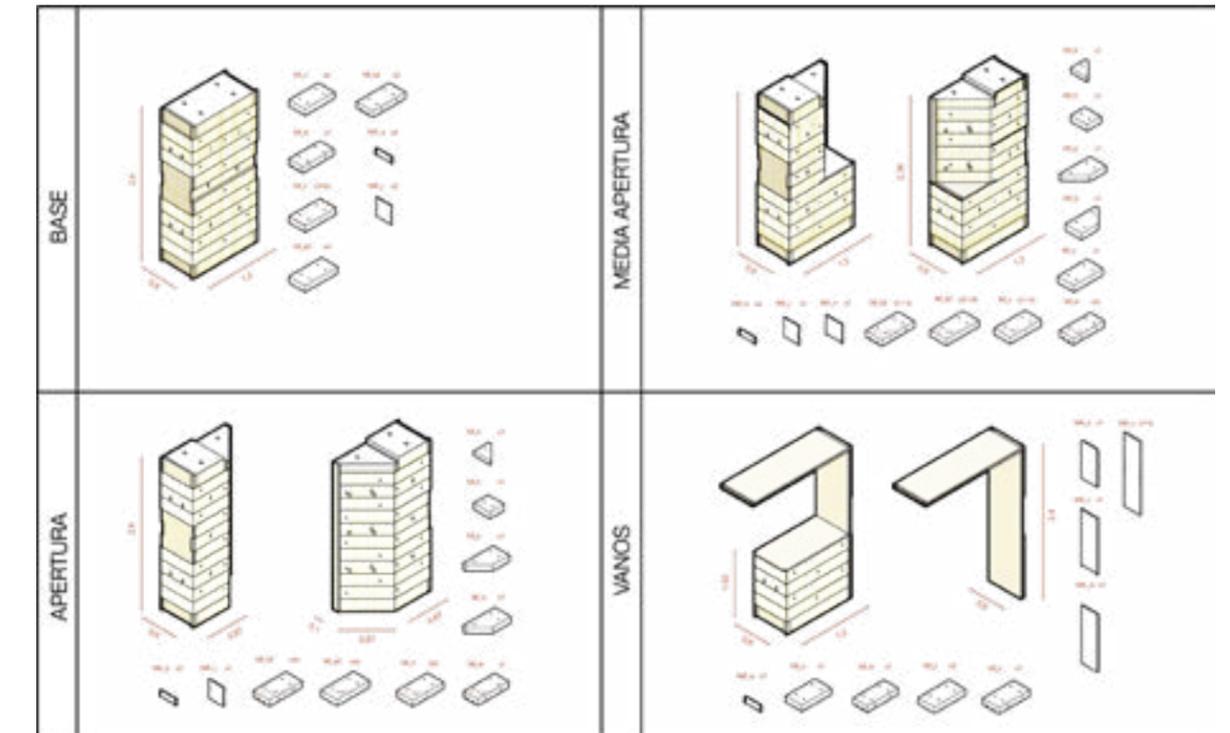


Fig. 209

Fig. 209 Catálogo de componentes constructivos dobles. Se hace la división entre el componente inicial base, para luego pasar a las aperturas (medias y completas), las cuales otorgan un dinamismo a la fachada y el diseño al ser diagonales: finalmente, se encuentran los componentes de vanos propiamente tales, los cuales se unen a los otros. Fuente: Elaboración propia

que cada componente de apertura contará con su versión espejada, la cual no puede lograrse con una rotación simple.

Además de la clasificación propuesta anteriormente, se consideran componentes constructivos extra que permiten resolver esquinas y vanos para puertas y ventanales específicos. También se muestra qué intervenciones se deben hacer para implementar soluciones sanitarias. Las soluciones eléctricas, por otro lado, cuentan con espacio para ser instaladas dentro de los componentes propuestos.

Los componentes destinados a esquinas consideran dos categorías: esquina doble y esquina triple. La primera permite conectar dos elementos verticales en los que sus ejes intersecan perpendicularmente, mientras que la segunda permite conectar tres elementos verticales en los que sus ejes igualmente intersecan perpendicularmente, pero dos de estos se encuentran en el mismo eje. Cada una de estas categorías cuenta con su versión espejada.

COMPONENTES TRIPLES

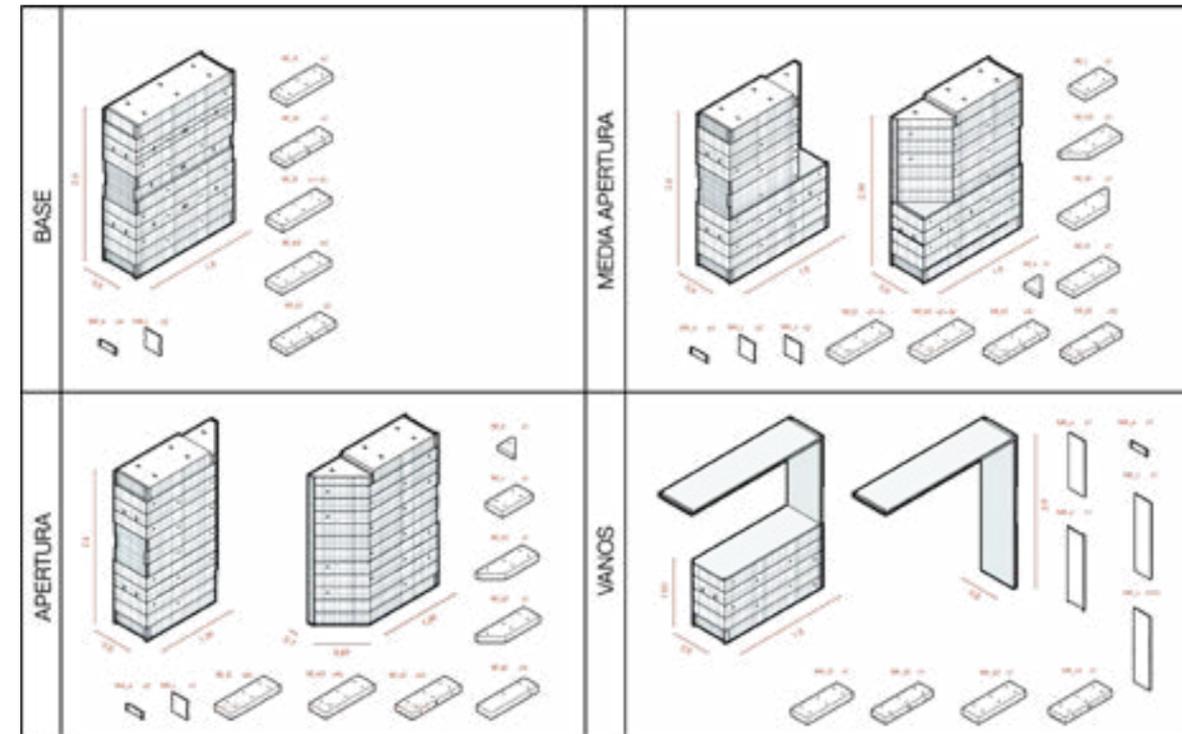


Fig. 210

Fig. 210 Catálogo de componentes constructivos triples. Se hace la división entre el componente inicial base, para luego pasar a las aperturas (medias y completas), las cuales otorgan un dinamismo a la fachada y el diseño al ser diagonales; finalmente, se encuentran los componentes de vanos propiamente tales, los cuales se unen a los otros.
Fuente: Elaboración propia

Los vanos destinados para puertas consideran una apertura de 90 centímetros y otra de 80. Se utilizan placas de madera en sus costados y las piezas de micelio que los componen son de dimensión menor y no cuentan con refuerzo de listones de madera.

Para las instalaciones sanitarias, se considera que a los bloques de micelio se les pueda extraer material según sea necesario para dar cabida a las tuberías.

Como última clasificación (ver Fig. 212), se encuentran los componentes que permiten generar dobles alturas, vale decir, son piezas que se utilizan como conectores entre muros de manera vertical. Tanto el componente A como el componente B funcionan para generar esquinas; su unión permite conformar una esquina triple. El componente C está pensado para ser unido a componentes simples, otorgando continuidad.

En las figuras se pueden visualizar dimensiones de componentes y piezas que los componen, junto con su cantidad. De las

COMPONENTES EXTRA

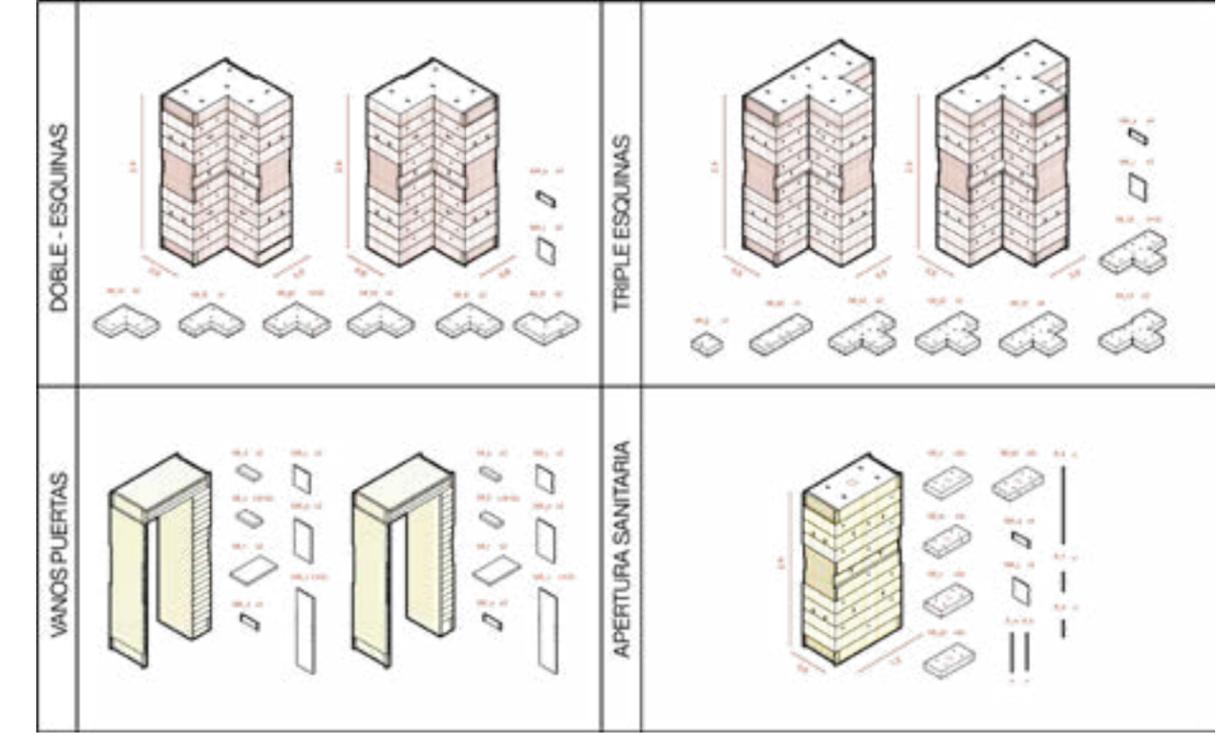


Fig. 211

Fig. 211 Catálogo de componentes constructivos extra. En primer lugar, se encuentran aquellos que conforman las esquinas, así como también los que permiten la unión entre distintos módulos. Junto con eso, se encuentran también los vanos utilizados para la disposición de puertas, con aperturas de 80 y 90 centímetros. Por último, se muestra cómo se deberían hacer los cortes para las instalaciones sanitarias.
Fuente: Elaboración propia

figuras 208 a la 210 se muestran los componentes simples, dobles y triples, según sus correspondientes clasificaciones. En la figura 211 se muestran los componentes extra y en la figura 212 los componentes que corresponden a las dobles alturas (no se incluyen piezas en las ilustraciones; se conforman a partir del dimensionado de otras piezas).

A continuación, se mostrarán los componentes horizontales que funcionan como losas, en donde se dispondrán las medidas y piezas necesarias para su conformación.

COMPONENTES PARA DOBLE ALTURA

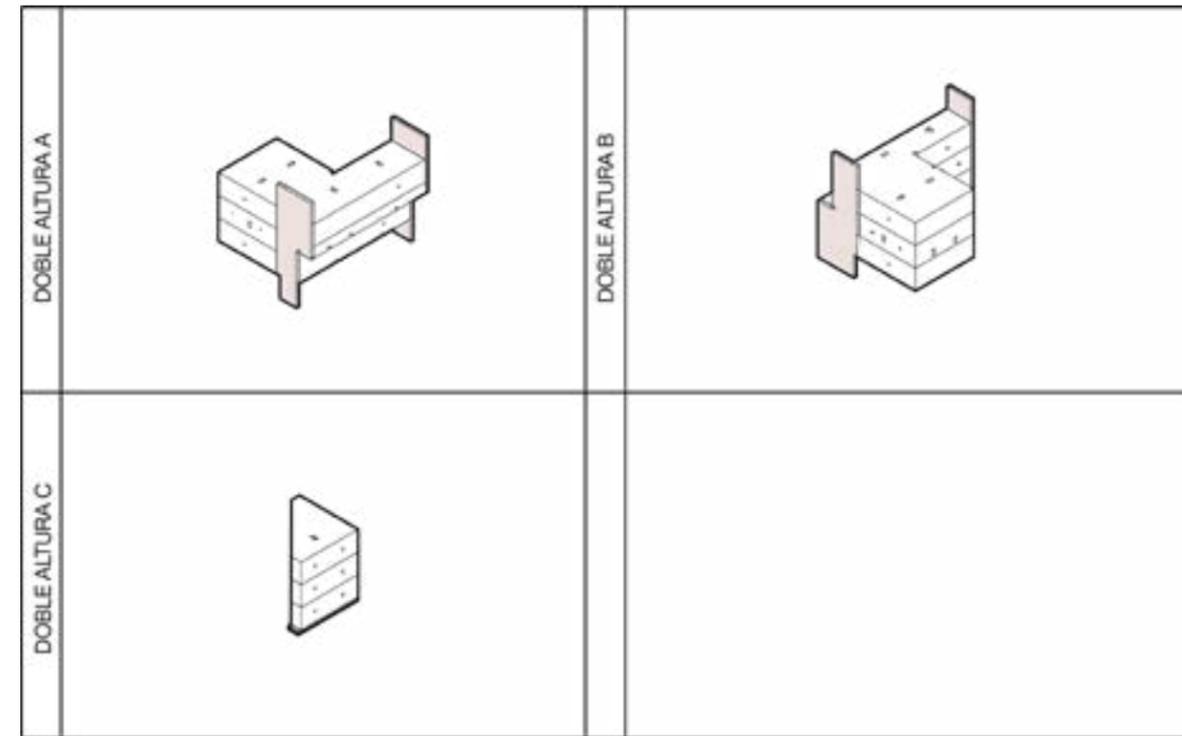


Fig. 212

Fig. 212 Catálogo de componentes constructivos extra. En primer lugar, se encuentran aquellos que conforman las esquinas, así como también los que permiten la unión entre distintos módulos. Junto con eso, se encuentran también los vanos utilizados para la disposición de puertas, con aperturas de 80 y 90 centímetros. Por último, se muestra cómo se deberían hacer los cortes para las instalaciones sanitarias. Fuente: Elaboración propia

8.2.2 Horizontales

El diseño de los componentes horizontales consta de una menor cantidad de categorizaciones, puesto que convencionalmente no existen demasiadas funciones distintas para este tipo de elementos. La diferenciación principal es entre componentes simples, dobles y triples, en consideración con su contraparte vertical. Cada uno de estos se divide en tres: la losa principal y dos conectores.

La losa principal es aquella que resuelve primeramente la distribución de cargas en los niveles de suelo del sistema constructivo. Su composición es similar al sistema VAP (ver cap. 3.1.2), en donde el material tipo espuma se encuentra confinado entre planchas de madera laterales. En este caso, el interior se compone de una serie de piezas de micelio dispuestas verticalmente, a través de las cuales también se insertan listones de madera a modo de refuerzo. En sus extremos cuenta con hendiduras, las cuales permitirán su anclaje a los muros.

COMPONENTES SIMPLES

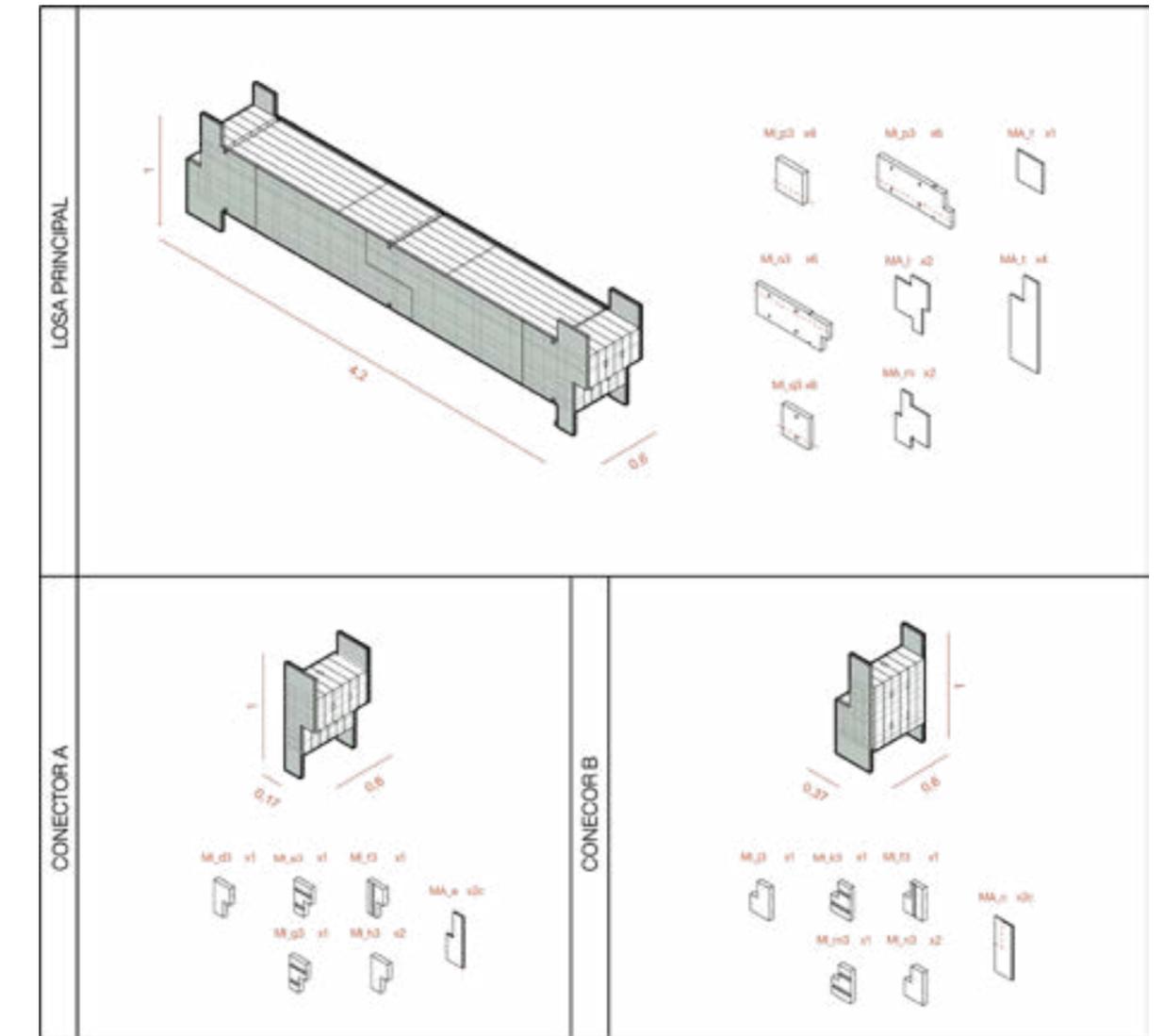


Fig. 213 Componentes horizontales simples. Se divide entre la losa principal y los conectores. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los conectores son las piezas que permiten la unión entre muros y losas. Se toma igualmente como referente el sistema VAP (ver cap. 3.1.2), en donde las piezas conectoras permitían este encuentro. Para efectos del presente diseño, se consideran dos conectores diferentes, uno con su hendidura en la parte inferior (conector A) y otro con su hendidura en la parte superior (conector B). Cada uno de estos puede ser ensamblado en uno de los extremos de la losa principal, así como también con elementos verticales.

La forma de los componentes permite que la losa principal sea duplicada, por ejemplo pasando de $A + LP + B$ a $A + LP + LP + B$. Junto con eso, también es posible la unión entre los conectores A y B, permitiendo aumentar la altura de un muro en un caso determinado. De esta manera, con tres componentes por categoría es posible resolver la estructura de losas del sistema constructivo.

En las figuras (ver Figs. 213 a 215) se puede observar cada uno de estos componentes

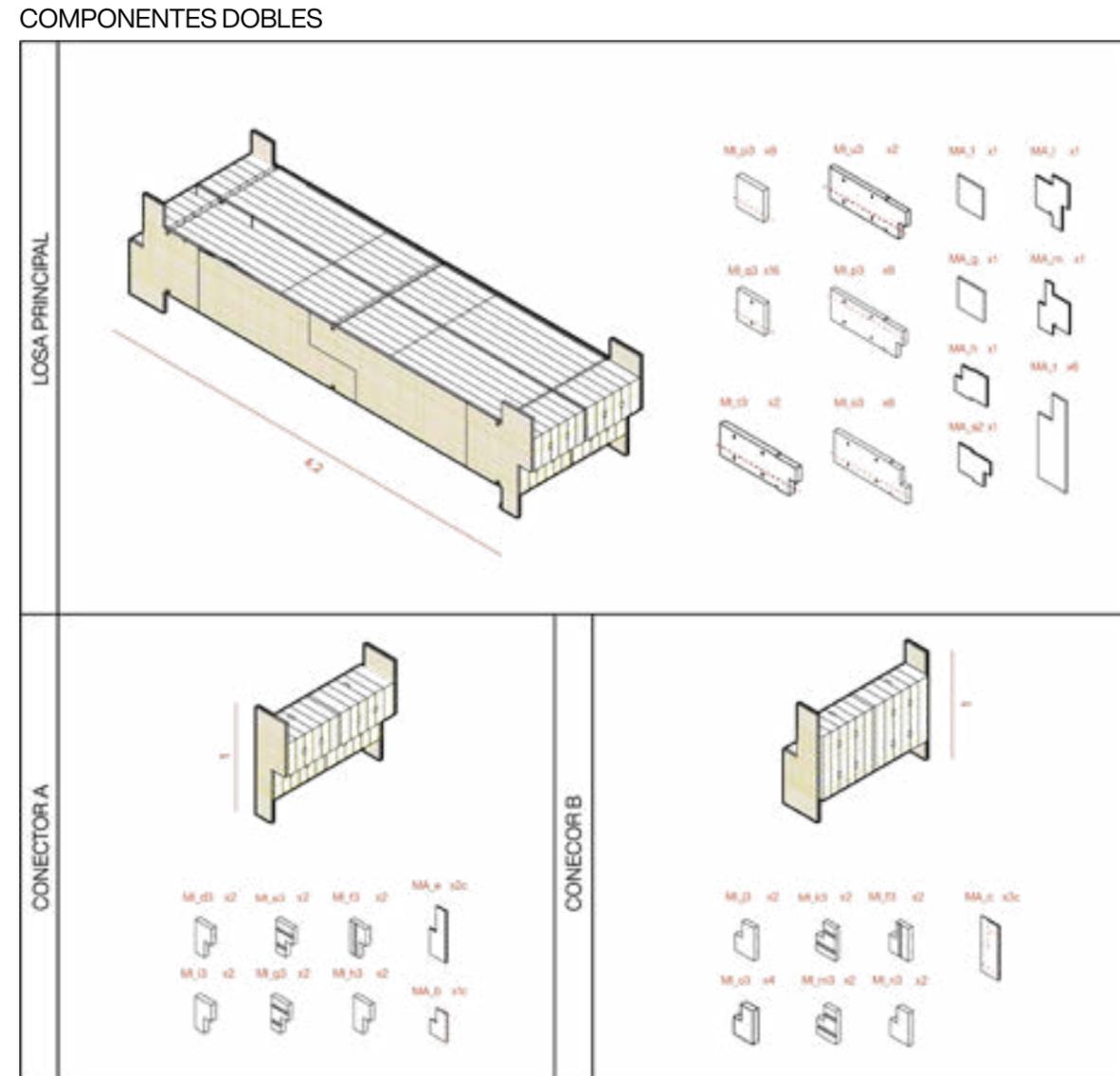


Fig. 214 Componentes horizontales dobles. Se divide entre la losa principal y los conectores. Fuente: Elaboración propia.

según su categoría. En el caso de los componentes simples, no se insertan placas verticales de madera en el interior más que en el centro de su superficie. Sin embargo, en los componentes dobles y triples se añaden planchas de madera de forma paralela al largo de la losa, reforzando la contención del componente.

El largo de los componentes de losa principal es de 4,2 metros, mientras que la altura es de 1 metro, resultando así mayor que el espesor de la losa. Esto es debido a que se consideran elementos que sobresalen de la losa en ambos sentidos, los cuales permiten la unión con los muros, que puede ser tanto por encima como por debajo de la losa. Estos elementos pueden ser cortados previamente o en obra según los requerimientos del diseño de vivienda, como se explica en la figura 216.

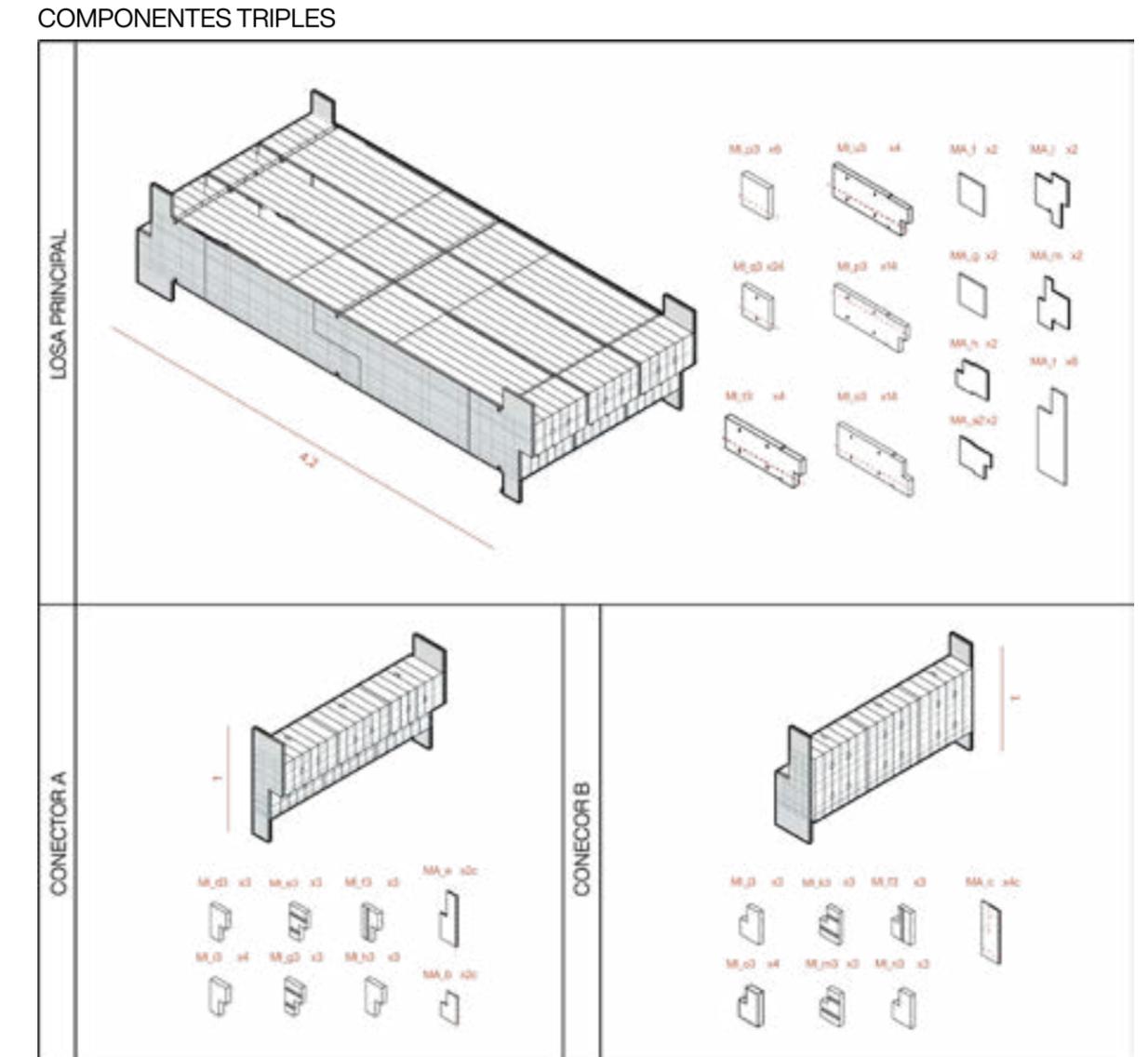


Fig. 215 Componentes horizontales triples. Se divide entre la losa principal y los conectores. Fuente: Elaboración propia.

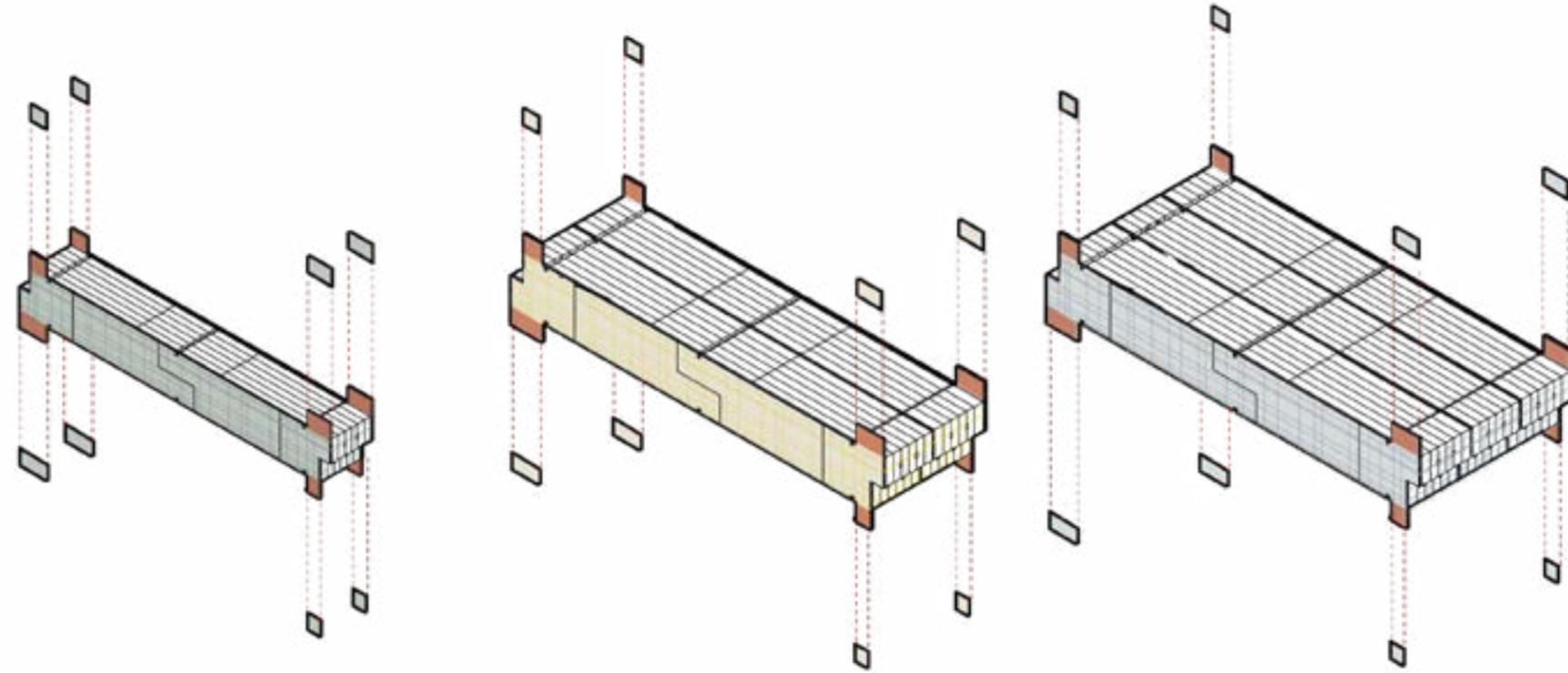


Fig. 216 *Funcionamiento de los componentes horizontales.* Fuente: Elaboración propia

8.3 Ensamblaje de componentes

El ensamblaje de componentes verticales tiene dos variantes: encaje y acoplamiento. El primero consiste en la unión a través del empalme de dos componentes por su forma, mientras que el segundo consiste en la unión utilizando elementos externos de madera. Ambos consideran la aplicación de tornillos como forma de ensamblar los componentes.

La figura 217 muestra la unión de distintos tipos de componentes a través de los dos métodos mencionados. En la estrategia de encaje se puede observar que los componentes de apertura poseen una hendidura, la cual permite reposar una pieza dintel que tienen los componentes de vano. Los otros dos ensamblajes que se muestran como estrategia de encaje representan las piezas de unión de los componentes verticales, las cuales al unirse forman una hendidura en donde se encajan las losas. Por otro lado, la estrategia de acoplamiento se lleva a cabo mediante la inserción de piezas de madera

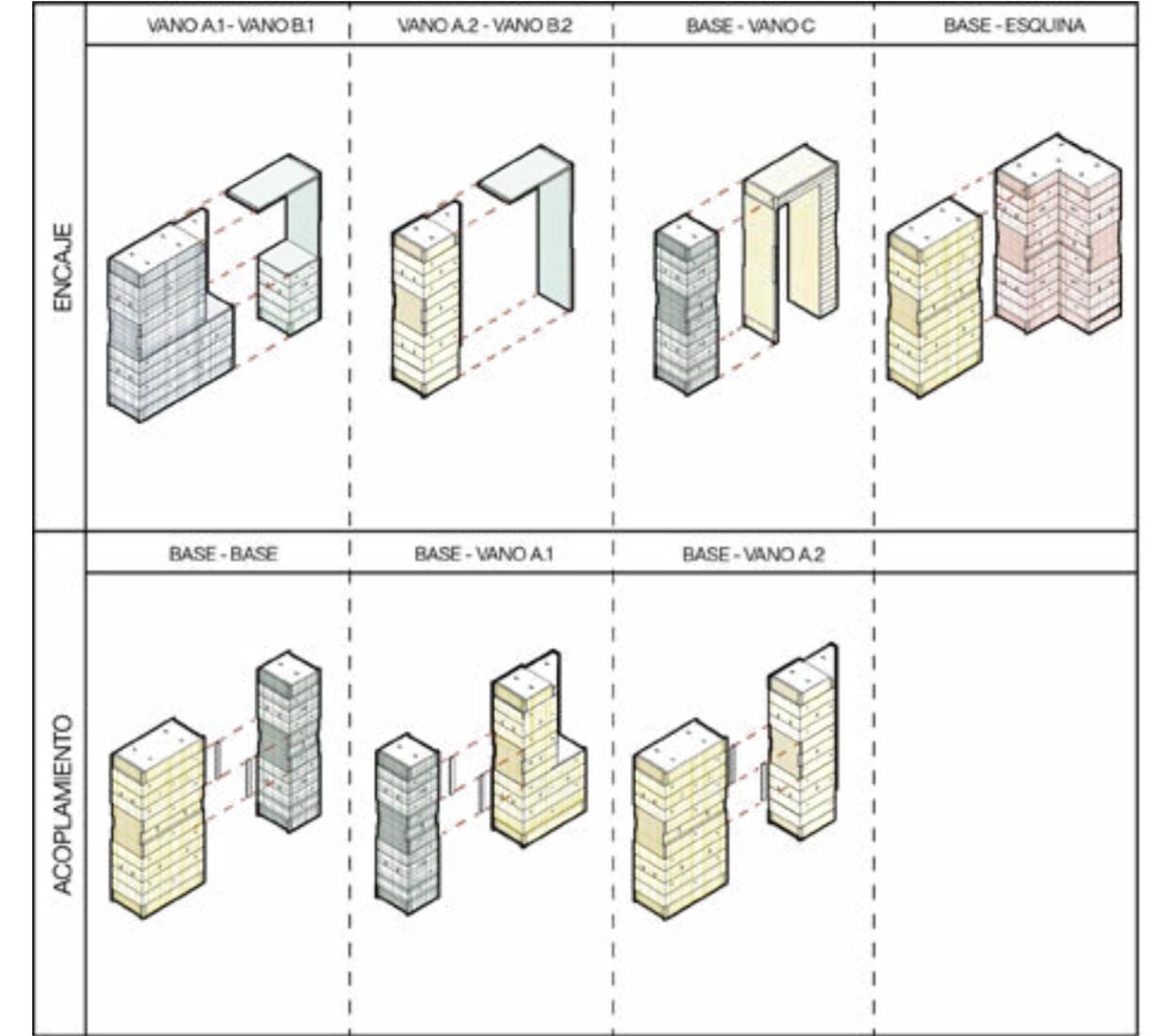


Fig. 211a 7

Fig. 217 *Ensamblaje de componentes diferenciados según encaje o acoplamiento.* Fuente: Elaboración propia

que se unen con las maderas laterales utilizadas para confinar.

El ensamblaje entre componentes horizontales y verticales, así como su adición, se ven representados en la figura 218. La composición en amarillo representa cómo van montados y ensamblados los componentes de muro y losa, en donde los conectores se unen a la losa principal y luego se ensamblan los muros, proceso que puede ser replicado para generar un segundo nivel. La composición en verde, por su parte, muestra cómo se ensamblan los componentes para generar la adición de estos. La unión entre componentes de losa se realiza mediante el acoplamiento de piezas de madera.

La llegada al suelo (ver Fig. 219) considera primeramente un entramado de madera con listones de dimensiones 2x8". Las cargas luego pasan a unos dados de hormigón para ser transferidas al suelo. Cabe mencionar que esta llegada al suelo puede variar dependiendo de la superficie, con alternativas como elementos lineales de hormigón.

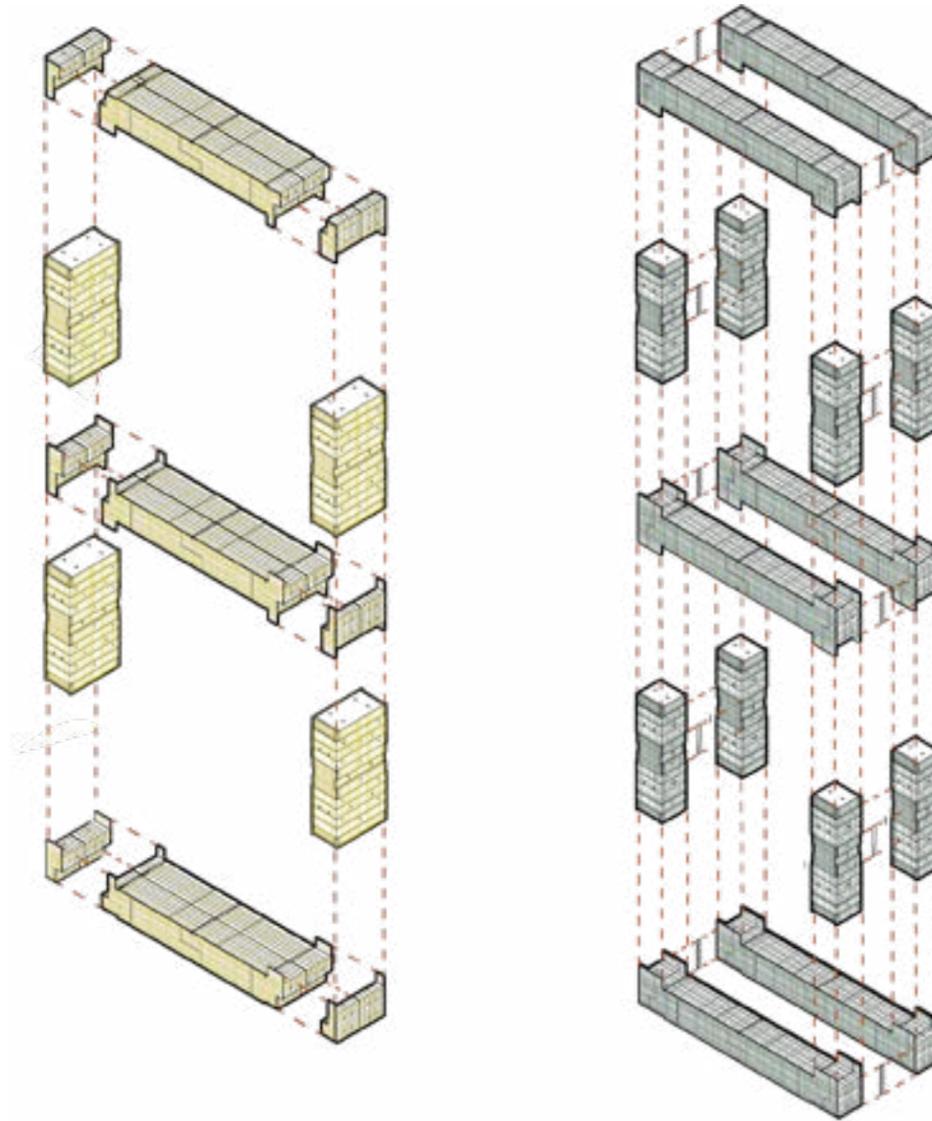


Fig. 218 Ensamblaje de componentes. Fuente: Elaboración propia.

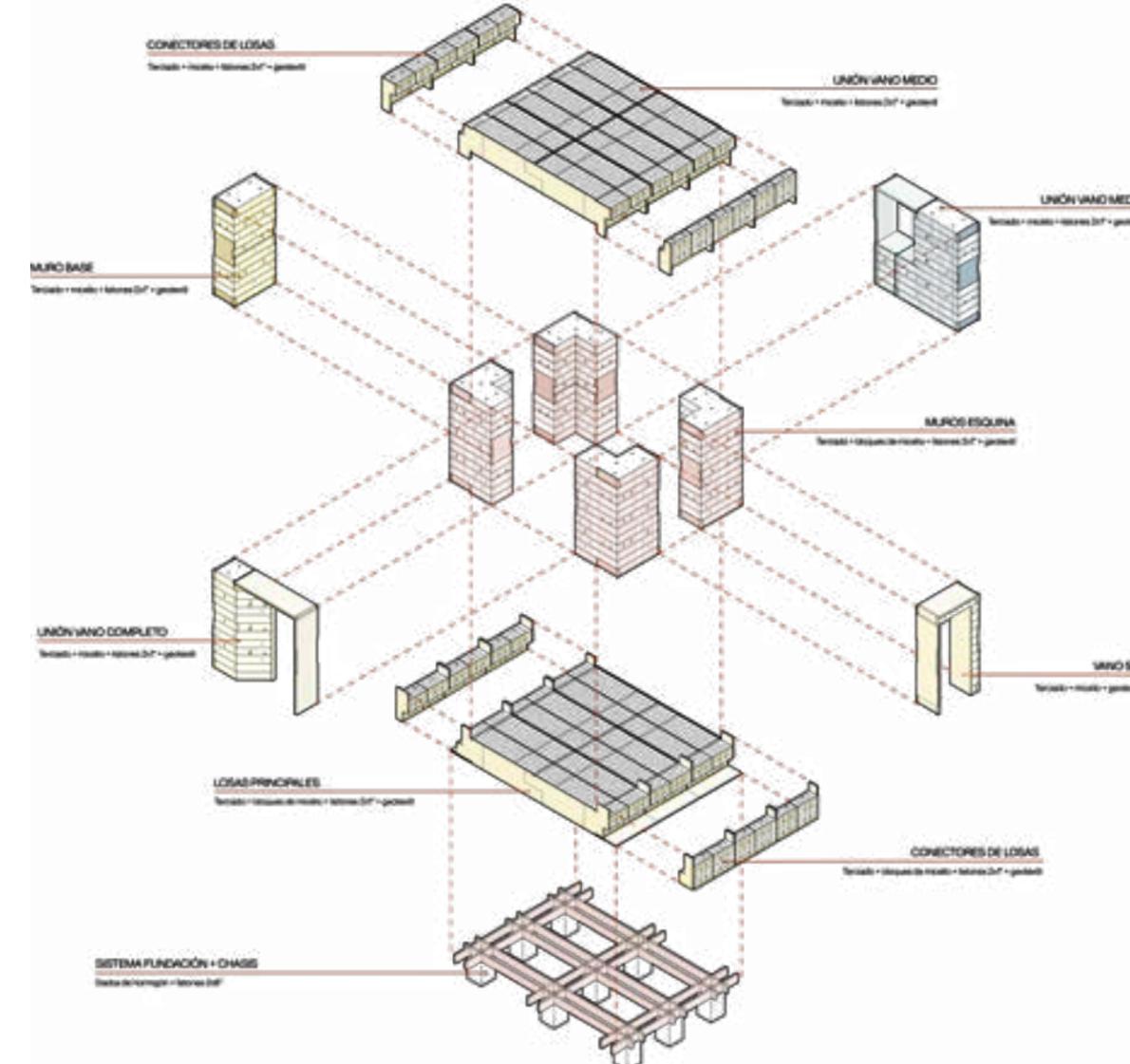


Fig. 219 Axonométrica explotada del sistema constructivo. Se presenta el principio de ensamblaje del sistema constructivo, considerando las piezas de losa con sus conectores, los muros y los vanos. En la parte inferior se puede apreciar el sistema de fundación más chasis que sostiene el sistema, el cual está compuesto por dados de hormigón y un entramado de listones de madera de dimensiones 2x8". Los dados de hormigón pueden ser reemplazados por elementos lineales de hormigón para traspasar las cargas de manera más distribuida a lo largo de la superficie de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Armado de módulos

Para esta etapa, se tomarán en cuenta las medidas modulares diseñadas en el capítulo anterior (ver cap. 7.3.2). Se obtienen entonces cuatro módulos:

- **Módulo A:** 15,12 m².
- **Módulo B:** 8,64 m².
- **Módulo CI:** 4,32 m².
- **Módulo CII:** 2,88 m².

Cada módulo estará inscrito en la grilla de 60x60 (ver cap. 8.1) y será conformado por los componentes verticales y horizontales diseñados. La figura 221 muestra el montaje de paso a paso de estos elementos, utilizando componentes verticales base, los cuales pueden ser intercambiados por aperturas y vanos.

Cabe mencionar que los dos módulos de menor tamaño se conforman mediante la división del módulo medio, para lo cual se realizan cambios en la utilización de los componentes.

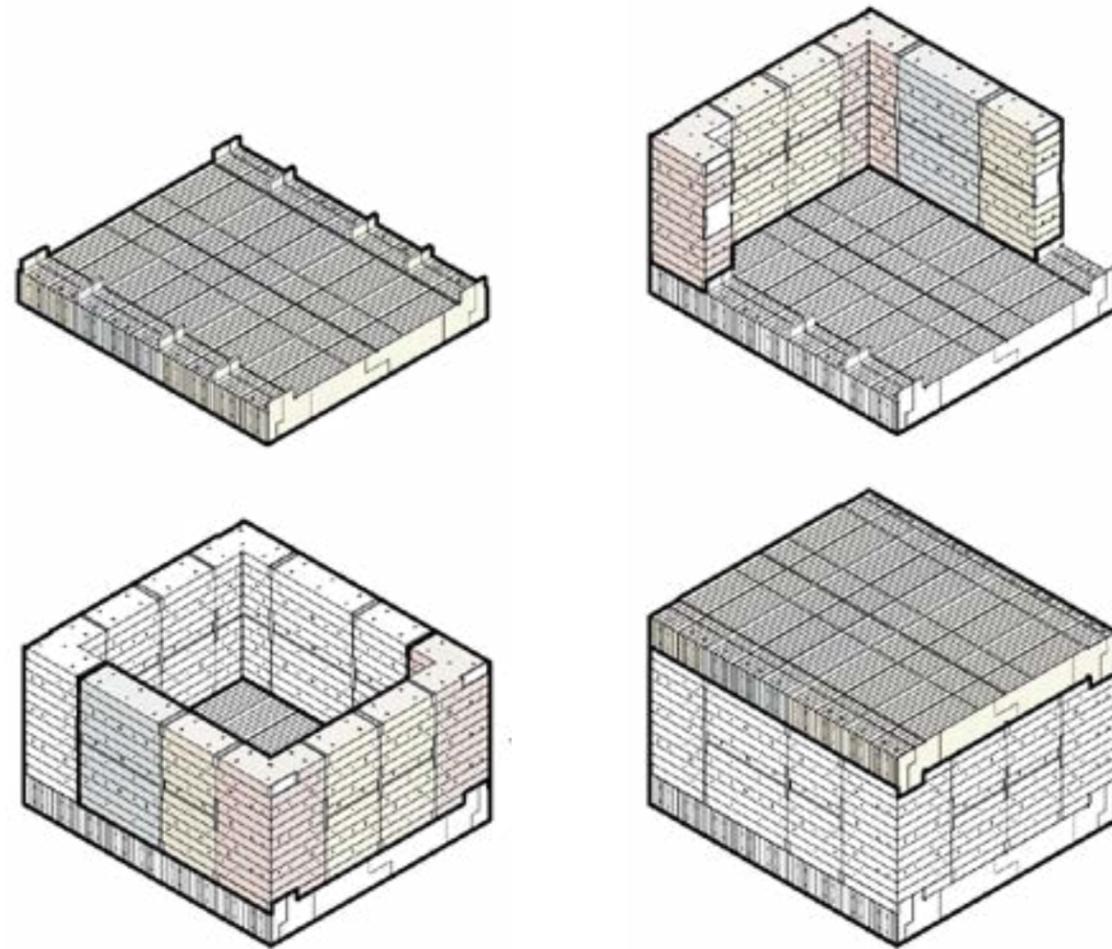


Fig. 220

Fig. 220 Ejemplo de módulo constructivo.
Fuente: Elaboración propia.

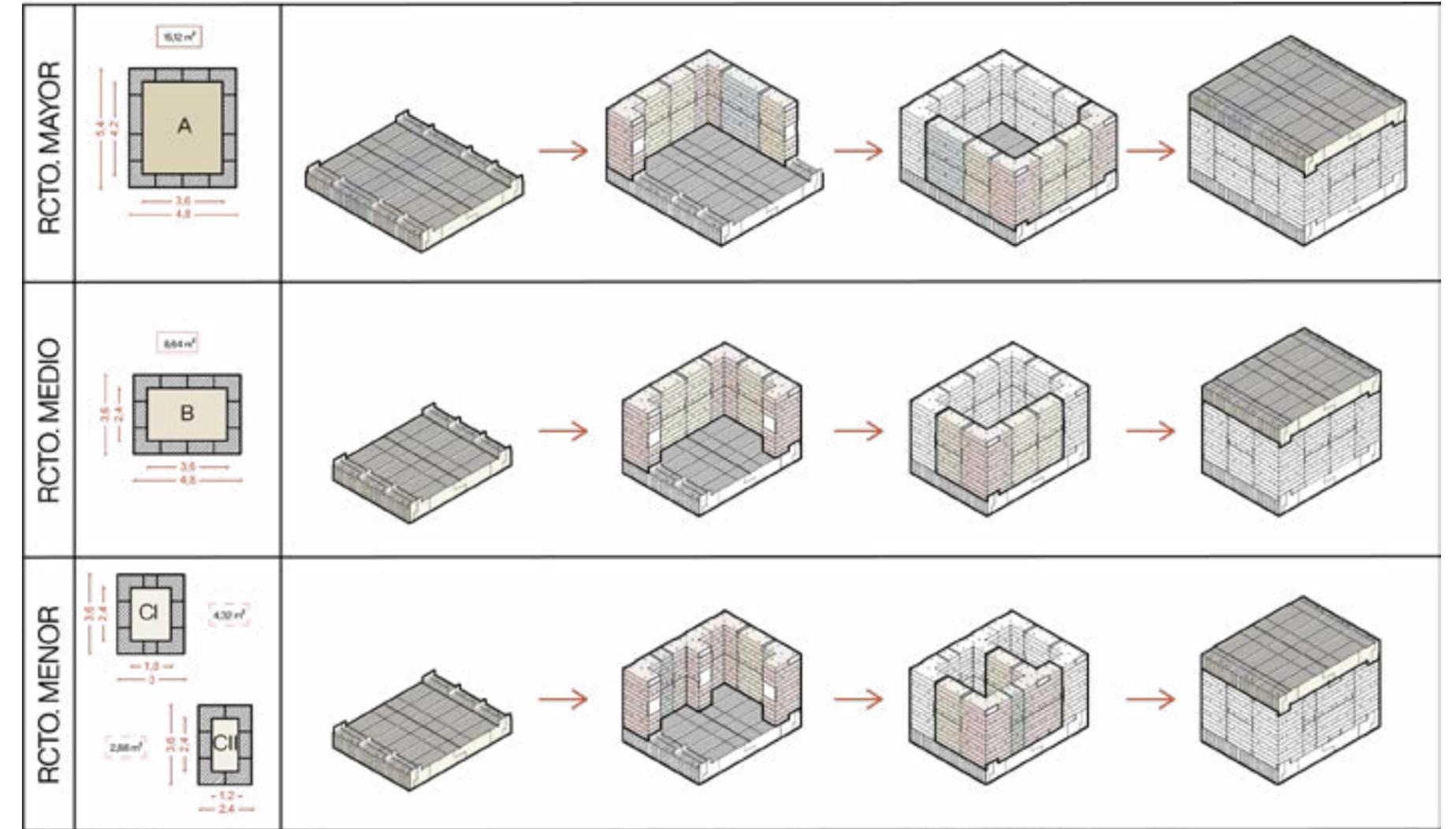


Fig. 221

Fig. 221 Construcción de módulos paso a paso según recintos.
Fuente: Elaboración propia

8.5 Vanos y uniones entre módulos

Los módulos presentados en la sección anterior pueden ser modificados con la finalidad de ensamblarse entre ellos. Para ello, se pueden reemplazar y extraer componentes según el esquema presentado en la figura 222. En la primera columna se observa la estrategia para unir dos módulos mediante el cambio de un componente base doble a uno de esquina triple. En la segunda columna se muestra que al interior, en el eje que une ambos módulos, se puede extraer un componente base con el propósito de generar un vano. Por último, en la tercera columna se presenta la estrategia para realizar vanos exteriores, en donde se pueden intercambiar componentes base por componentes de apertura y vanos

La unión de módulos también considera las losas, en donde una de menor tamaño puede ser reemplazada por otra mayor, así como también se utiliza la estrategia de A+LP+B a A+LP+LP+B (ver Fig. 223).

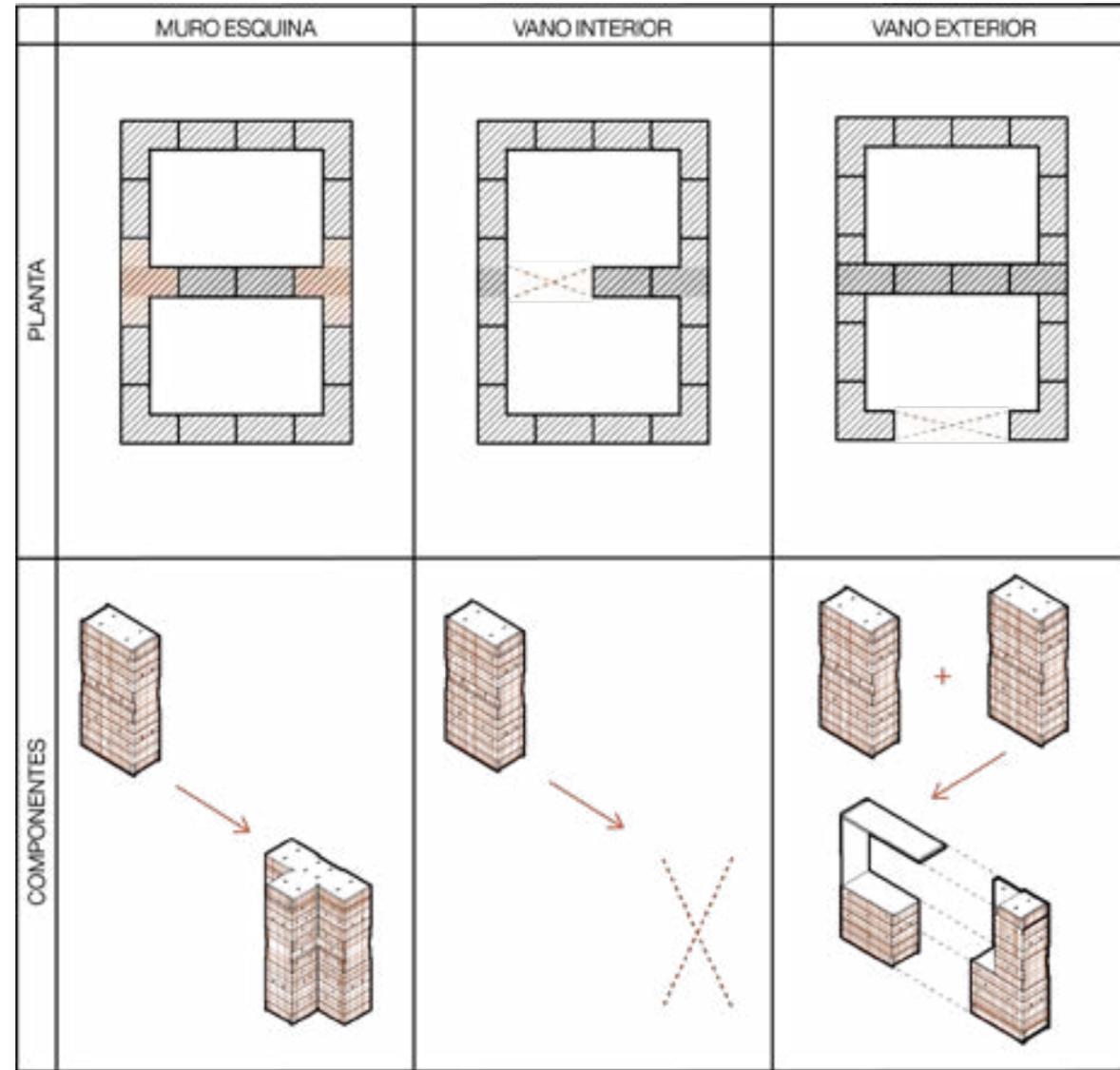


Fig. 222 Creación de vanos en los módulos.
Fuente: Elaboración propia

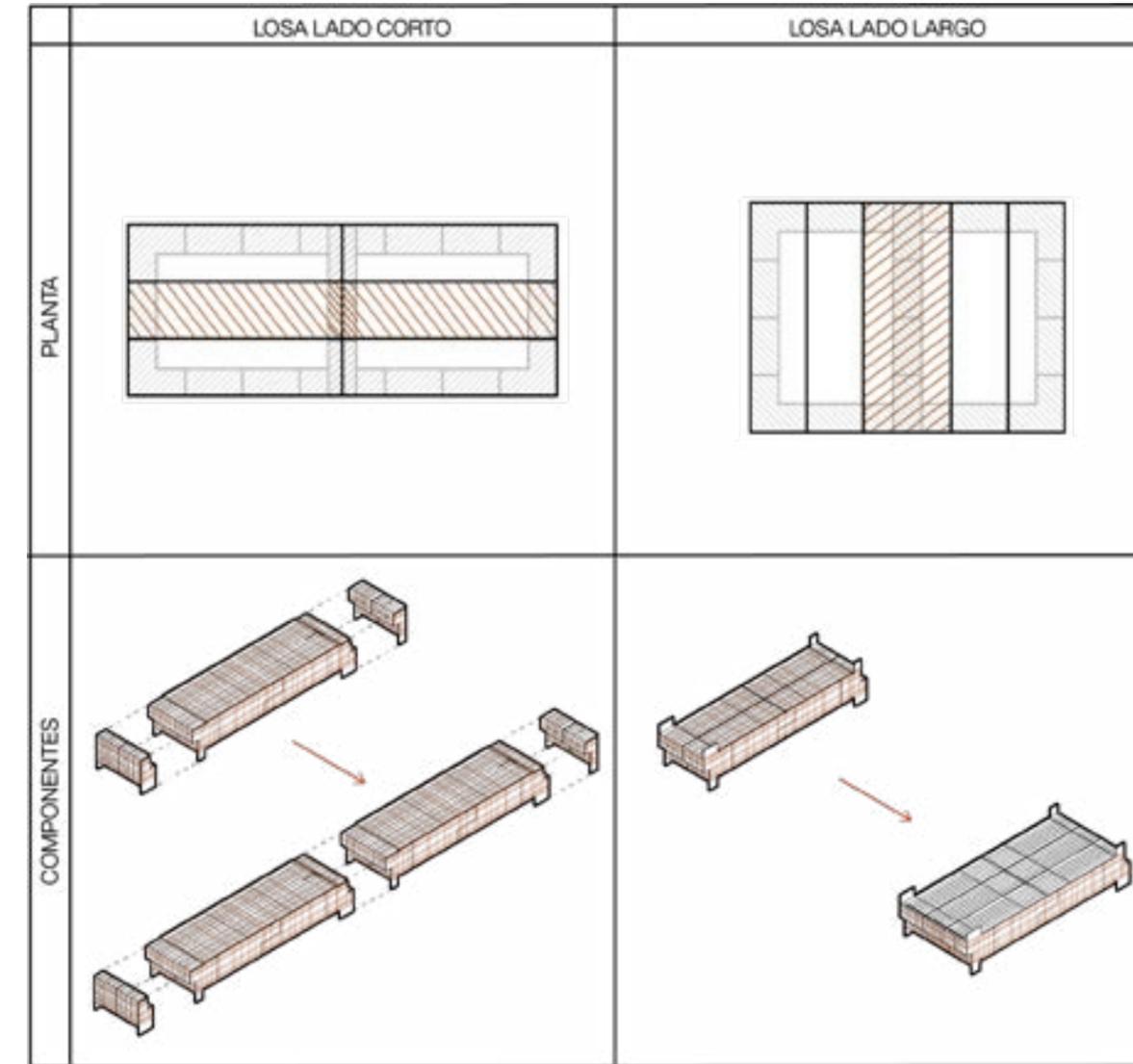


Fig. 223 Estrategias utilizadas en las losas para la unión de módulos. En la primera columna se muestra cómo se puede unir la losa en su lado corto mediante la utilización de la estrategia que pasa de una unión Conector A + Losa Principal + Conector B a una unión Conector A + Losa Principal + Losa Principal + Conector B. Por otro lado, en la segunda columna se observa cómo se pueden unir dos módulos intercambiando componentes de losa doble por componentes de losa triple.

Fuente: Elaboración propia.

8.6 Paso a paso constructivo

La figura 224 muestra un diseño tipo del sistema, en donde se coloca un módulo sobre otro, que sirve para ejemplificar visualmente el proceso constructivo.

Como se observa, la construcción *in situ* comienza con la disposición del sistema de fundación y chasis, que dará soporte a la estructura. Se disponen los conectores y las losas principales, sobre las cuales irá la primera corrida de muros. Luego, se repite el proceso con las losas y muros en el segundo nivel hasta llegar a las losas que componen la techumbre.

Los pasos 11 y 12 corresponden a estrategias que se decide implementar una vez es montado el sistema y que corresponde a la contención mediante malla ACMA (ver caps. 5.1.2 a 5.31), la cual es cubierta con estuco. Asimismo, para los suelos interiores se considera la aplicación de una capa de hormigón liviano.

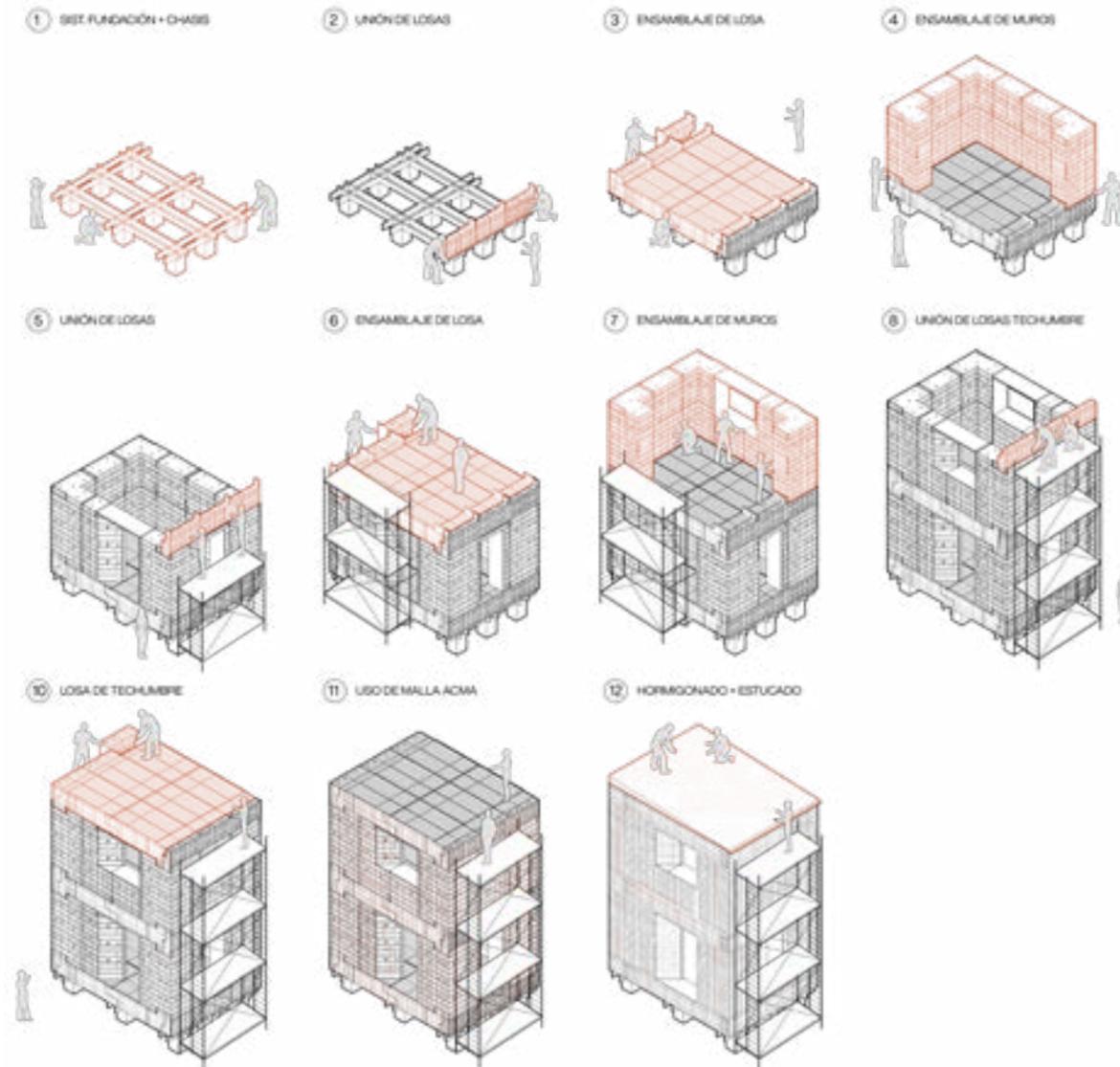


Fig. 224 Paso a paso para realización del sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.

8.7 Detalles constructivos

Además de los pasos constructivos presentados en la sección anterior, se implementan otras estrategias en una escala más detallada. En primer lugar, para la coronación de techumbre se considera la disposición de hormigón liviano con una pendiente del 20%, sobre la cual se inyecta poliuretano proyectado y se reviste con planchas de zinc. Junto con eso, se considera una canaleta de zinc para aguas lluvias y aislantes hidrófugos. Luego, para los pisos se considera una capa de hormigón liviano, sobre la cual se dispondrá la terminación de piso y los guardapolvos. Se instalarán también las soluciones eléctricas en los espacios definidos para ello. Por último, la unión entre el entramado de madera para chasis y los dados o elementos de hormigón se realizará mediante pletinas metálicas.

Cabe recordar que las uniones madera-madera de los componentes serán realizadas con tornillos, para lo cual se utilizan aquellos de cabeza avellanada.

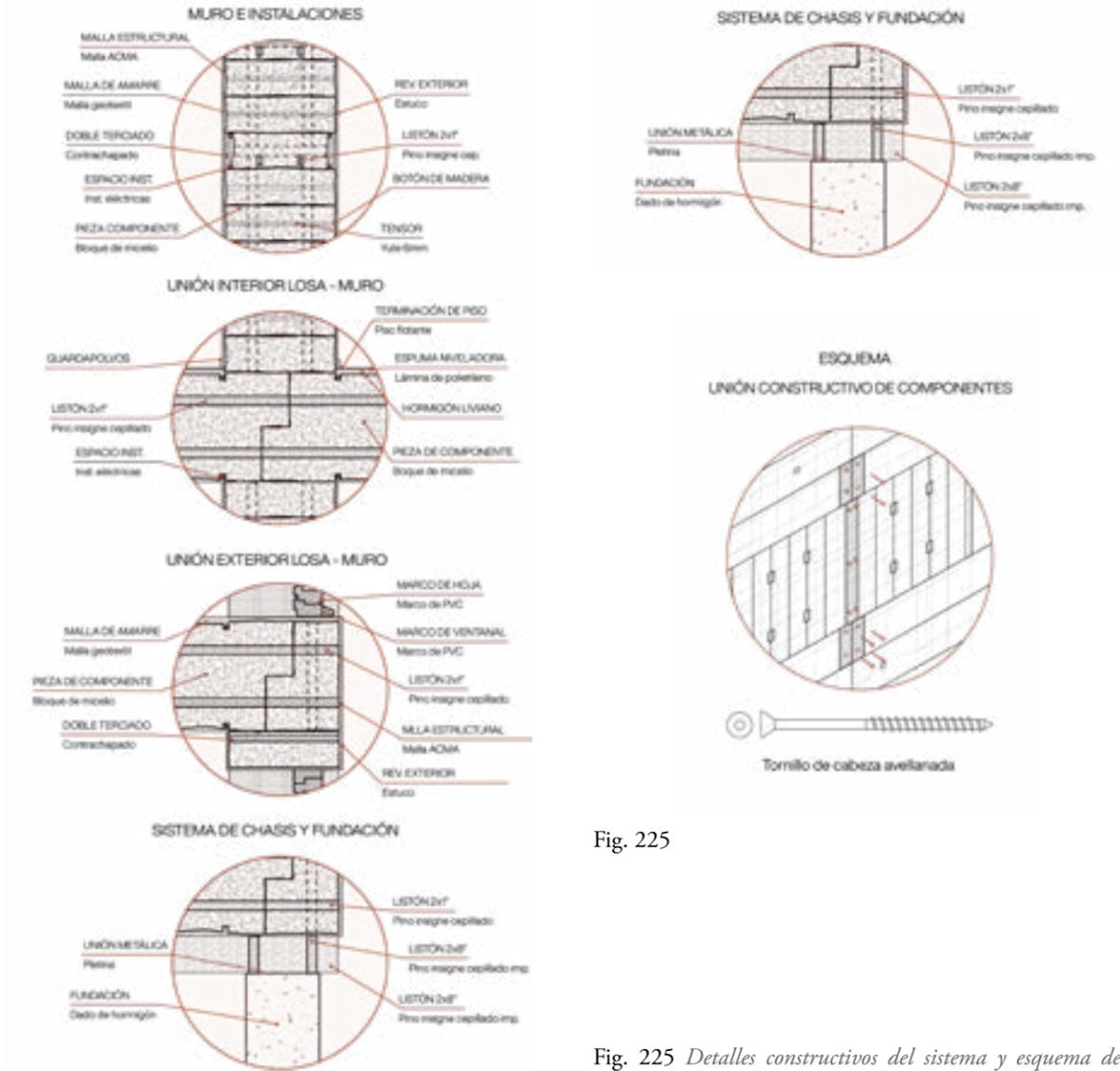


Fig. 225

Fig. 225 Detalles constructivos del sistema y esquema de unión constructiva de componentes. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 9. Propuestas de Arquitectura

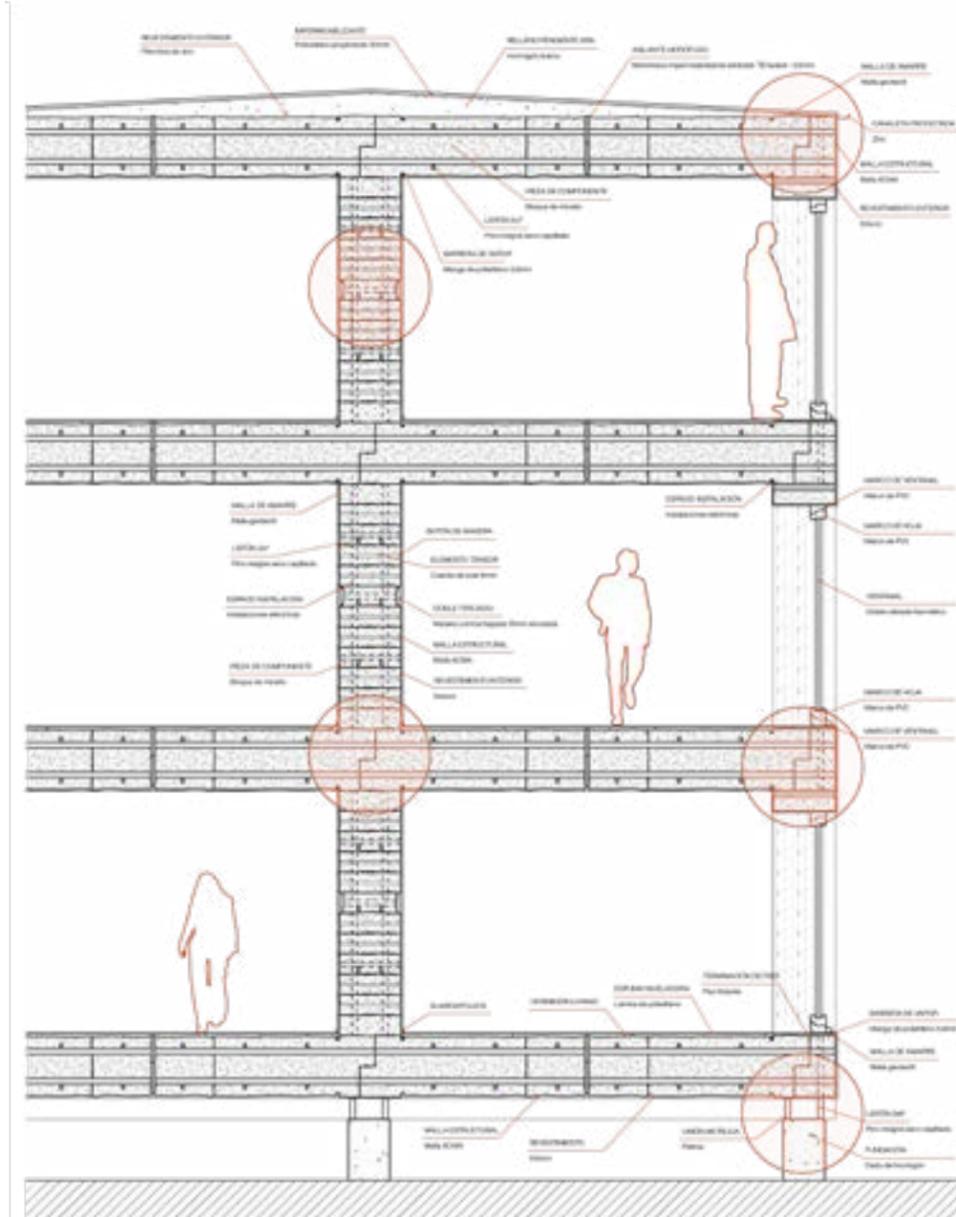


Fig. 226 Escantillón constructivo del sistema ejemplificado en el desarrollo de tres pisos. Esta imagen permite visualizar los detalles constructivos del sistema una vez ensamblado y finalizado. Se incluyen detalles de uniones, terminaciones de muros y pisos, ventanas, así como también la consideración de barreras de vapor y aislantes hidrófugos.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 227 Editado. Corte del Museo Soane. Fuente: Cryptic.K.

9.1 Construir sobre construido

Como estrategia general de los proyectos a desarrollar se considera la construcción sobre lo construido. Este es un concepto que el estudio francés de arquitectura Lacaton & Vassal, ganadores del Pritzker el año 2021, ha materializado en sus proyectos, utilizando el potencial de edificaciones existentes sobre las cuales se proyecta y construye. Se reivindica entonces el uso del contexto y lo existente como algo activo que puede ser reanimado y transformado para mejorar la calidad de vida de las personas (Druot, 2007). La influencia de esta estrategia se ha trasladado al contexto chileno mediante el proyecto interdisciplinar de la Pontificia Universidad Católica denominado PLUS Chile, el cual busca el mejoramiento de las viviendas colectivas en altura. Sus valores promueven un rechazo a la demolición de los edificios y conjuntos de vivienda existentes, así como también la resistencia a la falta de calidad y diversidad de los espacios habitacionales. Su modo de operar tiene como objetivo el trabajo sobre lo existente

mediante estrategias de adición, sustracción y transformaciones puntuales. Se destaca el trabajo de densificación y el mejoramiento cualitativo de viviendas existentes (MINVU et al., s.f.).

Justamente lo anterior deriva en una mirada proyectual que incentiva la utilización y transformación de lo existente con el fin de integrar nuevos usos en beneficio de la ciudad. A esto se le suma la potencial densificación que puede ser implementada, entendiendo este fenómeno como una cualidad positiva en el desarrollo de la ciudad y sus habitantes, en tanto que permite una utilización más eficiente del espacio urbano y potencia la movilización mediante transporte público, además de acortar las distancias y el tiempo de desplazamiento (López, 2023). Esta compacidad del tejido urbano puede concretarse mediante la construcción de vivienda en azoteas de conjuntos habitacionales, estrategia que ha sido proyectada por el equipo de PLUS Chile y que ha tenido repercusiones en su exploración a nivel académico. La virtud de esta operación

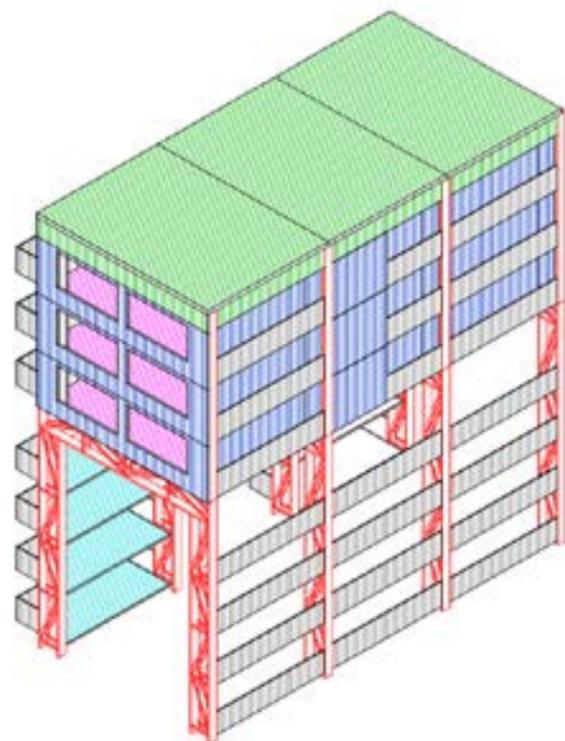


Fig. 228

Fig. 228 *Componentes constructivos para densificación Conjunto Inés de Suárez.*
Fuente: Marisela Rojas Sáez, 2019.

proyectual consiste en una reevaluación del valor de suelo de viviendas colectivas establecidas, en tanto poseen un acceso privilegiado de la ciudad debido a su ubicación. Junto a esto, se abre la posibilidad de actualizar los estándares de habitabilidad de conjuntos construidos bajo otros modelos de diseño (Rojas, 2019).

Teniendo en cuenta la potencialidad del uso de conjuntos de vivienda colectiva existentes como espacios que pueden dar cabida a la densificación positiva de la ciudad, los proyectos que se desarrollarán en este capítulo serán emplazados en azoteas de conjuntos urbanos consolidados. El propósito es desarrollar proyectos de vivienda colectiva que busquen densificar la ciudad mediante el uso del sistema constructivo prefabricado y modular propuesto, con lo cual se busca explorar también la integración de la utilización del micelio en un contexto de arquitectura. Se destaca el uso de este biomaterial en su aporte de ligereza al sistema constructivo, reduciendo la masa total que se posicionará sobre las azoteas.

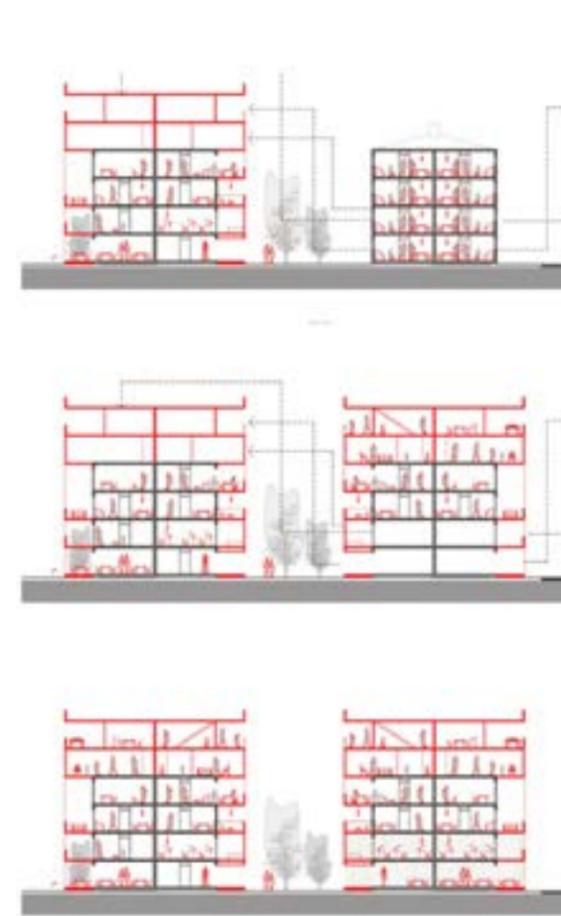


Fig. 229

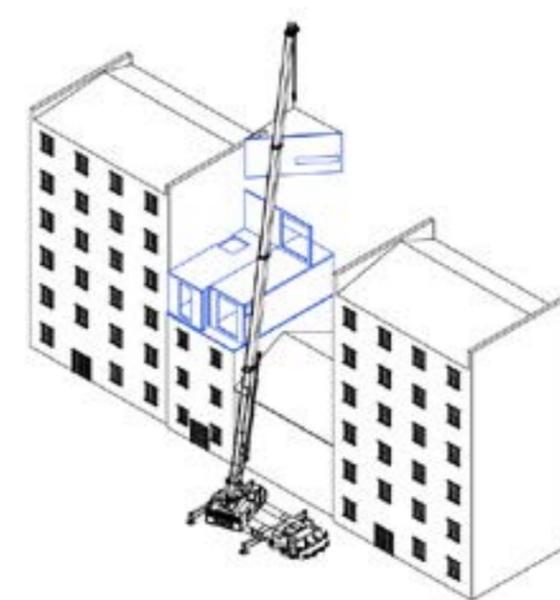


Fig. 230

Fig. 229 *Soluciones y potencialidades proyecto Santa Olga.*
Fuente: Material entregado por el taller. Piloto Corvi, presentación MINVU proyecto Santa Olga.

Fig. 229 *Construcción sobre lo construido. Ilustración simplificada del proceso de construcción de la ampliación de una vivienda en París, Surélévation Rue Delbet.*
Fuente: Marisela Rojas Sáez, 2019.

9.2 Referentes arquitectónicos

El principio de diseño basado en el sistema constructivo diseñado tomará como referentes obras de arquitectura de diversos períodos y programas. Sin embargo, cada uno de estos referentes permitirá generar una base de diseño según sus características propias, las cuales pueden ser extrapoladas a las cualidades del sistema constructivo propuesto. Los referentes que se consideran para el diseño son:

- Museo Soane - Sir John Soane (1813)
- Inmueble Villa - Le Corbusier (1922-5)
- Termas de Vals - Peter Zumthor (1996)
- Casa N - Sou Fujimoto (2006-8)

Cada referente será considerado en base a dos conceptos de arquitectura capaces de ser utilizados en el diseño de vivienda colectiva. Estos conceptos refieren a estrategias y operaciones que dan forma a los referentes y permiten analizarlos desde esa perspectiva.

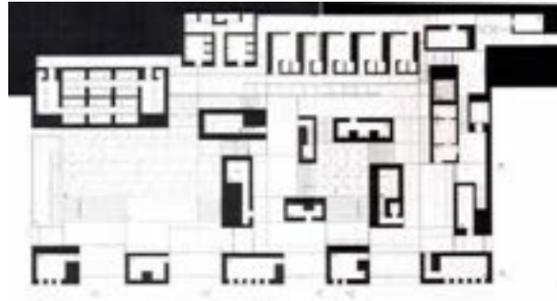


Fig. 231

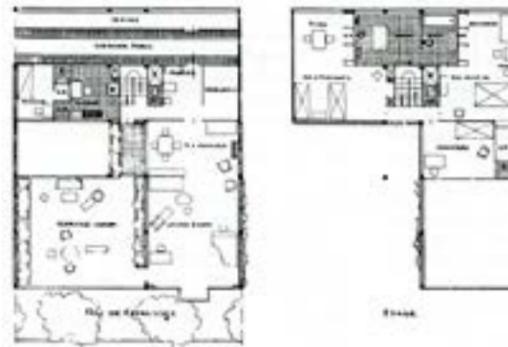


Fig. 232

Fig. 231 Planta baja de las Termas de Vals - Peter Zumthor.
Fuente: Pushpull Bar en Urbipedia.

Fig. 232 Plantas de la Inmueble Villa - Le Corbusier.
Fuente: Casa Abierta.

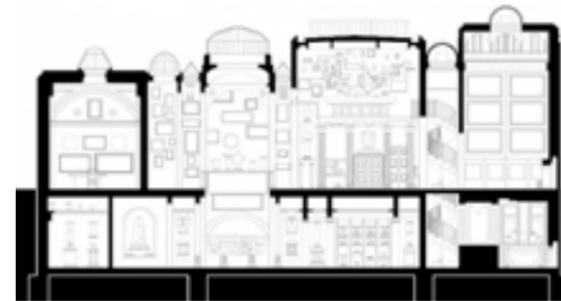


Fig. 233

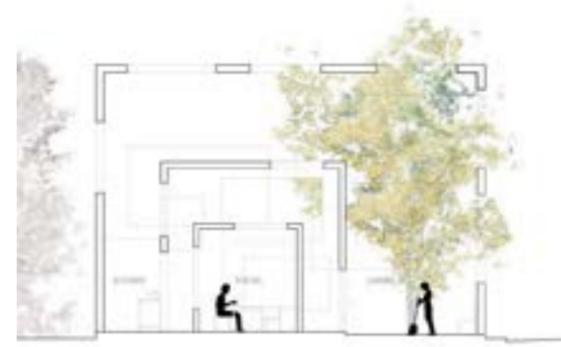


Fig. 234

Fig. 233 Corte del Museo Soane.
Fuente: Cryptic.K.

Fig. 234 Corte de la Casa N - Sou Fujimoto.
Fuente: ArchDaily.

9.2.4 Museo Soane - John Soane

En el siglo XIX, el arquitecto inglés Sir John Soane convirtió tres casas de Londres en una casa-museo con una gran colección de piezas de arte, arquitectura y antigüedades. El afán por ampliar su colección resultó en la obtención de estas tres casas, de las cuales buscaba conectar todo entre sí. El conjunto de objetos se mostraba de manera poco ortodoxa, en donde se mezclaban distintos estilos y épocas de manera caótica (Muñoz, 2019).

Se extraen de este proyecto las estrategias de utilización de puntos de vista y la abertura de vanos. La primera guarda relación con las vistas que se proporcionan dentro del museo, en donde depende el lugar en que te posiciones los objetos que puedes visualizar, jugando con las alturas y profundidades. La segunda estrategia complementa a la primera, en tanto que este juego de perspectivas puede ser logrado a través de los vanos.



Fig. 235



Fig. 236

Fig. 235 Vista interior del Sir John Soane's Museum.
Fuente: British Tours.

Fig. 236 Biblioteca de Sir John.
Fuente: Visit London.

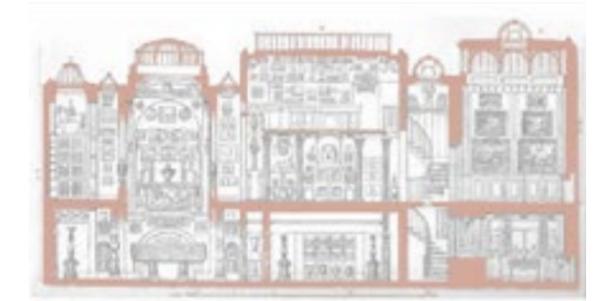


Fig. 237

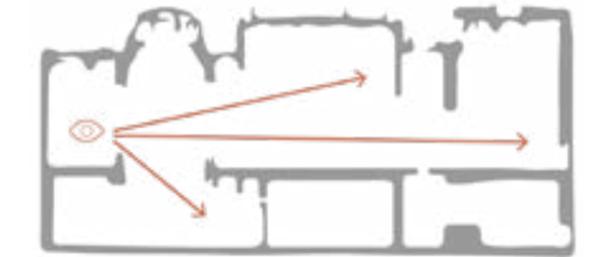


Fig. 238

Fig. 237 Corte del Museo.
Fuente: Editado.British Tours.

Fig. 238 Corte del Museo con referencia a las vistas.
Fuente: Elaboración propia.

9.2.3 Inmueble Villa - Le Corbusier

En 1922, Le Corbusier presentó un proyecto que buscaba explorar la sociabilidad de las viviendas: las Inmuebles-Villa. Considerada como un punto medio entre las residencias burguesas y los proyectos colectivos socialistas, Las Inmueble-Villa se disponían en cinco piezas superpuestas con unas medidas de 15 metros de profundidad, 12 de fachada y 5,2 metros de altura. Cada una contaba con dos plantas, dentro de las cuales se dejaba espacio para terrazas de doble altura. El arquitecto presentó posteriormente una versión más amplia de estas viviendas, emplazadas en un conjunto habitacional en altura (Casa Abierta, s.f.).

Los conceptos que se destacan de este proyecto son el empleo de terrazas, es decir, de patios integrados a la vivienda en altura, y la doble altura, la cual puede ser integrada tanto en las terrazas como en el interior de las viviendas, jugando con distintas alturas en un mismo conjunto.

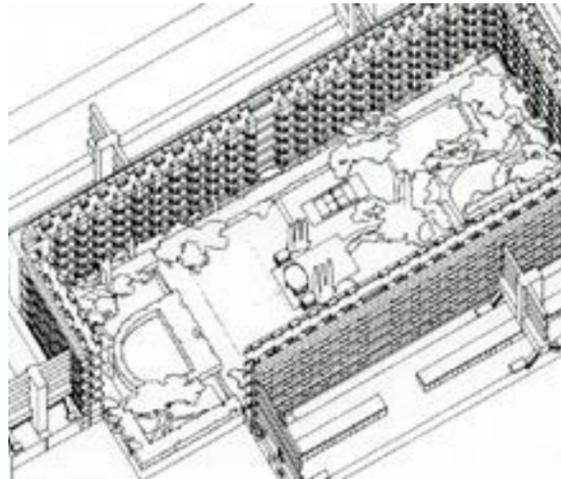


Fig. 239

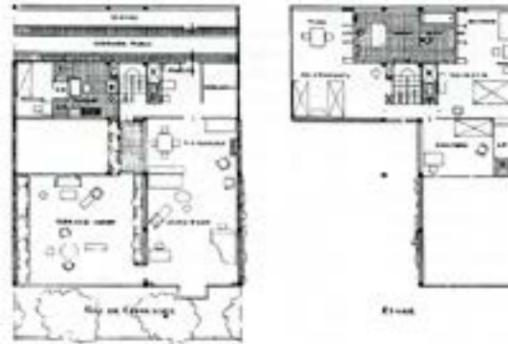


Fig. 240

Fig. 239 *Vista del proyecto.*
Fuente: Casa Abierta.

Fig. 240 *Planta del proyecto.*
Fuente: Ibíd.

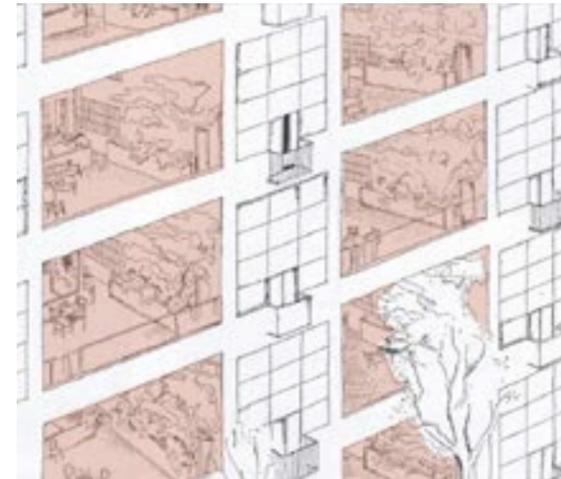


Fig. 245

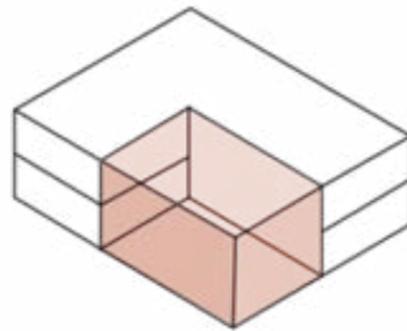


Fig. 246

Fig. 245 *Vista exterior de la Inmueble Villa - Le Corbusier.*
Fuente: Editado.Casa Abierta.

Fig. 246 *Planta del proyecto.*
Fuente: Elaboración propia.

9.2.1 Termas de Vals - Peter Zumthor

En la pequeña localidad de Vals se encuentra un conjunto hotelero diseñado en el año 1996 por el ganador del premio Pritzker Peter Zumthor. Emplazado en un paisaje de praderas y montañas, la estructura de las Termas de Vals se posiciona como un elemento monolítico que descansa parcialmente en la ladera. Su diseño combina lo masivo de su material, el hormigón, con la delicadeza del paso de la luz mediante vanos que parecen haber sido excavados. A su vez, la estructura está diseñada de acuerdo con una cuadrícula, desde la cual surgen volúmenes de líneas rectas de distintas alturas (Martín, 2021).

De este proyecto se destacan los conceptos de masividad, en tanto una cualidad particular del material utilizado, así como la operación de excavar vanos dentro de estos elementos masivos, permitiendo su habitabilidad y el paso de la luz.



Fig. 247



Fig. 248

Fig. 247 *Vista exterior de las Termas de Vals.*
Fuente: Fernando Guerra en ArchDaily.

Fig. 248 *Vista interior de las Termas de Vals.*
Fuente: Fabrice Fouillet en Tecne.

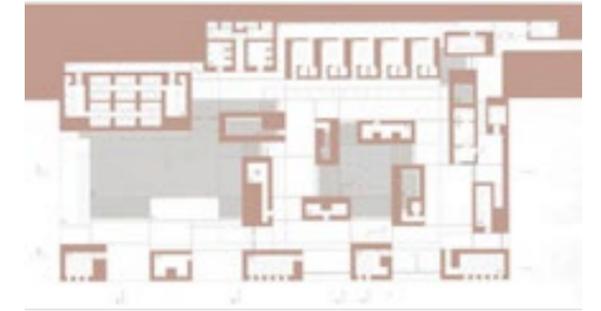


Fig. 249

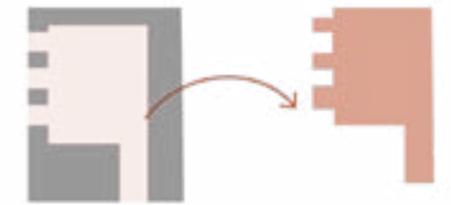


Fig. 250

Fig. 249 *Planta baja de las Termas de Vals.*
Fuente: Fernando Guerra en ArchDaily.

Fig. 250 *Concepto de excavar vanos.*
Fuente: Elaboración propia.

9.2.2 Casa N - Sou Fujimoto

El grupo Sou Fujimoto Architects llevó a cabo entre los años 2006 y 2007 el diseño de una casa para dos personas y un perro en Oita, Japón. Su principio de diseño se basa en la gradualidad que existe entre la calle y el interior de la vivienda, la cual no se representa con un muro convencional, sino a través de *cáscaras* que juegan con las sensaciones de distancia con respecto al exterior. La vivienda se compone de tres de estas cáscaras, dentro de las cuales la primera genera un patio, la segunda una espacialidad intermedia y la última un espacio íntimo y más protegido (Pastorelli, 2009).

Los conceptos que se extraen de este proyecto son los de variable espacial, la cual considera gradualidades en el paso de un lugar a otro, y la variable interior-exterior, en la cual se hace un juego de vanos que permiten conectar de distintas formas dos lugares, ocasionando diversas relaciones entre los dos espacios.



Fig. 251



Fig. 252

Fig. 251 Vista exterior del proyecto Casa N.
Fuente: Iwan Baan en ArchDaily.

Fig. 252 Vista interior de la vivienda.
Fuente: Ibíd.

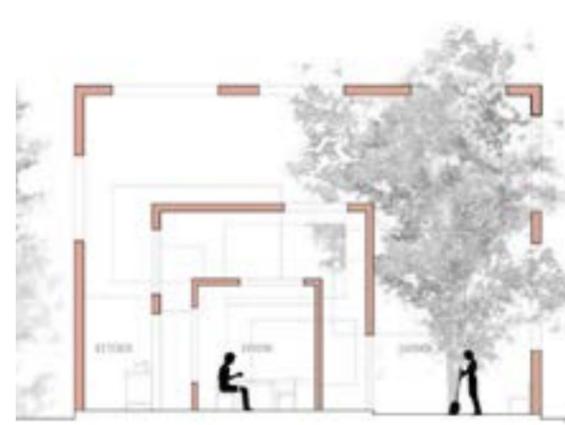


Fig. 253

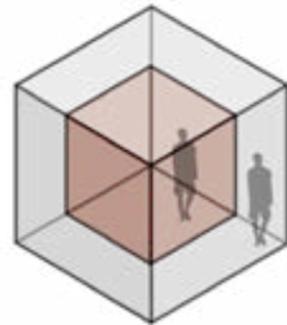


Fig. 254

Fig. 253 Corte del proyecto Casa N.
Fuente: Editado.ArchDaily.

Fig. 254 Concepto de variable exterior-interior.
Fuente: ArchDaily.

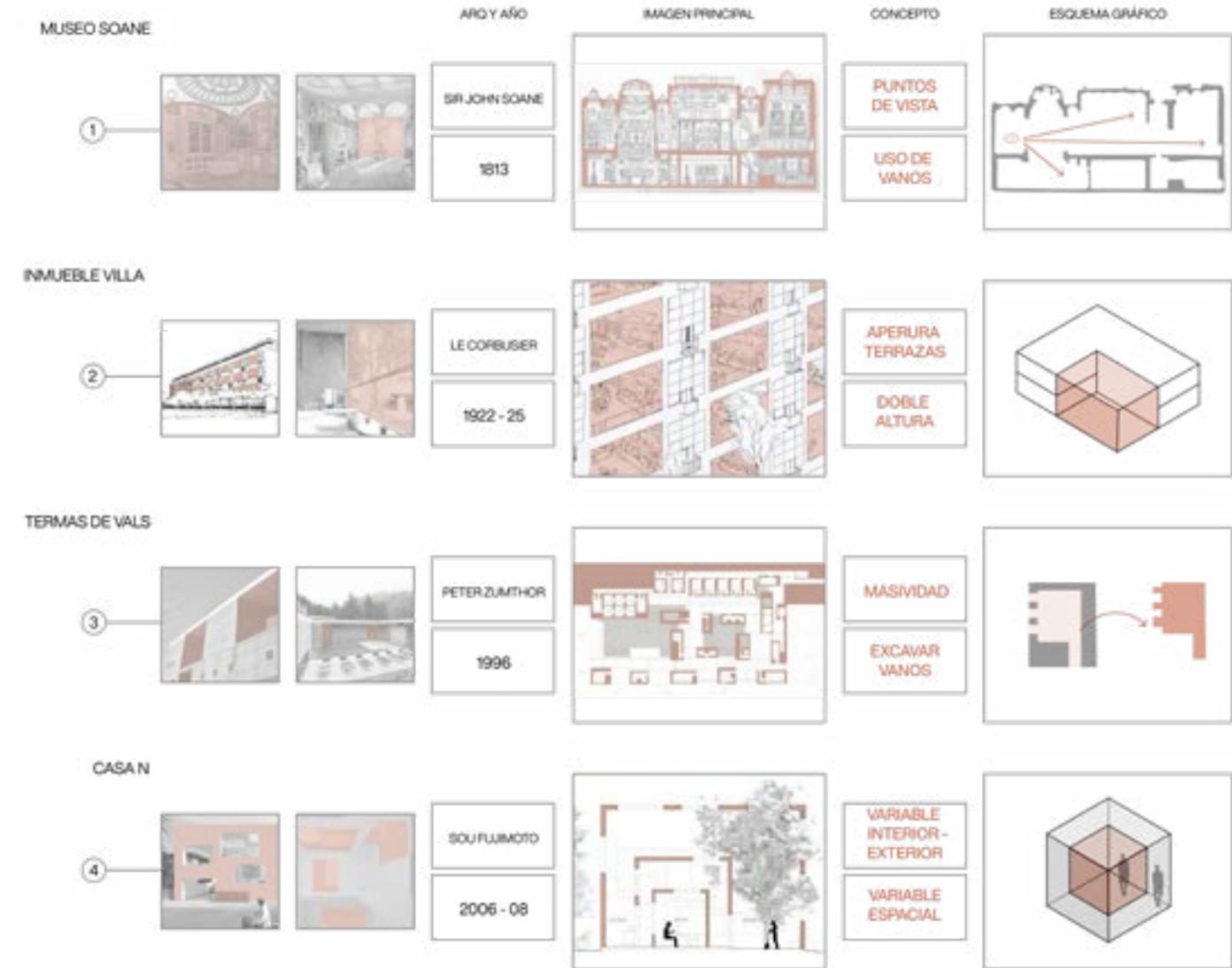


Fig. 255 Comparación de los referentes arquitectónicos. Fuente: Elaboración propia

PROPUESTA I - Azoteas de la Villa Olímpica de Santiago

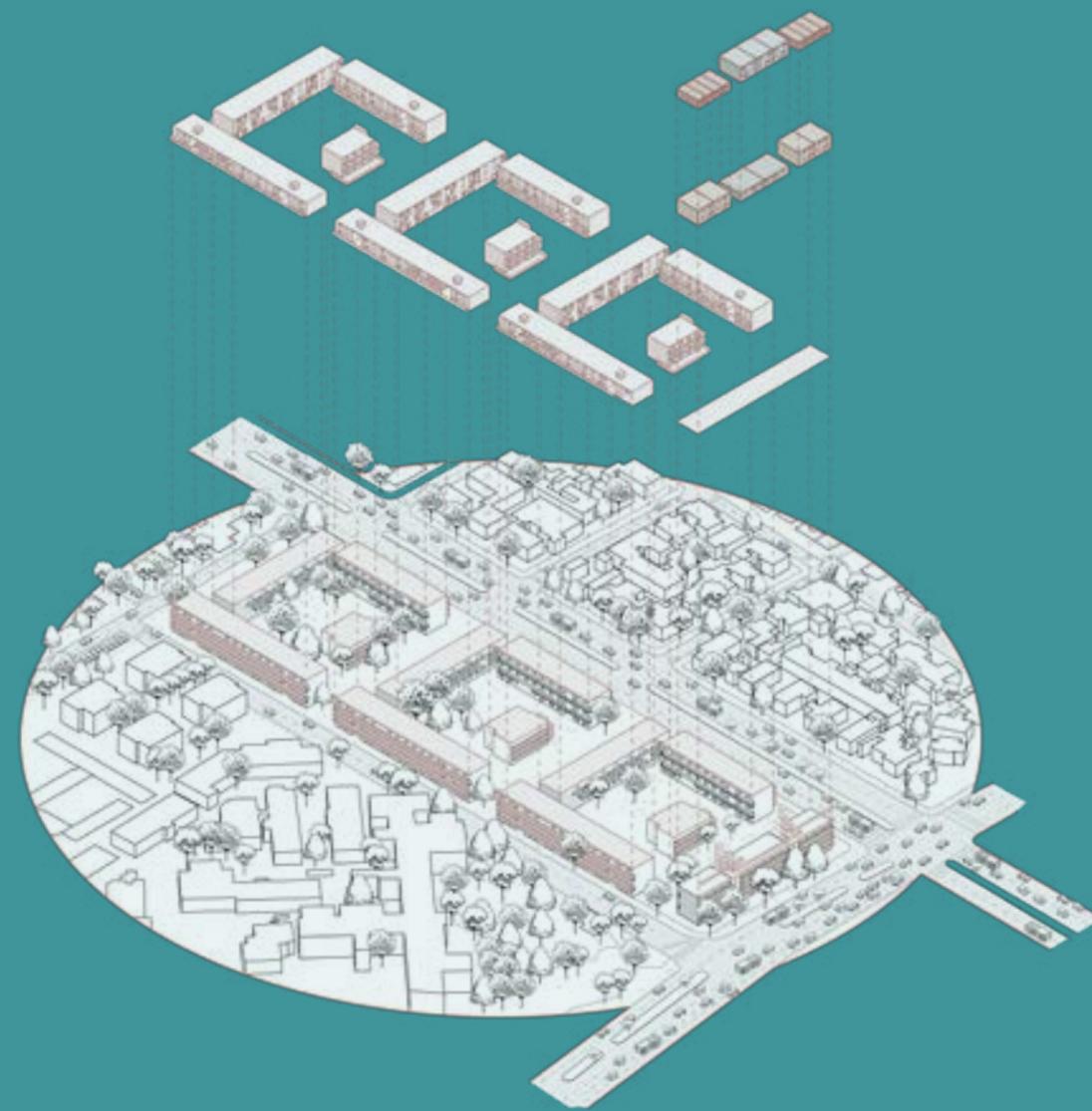


Fig. 256 Editado. *Axonométrica explotada de las propuesta.*
Fuente: Elaboración propia.

9.3.1 Antecedentes

La primera propuesta de emplazamiento es en las azoteas de la Villa Olímpica de Santiago, un conjunto habitacional construido entre los años 1961 y 1967 en la comuna de Ñuñoa con motivo del Mundial de Fútbol de 1962. Su ubicación se encuentra entre Avenida Grecia, Avenida Marathon, Carlos Dittborn y Lo Encalada. Fue obra de la CORVI (Corporación de la Vivienda), organismo jurídico que buscaba resolver el déficit habitacional en Chile, dentro de lo cual el proyecto se enmarca con un sentido social, de comunidad y participativo, lo que tomó especial relevancia durante los terremotos de 1985 y 2010.

El conjunto está conformado por 2400 departamentos distribuidos en diferentes tipologías de vivienda: bloques, torres y casas pareadas. Se propuso también la construcción de servicios, los cuales son ubicados al interior de la villa, junto al centro cívico. Actualmente está catalogado como zona típica (CMN, s.f.).



Fig. 257



Fig. 258

Fig. 257 Vista exterior de un edificio del conjunto.
Fuente: Patrimonio Ñuñoa.

Fig. 258 Vista del conjunto.
Fuente: Plataforma Urbana.



Fig. 259



Fig. 260

Fig. 259 Conjunto de edificios.
Fuente: Memoria Chilena.

Fig. 260 Bloque de viviendas del conjunto.
Fuente: Consejo de monumentos nacionales.

El sitio del proyecto estará enfocado en la manzana nororiente del conjunto, ubicada en la intersección de Avenida Grecia con Avenida Marathon. La manzana se conforma por diez bloques de vivienda de cuatro a cinco pisos y tres pequeñas torres de cuatro pisos, generando tres espacios comunitarios al interior. Su contexto está caracterizado por vivienda de baja y mediana altura, además de la cercanía con el Estadio Nacional.

El proyecto considerará el emplazamiento de vivienda en las azoteas de este sector del conjunto (ver Fig. 261), en donde predomina la tipología de bloque que se muestra en la figura 262. Se busca de esta forma explorar la posibilidad de incorporar viviendas en azoteas de conjuntos habitacionales existentes, en este caso, con tipología de bloques de mediana altura. Para ello, se utilizará el sistema constructivo diseñado, el cual tiene como características utilizar material biobasado ligero (micelio), contar con diseño modular y optar por la prefabricación, disminuyendo el tiempo y costo de la construcción *in situ*.

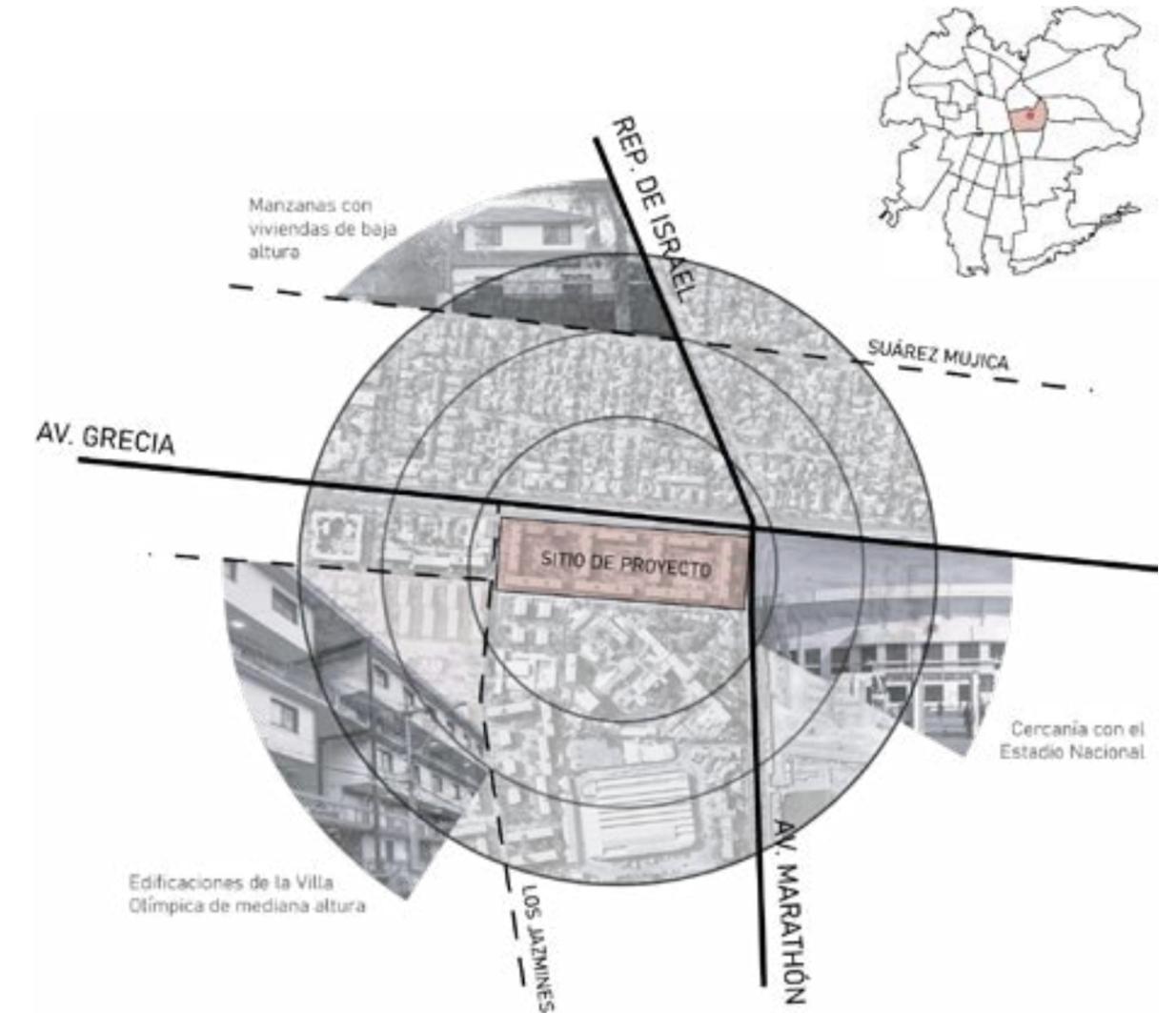


Fig. 261 Contexto de la Villa Olímpica. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 262 Planta de contexto con azoteas a intervenir destacadas en rojo. Fuente: Elaboración propia.

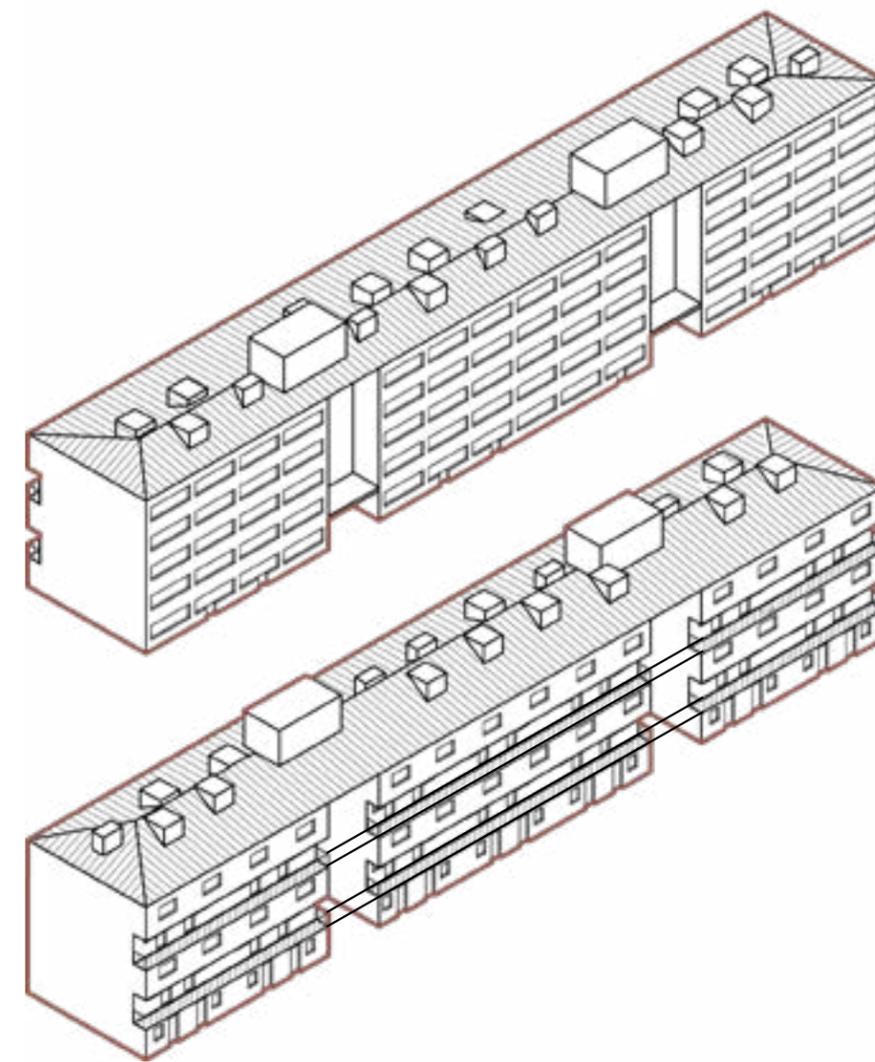


Fig. 263 Axonométrica de edificio tipo de la Villa Olímpica. Se considera este bloque de vivienda como el edificio base en el que se desarrollará el proyecto y el que se detallará más en profundidad. Es un edificio de cinco plantas que cuenta con dos núcleos verticales de circulación. Su circulación horizontal, por otra parte, se dispone al aire libre, conformando corredores. Las tipologías presentes en el primer piso cuentan solamente con esa altura, mientras que las de los pisos superiores son tipologías dúplex.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.2 Tipología departamento compartido

La primera tipología está pensada para dos parejas de adultos mayores, en donde se comparten áreas comunes de cocina, comedor, living y terraza. El volumen cuenta con solamente un piso, en el cual se encuentra un espacio central de estancia, desde el cual se disponen los accesos a cada dormitorio particular. La modulación en planta corresponde a tres columnas, en las que predominan los módulos A y B (ver cap. 8.4), conformando unas medidas perimetrales exteriores de 13,2 x 11,4 metros. Los vanos tienden a abrirse desde dentro hacia fuera, aumentando el espacio disponible para su uso interior, tanto en los dormitorios como en la cocina. El volumen central funcionaría como centro de reunión para las dos parejas, mientras que las piezas conformarían los espacios privados. De esta manera, se propone una tipología en que dos núcleos de personas mayores cohabitan una sola vivienda, guardando privacidades a la vez que se comparten actividades cotidianas.

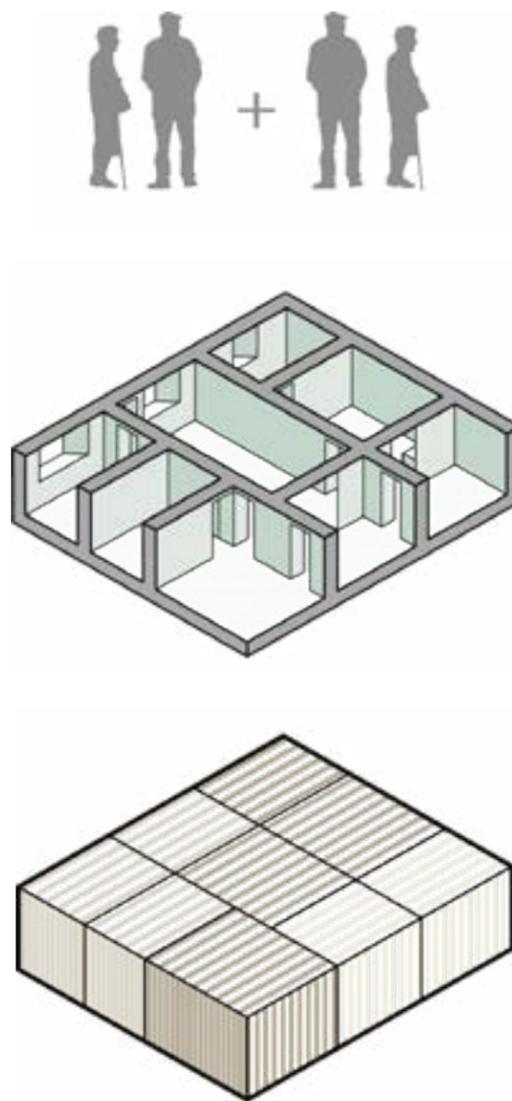


Fig. 264 Esquemas volumétricos de la tipología de departamento compartido. En el primer esquema, se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencia un espacio central y el uso de vanos diagonales. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. El uso de módulos mayores corresponde a dormitorios y parte del espacio central, mientras que el uso de módulos medianos para otros recintos en la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

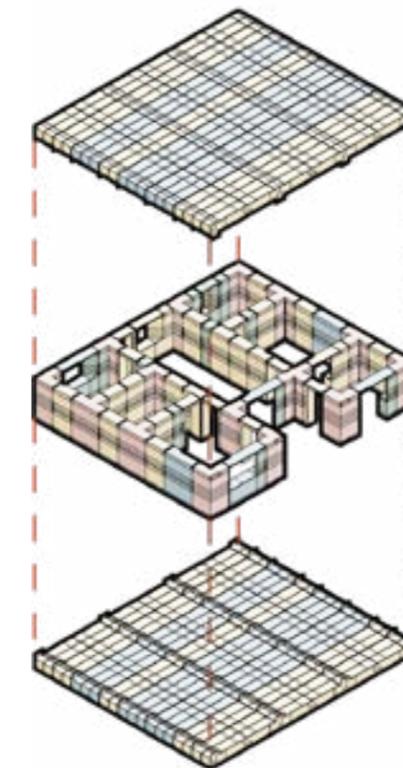
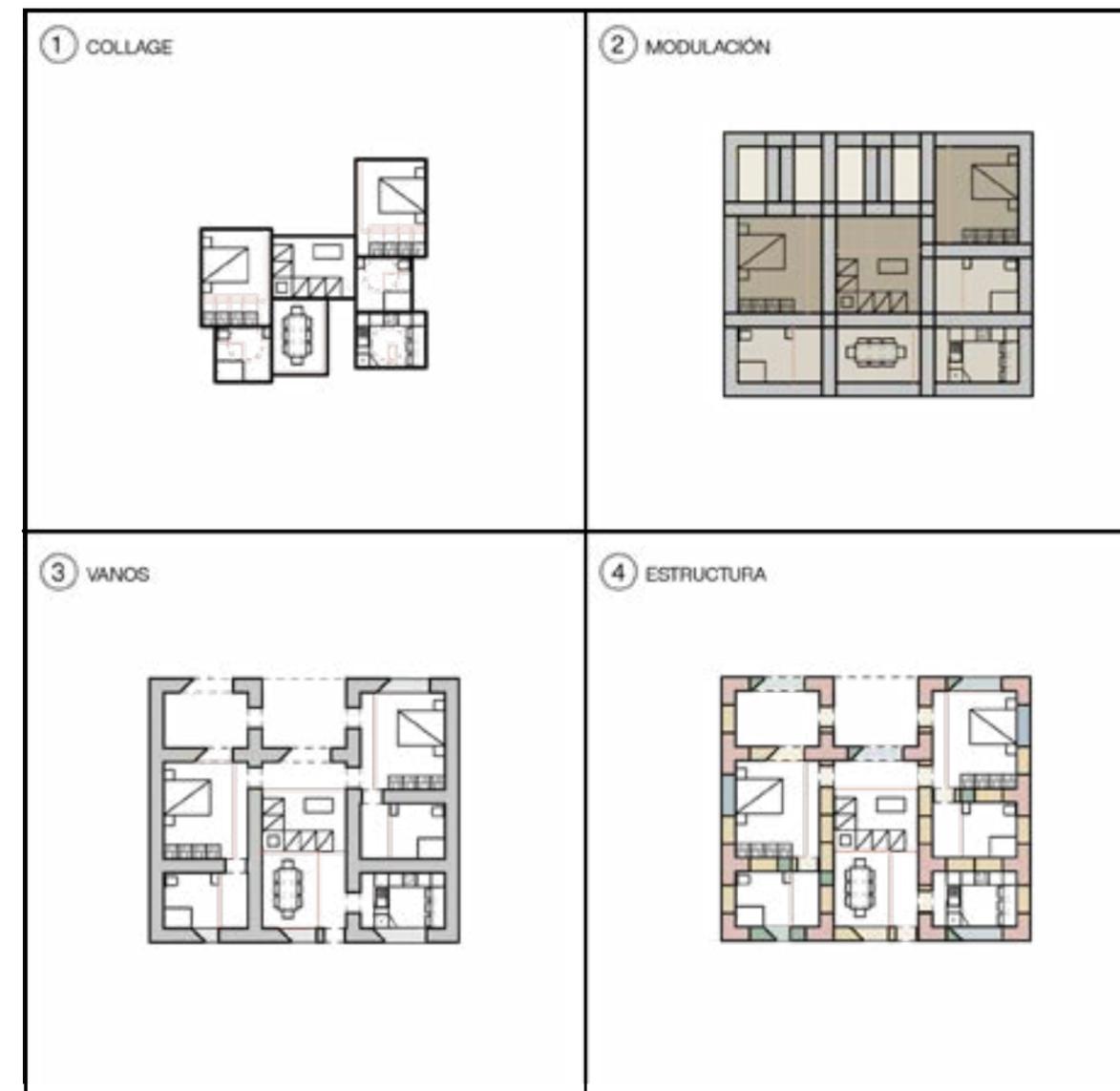


Fig. 265 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

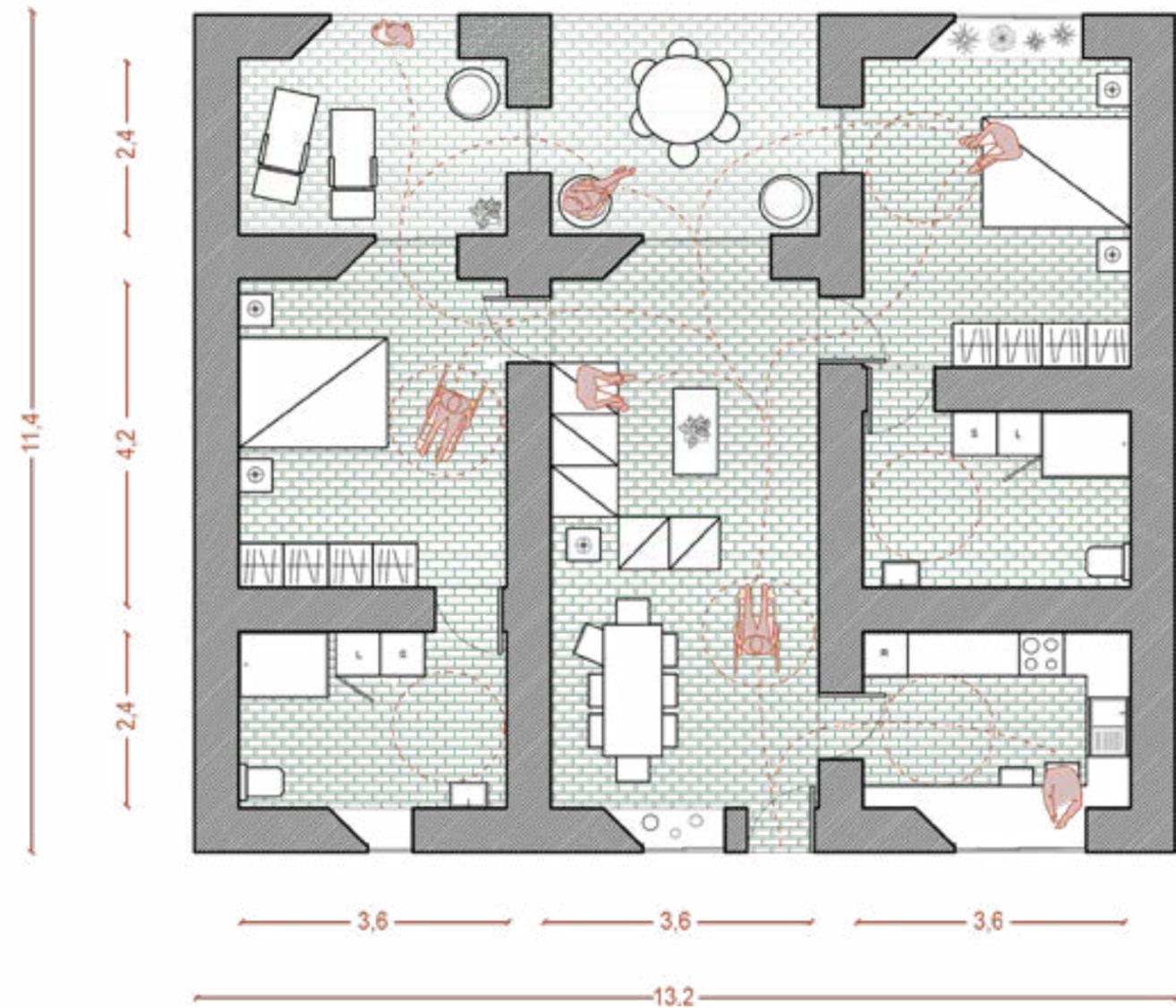


Fig. 266 Planta de arquitectura de la tipología de departamento compartido. Fuente: Elaboración propia.

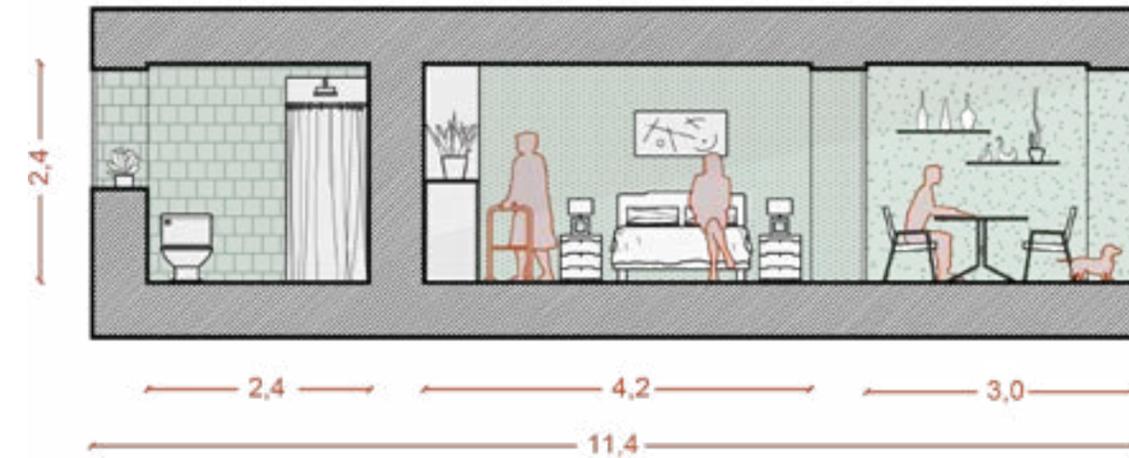


Fig. 267 Corte de tipología departamento compartido. Al lado derecho se observa el espacio destinado a terraza, el cual tiene una longitud de tres metros. Esta terraza tiene un acceso directo desde una de las habitaciones, en donde se evidencia el espacio útil para movilidad reducida; cuenta con 4,2 metros de ancho. Por último, al lado izquierdo, se observa el baño, con un ancho de 2,4 metros; cuenta con un vano que permite extender ese espacio a tres metros en la abertura. La longitud total es de 11,4 metros.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.3 Tipología dúplex tradicional

La segunda tipología presentada se diseña según una familia tradicional, es decir, es capaz de dar cabida a una pareja con hijos.

El volumen cuenta con dos pisos, el cual cuenta con doble altura tanto en el espacio común interior como en las terrazas al exterior. El primer piso consta de un volumen central con doble altura, el cual conecta con la cocina, el dormitorio principal y la terraza, además de contar con la circulación vertical. El segundo nivel se compone por dos dormitorios, un baño y una sala de estar común. Cada dormitorio cuenta con espacio exterior propio, los cuales conectan visualmente con la terraza del primer piso. El pasillo central tiene un ancho capaz de dar cabida a mobiliario como escritorios, extendiendo el área común ya existente.

Las medidas perimetrales de la vivienda son de 9 x 11,4 metros y las dobles alturas tienen un total de 5,4 metros.

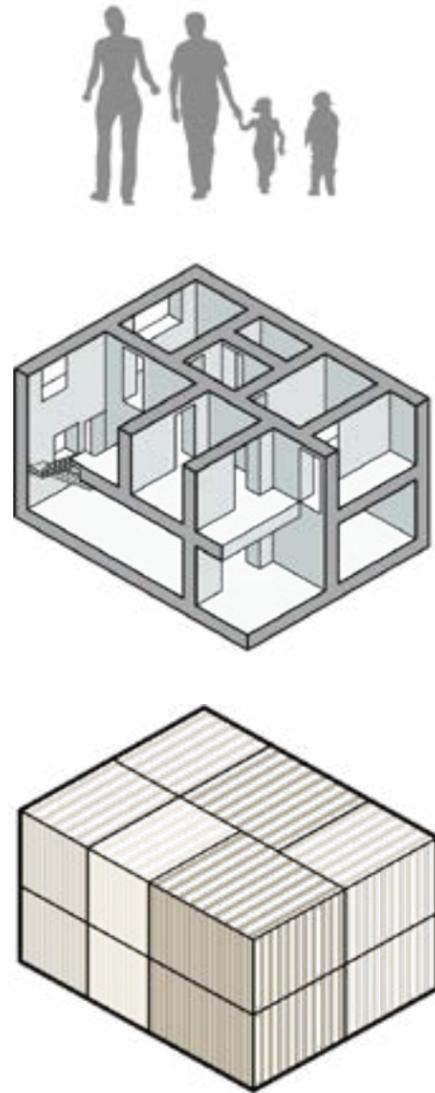


Fig. 268 Esquemas volumétricos de la tipología de dúplex tradicional. En el primer esquema se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencian las dobles alturas y las diferencias entre recintos. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. En esta tipología se desarrolla la posibilidad de apilar los módulos constructivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

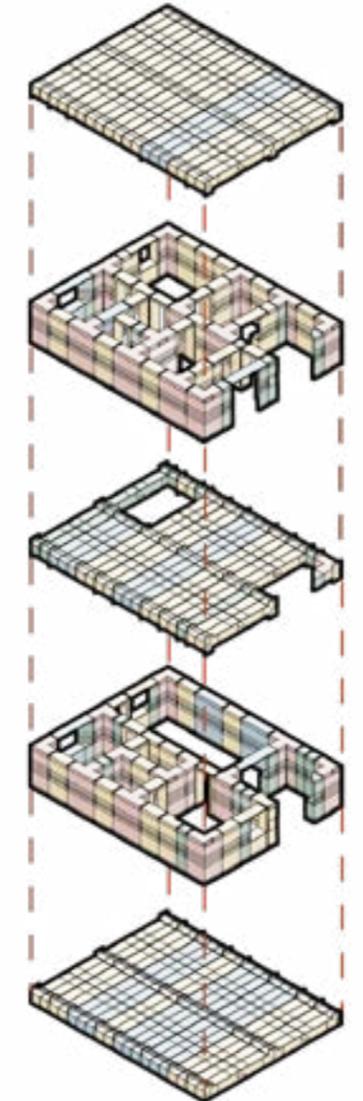
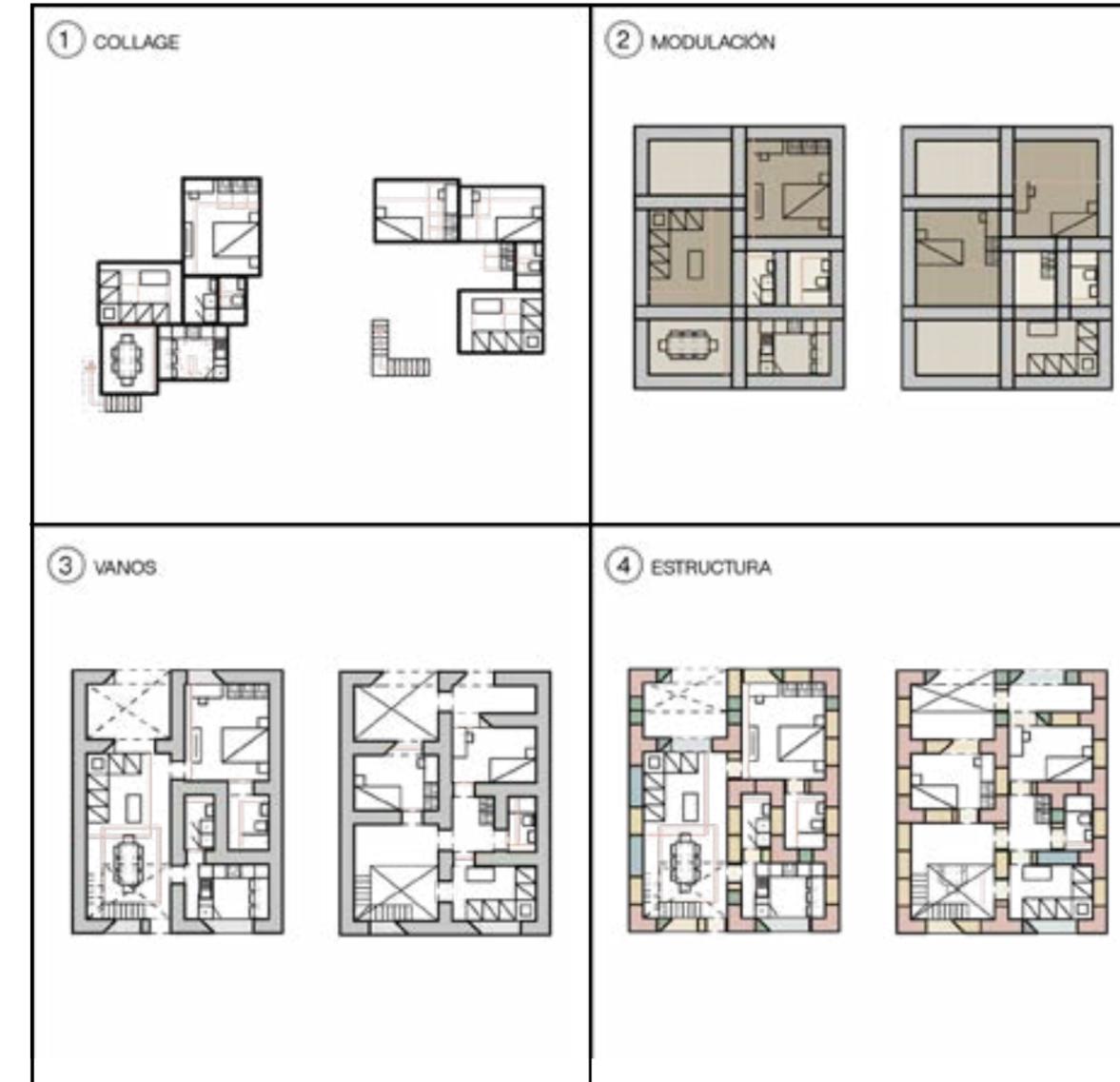


Fig. 269 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

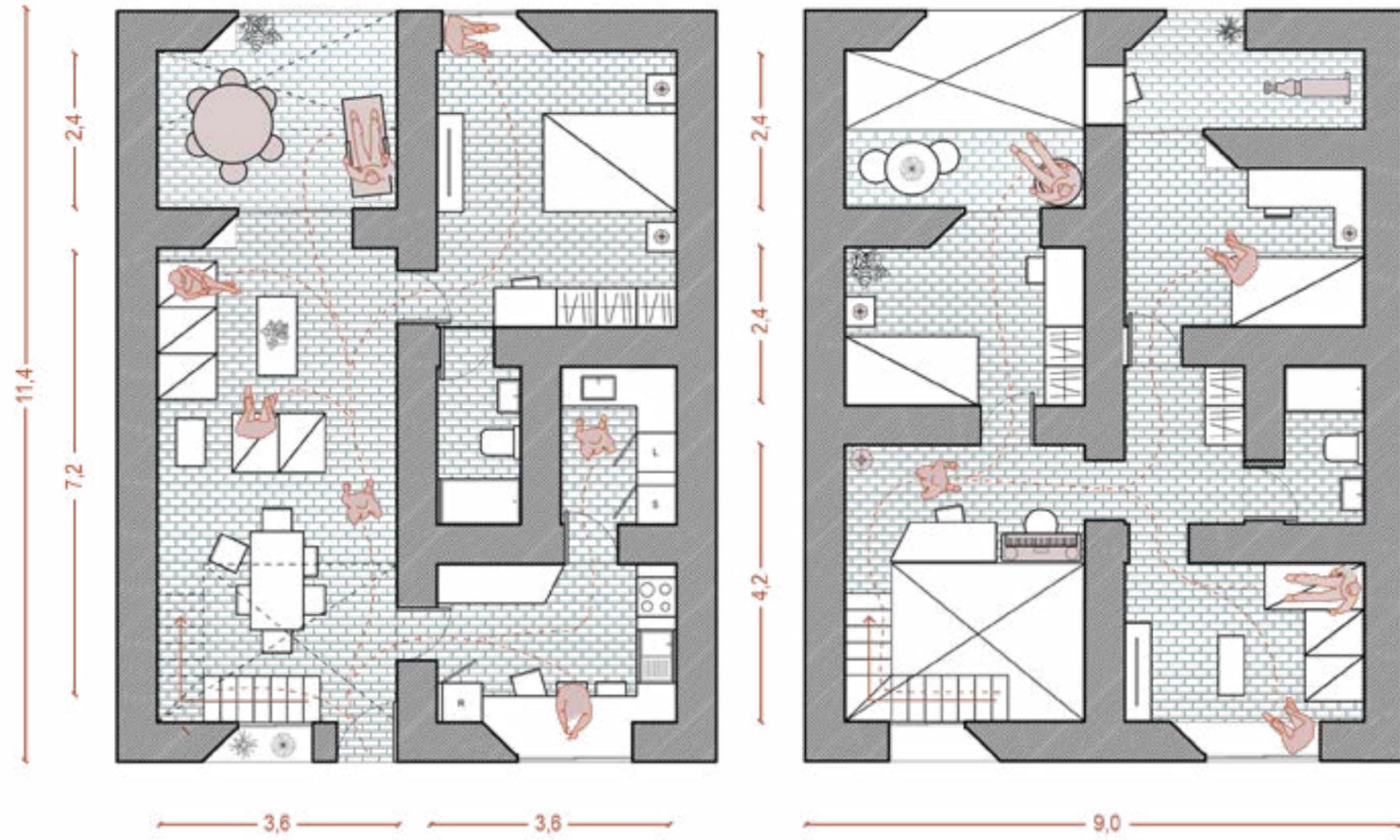


Fig. 270 Plantas de arquitectura de la tipología dúplex tradicional. Niveles 1 y 2 de izquierda a derecha. Fuente: Elaboración propia.

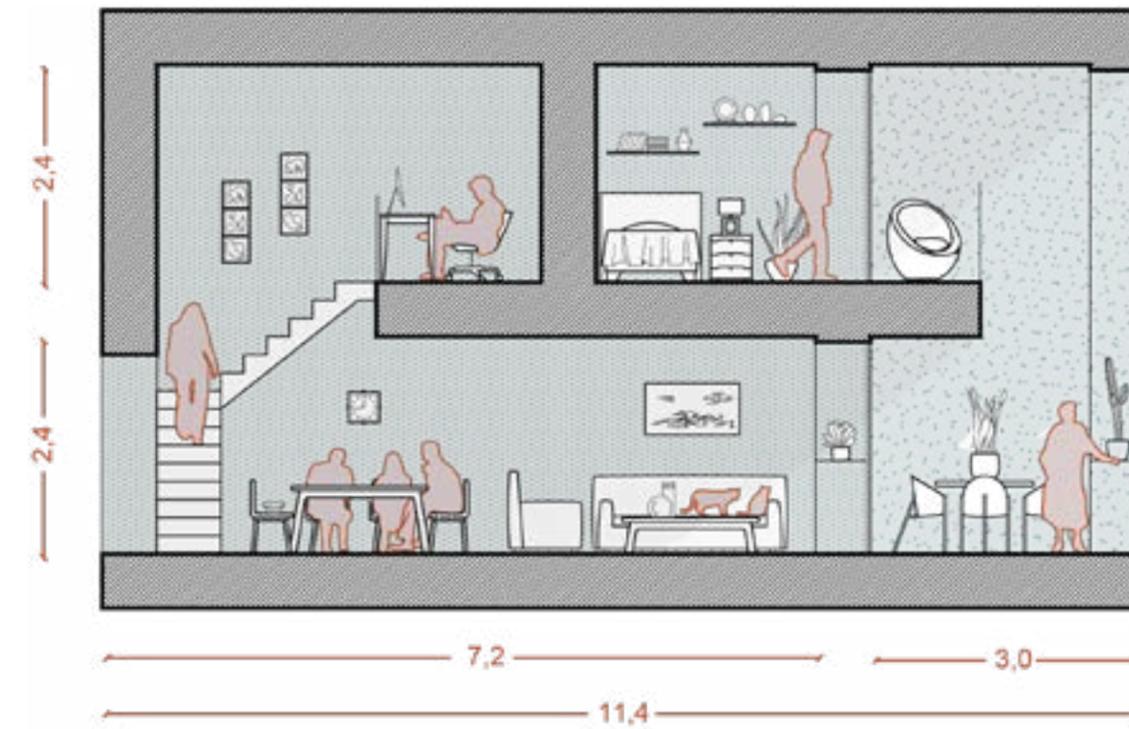


Fig. 271 Corte de tipología dúplex tradicional. Al lado izquierdo se observa la doble altura del espacio interior, que incluye la escalera y llega al pasillo del segundo nivel, el cual tiene un ancho suficiente como para dar cabida a programa de estudio. En el primer piso se observa el living-comedor y su conexión con la terraza de doble altura, con un ancho de tres metros y una altura de 5,4 metros. Desde el segundo piso, el dormitorio cuenta con una terraza propia que conecta visualmente con la terraza del segundo piso.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.4 Tipología dúplex extendido

La tercera tipología desarrollada considera la adición de una pareja de adultos mayores a una familia tradicional. La vivienda consta de dos pisos, en donde el primero cuenta con accesibilidad universal.

Similar a la propuesta anterior, tanto el interior como el exterior de la vivienda cuentan con dobles alturas. El primer piso cuenta con los recintos de estar común, tales como la cocina, el living-comedor y la terraza, y se incorpora un dormitorio con baño privado con accesibilidad universal. El segundo nivel se conforma por el dormitorio principal, dos dormitorios de menor tamaño y un baño. Existe una terraza compartida entre dos de los dormitorios que tiene conexión visual con la terraza del primer piso.

Las medidas perimetrales de la vivienda son de 9 x 11,4 metros y las dobles alturas tienen un total de 5,4 metros.

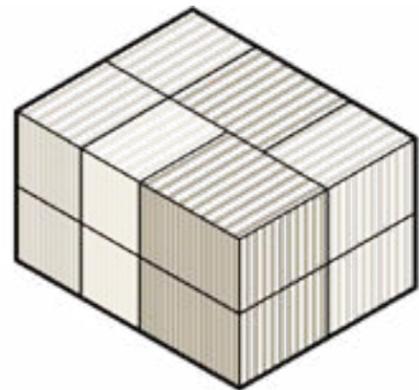
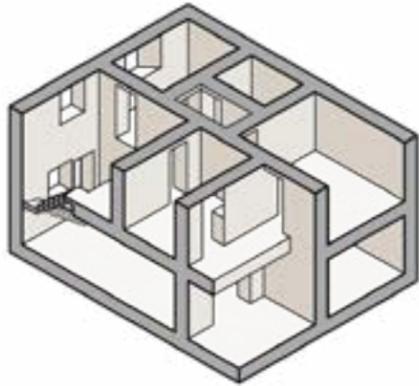


Fig. 272 Esquemas volumétricos de la tipología de dúplex extendido. En el primer esquema se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencian las dobles alturas y las diferencias entre recintos. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. En esta tipología también se desarrolla la posibilidad de apilar los módulos constructivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

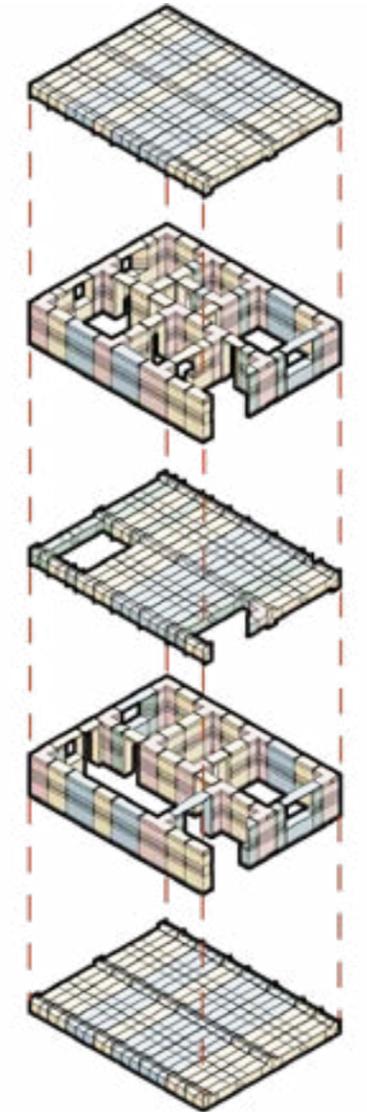


Fig. 273 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

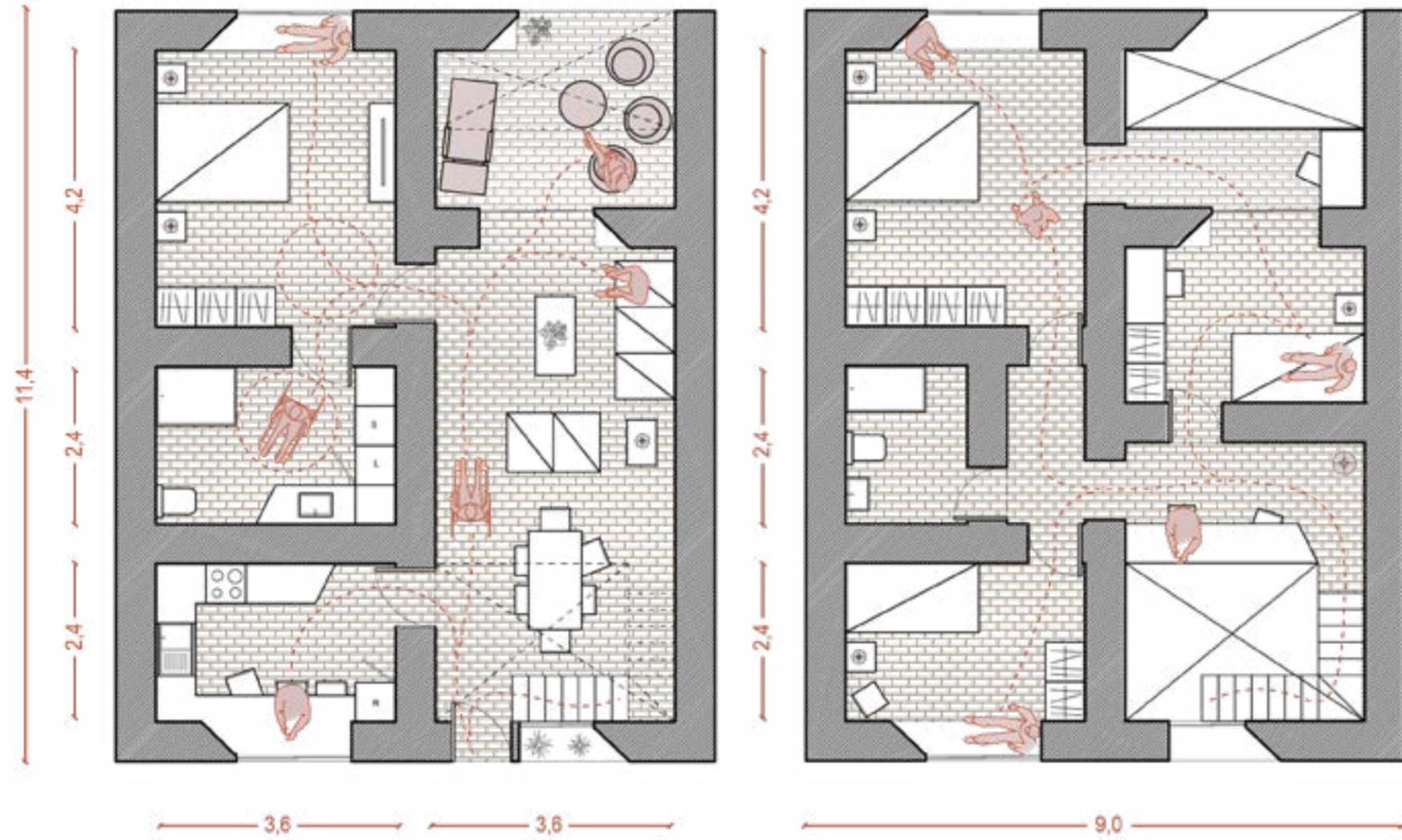


Fig. 274 Plantas de arquitectura de la tipología dúplex extendido. Niveles 1 y 2 de izquierda a derecha. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 275 Corte de tipología dúplex extendido. Se muestran los distintos tipos de espacios que se pueden desarrollar en cada piso. Al lado derecho, en el primer nivel toma lugar la cocina, con 2,4 metros de ancho y un vano que permite extenderse como área de trabajo, mientras que en el segundo piso se ubica un dormitorio, en el cual el vano puede utilizarse a modo de espacio de descanso. Luego, en el medio del corte, se ve el espacio destinado a baño en el primer piso, mientras que en el segundo es un pasillo. Por último, al lado derecho se observa que en ambos niveles se destina el recinto a dormitorios.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.5 Tipología departamento estudio

La última tipología corresponde a un departamento estudio que puede dar cabida a dos personas. La vivienda consta de un solo piso con una pequeña terraza incluida.

El diseño utiliza la totalidad de los cuatro módulos desarrollados para el sistema constructivo (ver cap. 8.4), es decir, el módulo mayor (A), el módulo mediano (B) y los módulos menores (CI y CII). El módulo mediano es utilizado como un espacio de cocina, living y comedor, mientras que el módulo mayor se utiliza para el dormitorio, priorizando la comodidad de este. Los módulos pequeños se utilizan para el baño y la terraza, ambos conectados con la habitación principal. Existe un flujo directo de circulación desde la entrada hasta la terraza.

Las medidas perimetrales de la tipología conforman un rectángulo exterior de 4,8 x 11,4 metros.

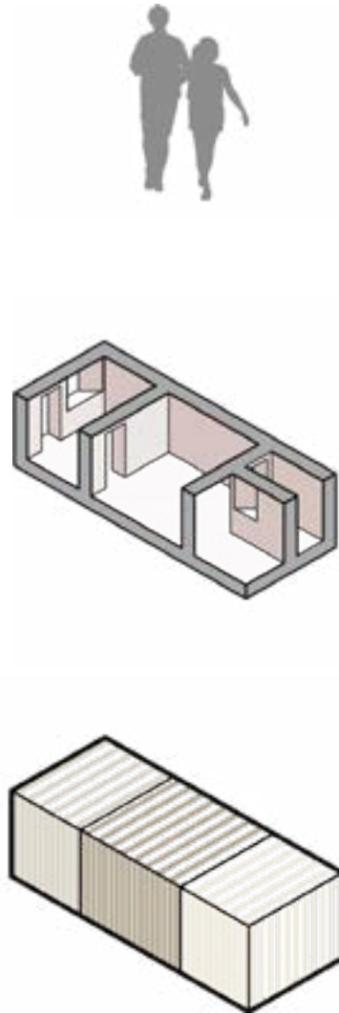


Fig. 276 Esquemas volumétricos de la tipología de departamento estudio. En el primer esquema se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencian las diferencias entre los recintos. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. El módulo mayor se utiliza como habitación principal, mientras que el mediano como espacio de cocina, comedor y estar. Los módulos pequeños se utilizan como baño y terraza.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

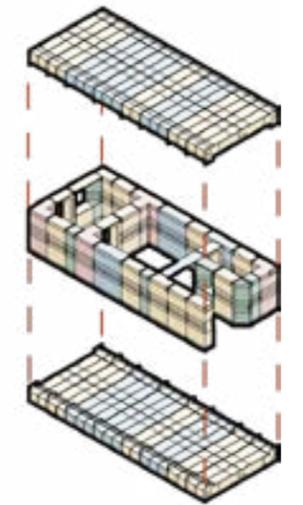
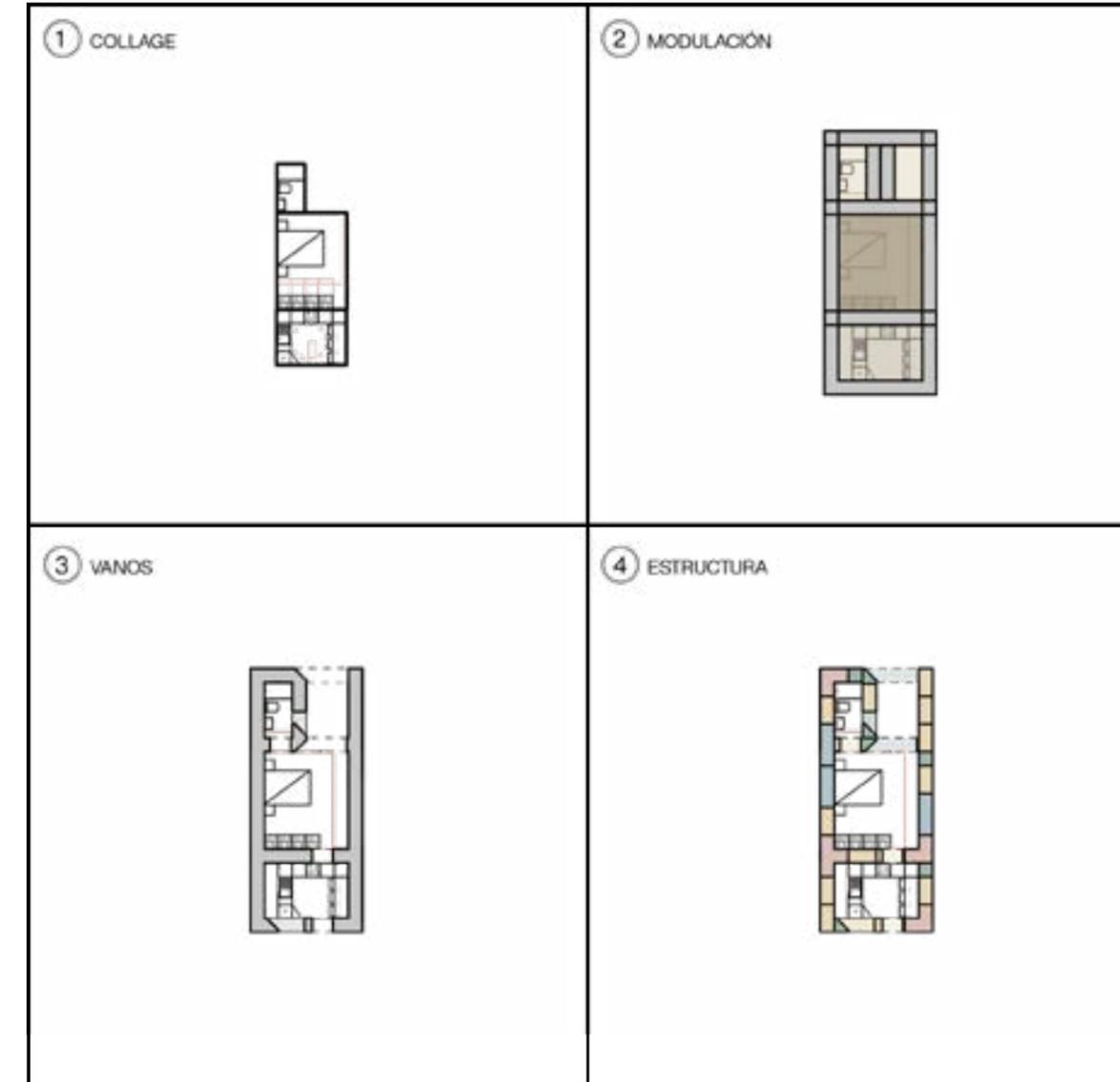


Fig. 277 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

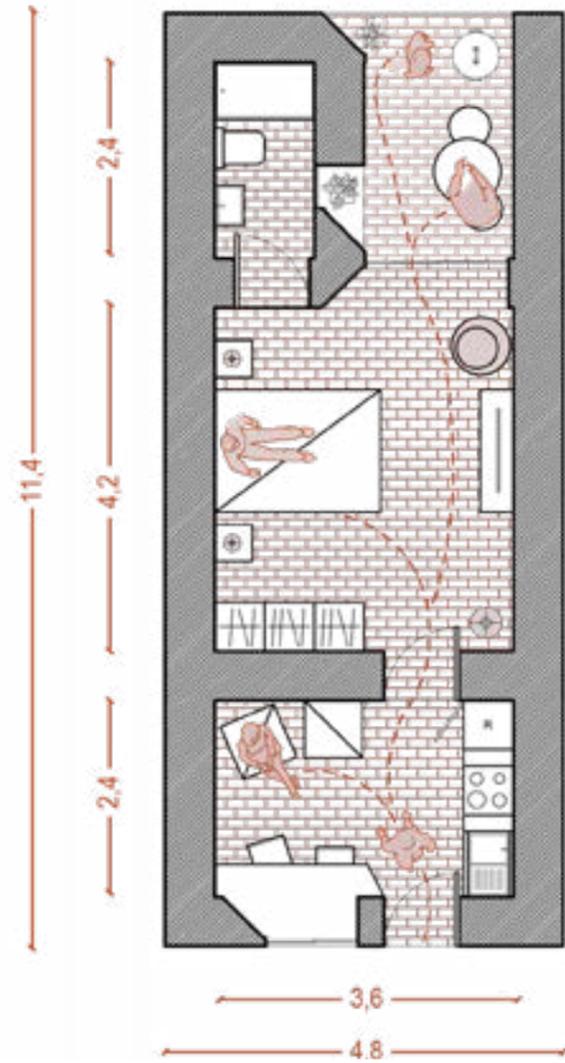


Fig. 278 Planta de arquitectura de la tipología departamento estudio. Fuente: Elaboración propia.

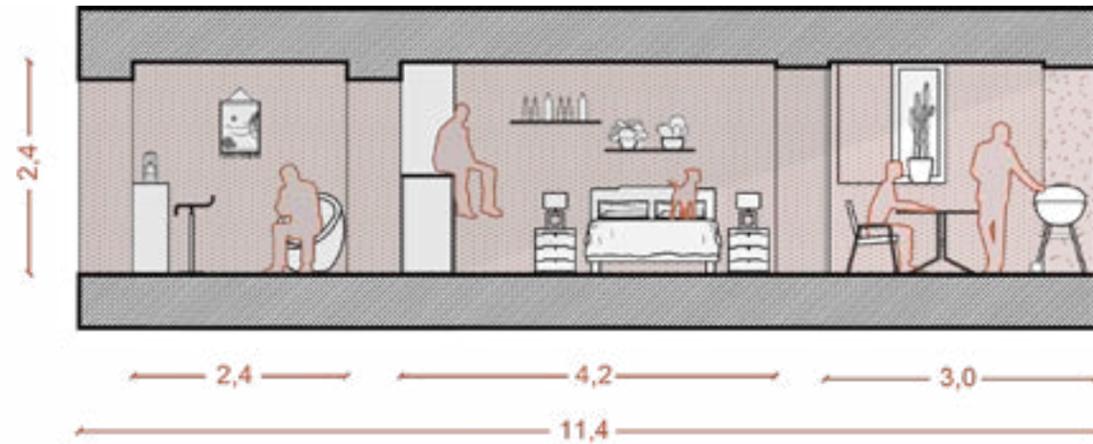


Fig. 279 Corte de tipología departamento estudio. Al lado derecho se observa el espacio destinado al comedor y estar en un ancho de 2,4 metros, en el cual también se encuentra la cocina. Desde este espacio, se puede acceder al dormitorio, el cual cuenta con un ancho de 4,2 metros y que conecta con la terraza. Este último espacio, a la derecha, tiene un ancho de tres metros, y la ventana que se ve en la pared del fondo corresponde al baño ubicado a su lado. La longitud total es de 11,4 metros. Fuente: Elaboración propia.

9.3.6 Uso de tipologías

Las cuatro tipologías serán utilizadas en el desarrollo de vivienda colectiva en las azoteas del sector nororiente del conjunto. Como primera etapa, se propone el diseño en la azotea del bloque que enfrenta la Avenida Marathon al oriente.

Como se puede observar en la axonométrica explotada (ver Fig. 280), el diseño considera la utilización de dos departamentos compartidos (en verde), cuatro departamentos de dúplex extendidos (en amarillo), tres dúplex tradicionales (en azul) y ocho estudios (en rojo). El primer piso de la azotea da acceso a los departamentos compartidos y a los dúplex extendidos, mientras que desde el segundo piso se accede a las tipología de dúplex tradicional. Finalmente, el tercer piso da acceso solamente a los estudios.

Se propone que la llegada a los pisos generados sea a través de una extensión de la circulación vertical existente, incorporando el uso de ascensores.

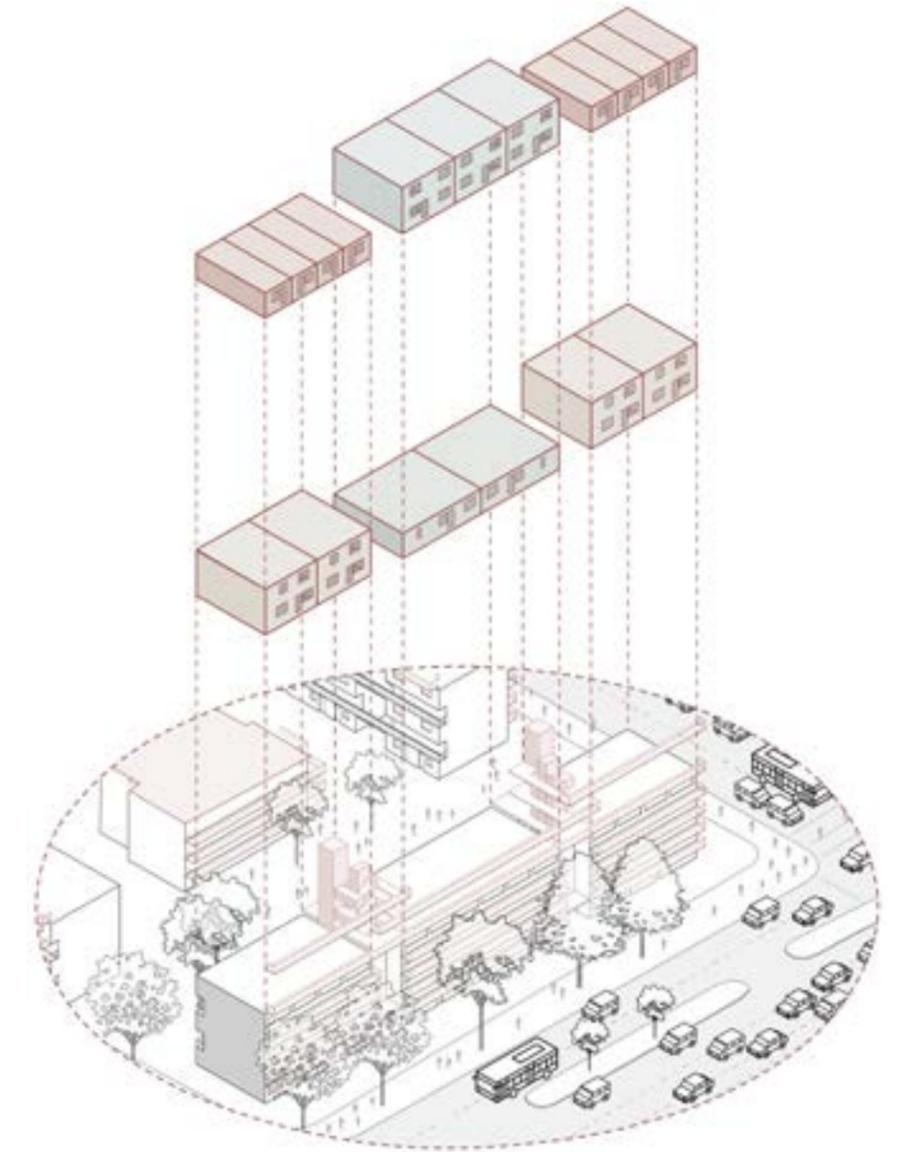


Fig. 280 Axonométrica del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

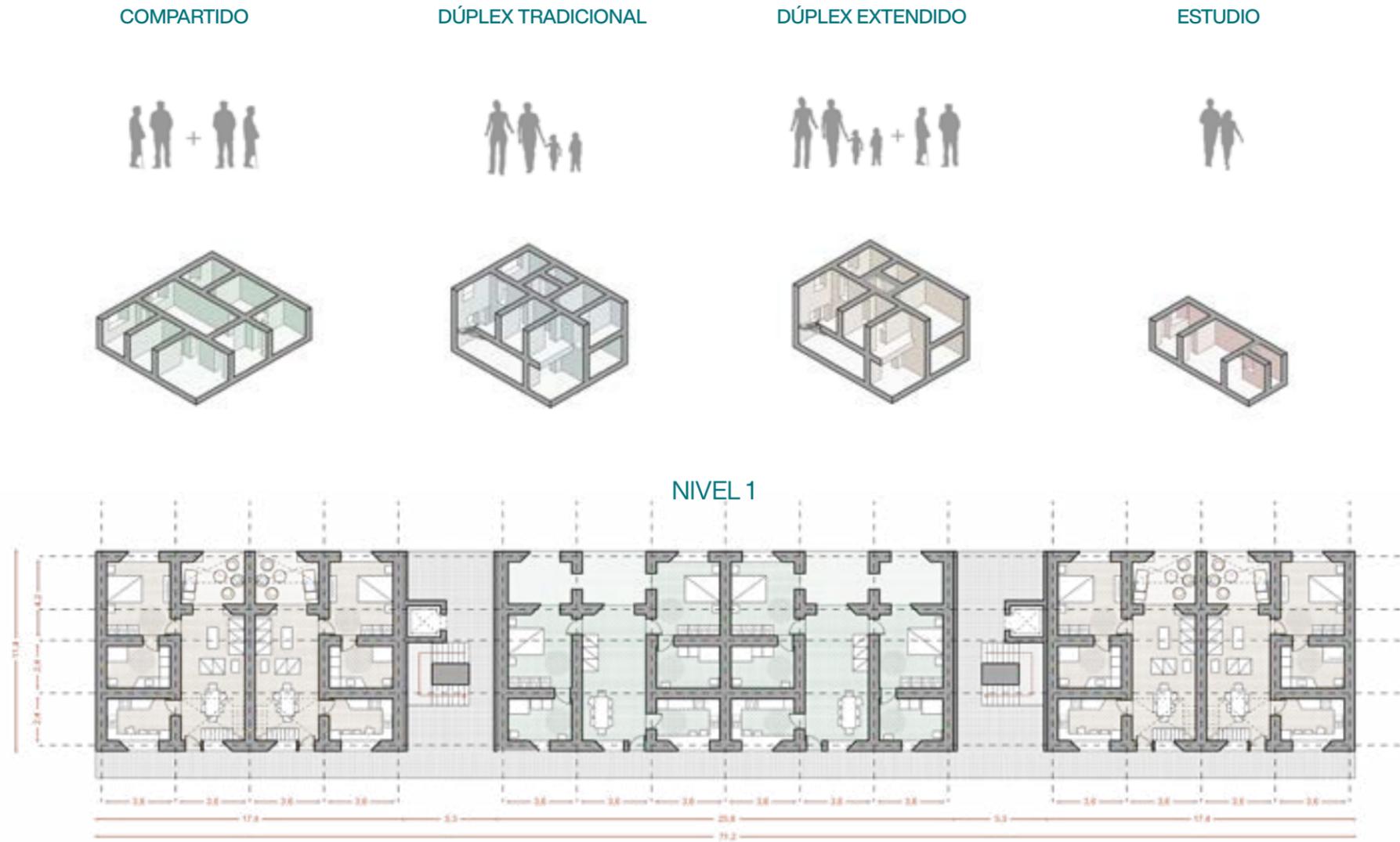


Fig. 281 Tipologías y planta de primer nivel del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

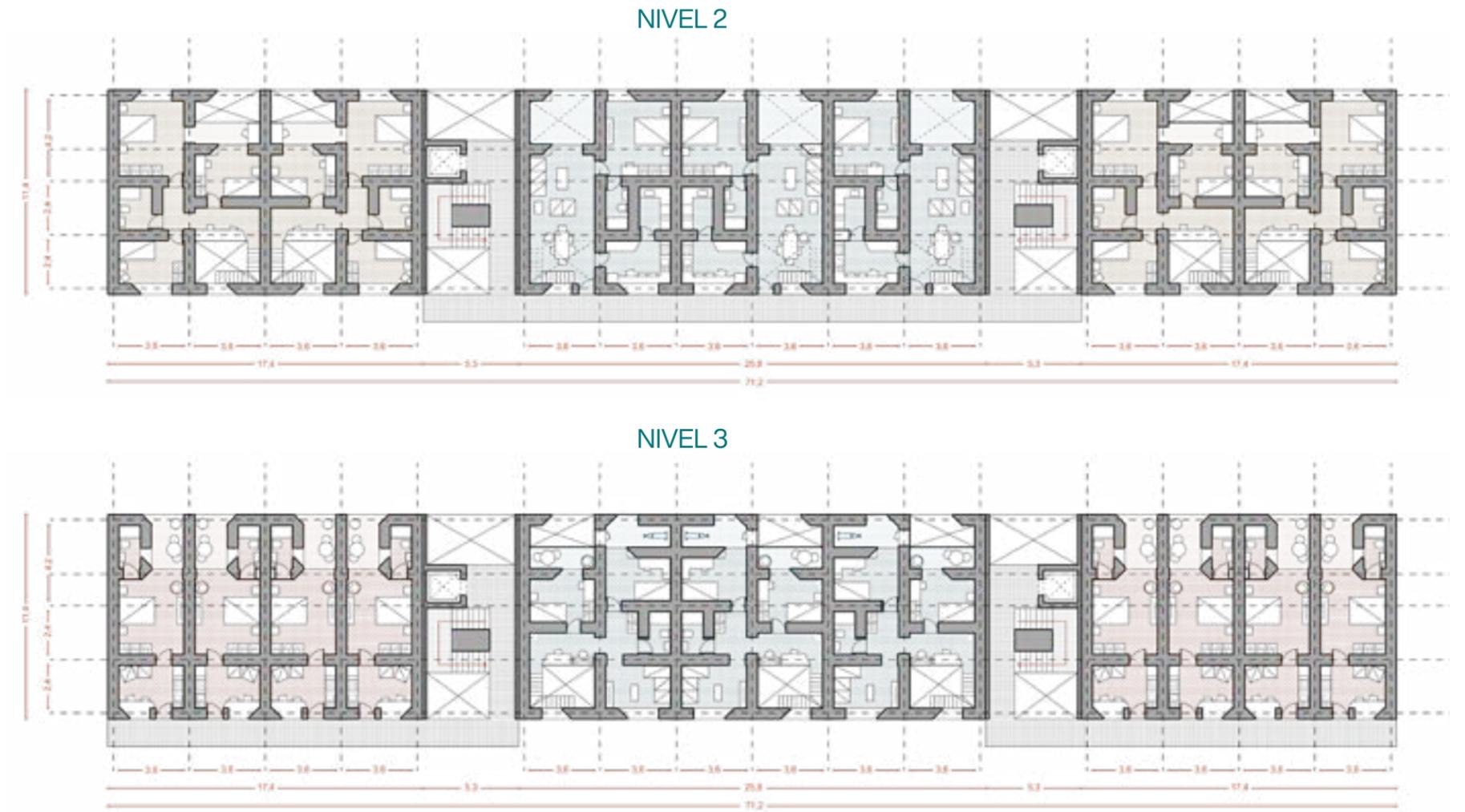


Fig. 282 Plantas segundo y tercer piso del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

9.3.7 Emplazamiento en el contexto

Las plantas presentadas anteriormente (ver Figs. 281 y 282) corresponden al proyecto sobre la azotea del bloque que enfrenta a la Avenida Marathon. Junto con este diseño, se componen otros que son emplazados en el resto de las azoteas, en donde se utilizan las misma tipologías. Se conforman entonces nuevos bloques de dos o tres pisos sobre los edificios existentes.

Junto con lo anterior, también se considera el uso de corredores a modo de circulación en los bloques diseñados, los cuales se extienden por los pisos existentes, ampliando el espacio de circulación o agregando balcones a las viviendas. Se conforma de esta manera una nueva fachada en los edificios, que permite dar continuidad entre lo antiguo y lo nuevo.

A continuación, se presentan elevaciones y vistas del proyecto (ver Figs. 284 y 285).

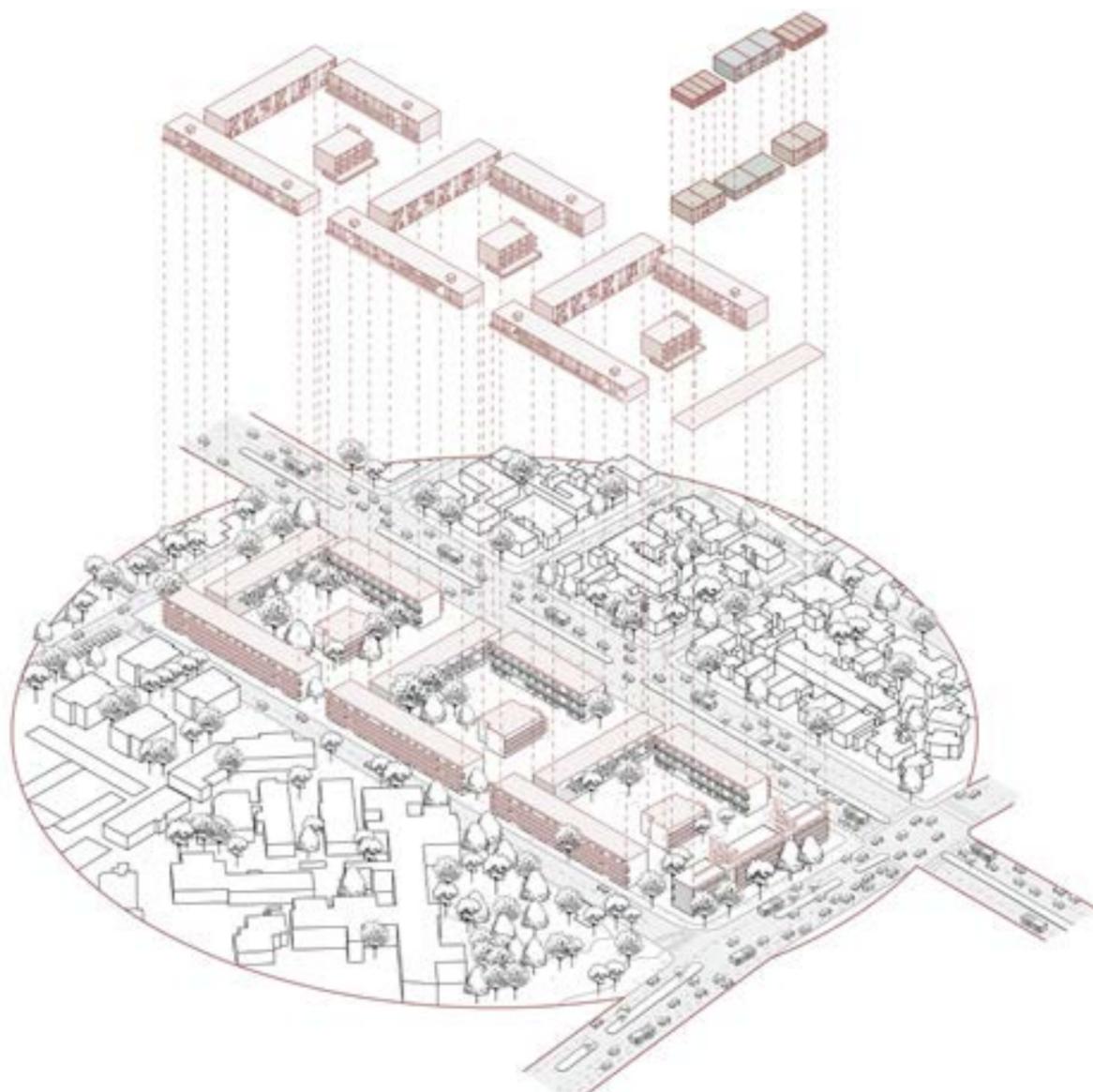


Fig. 283 Axonométrica del proyecto. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 284 Elevaciones del bloque que enfrenta la Avenida Marathon al oriente. En rojo se presenta el proyecto diseñado con el sistema constructivo propuesto. La elevación ubicada arriba da cuenta de una continuidad entregada por los corredores de circulación, así como también el respeto de los volúmenes del bloque existente. La elevación ubicada abajo muestra el uso de corredores existentes en el bloque y la continuación de la circulación vertical. Se puede observar también el juego de terrazas con uno o dos pisos.

Fuente: Elaboración propia.

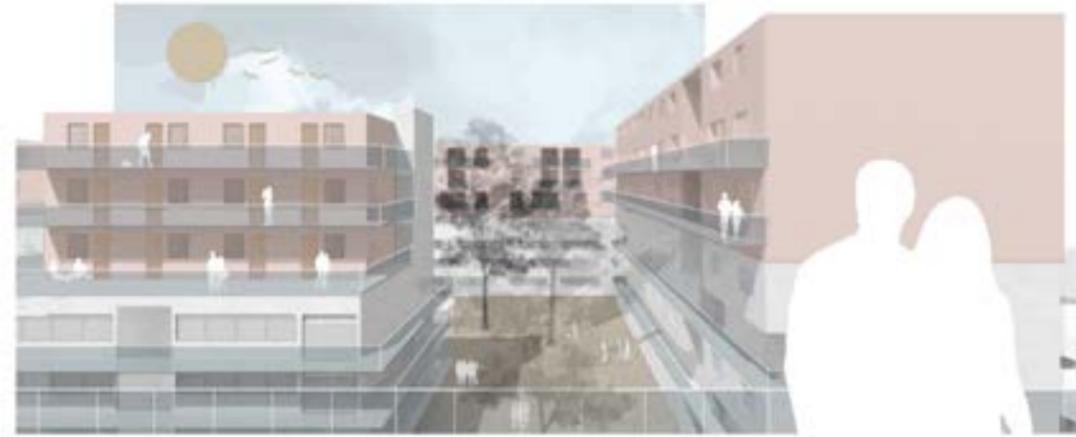


Fig. 285 *Vistas objetivo de proyecto. En rojo se presenta el proyecto diseñado con el sistema constructivo propuesto. La vista ubicada arriba permite dar cuenta de la extensión de los volúmenes de los bloques, integrándose el diseño en lo construido. Asimismo, se evidencia el uso de corredores y su uso, que puede ser también un espacio de pausa. En la vista ubicada abajo se muestra una perspectiva desde uno de los corredores hacia el resto de bloques, en los cuales se evidencia el uso de terrazas privadas y su ocupación por parte de los usuarios.*

Fuente: Elaboración propia.

PROPUESTA II - Azoteas de la Remodelación San Borja

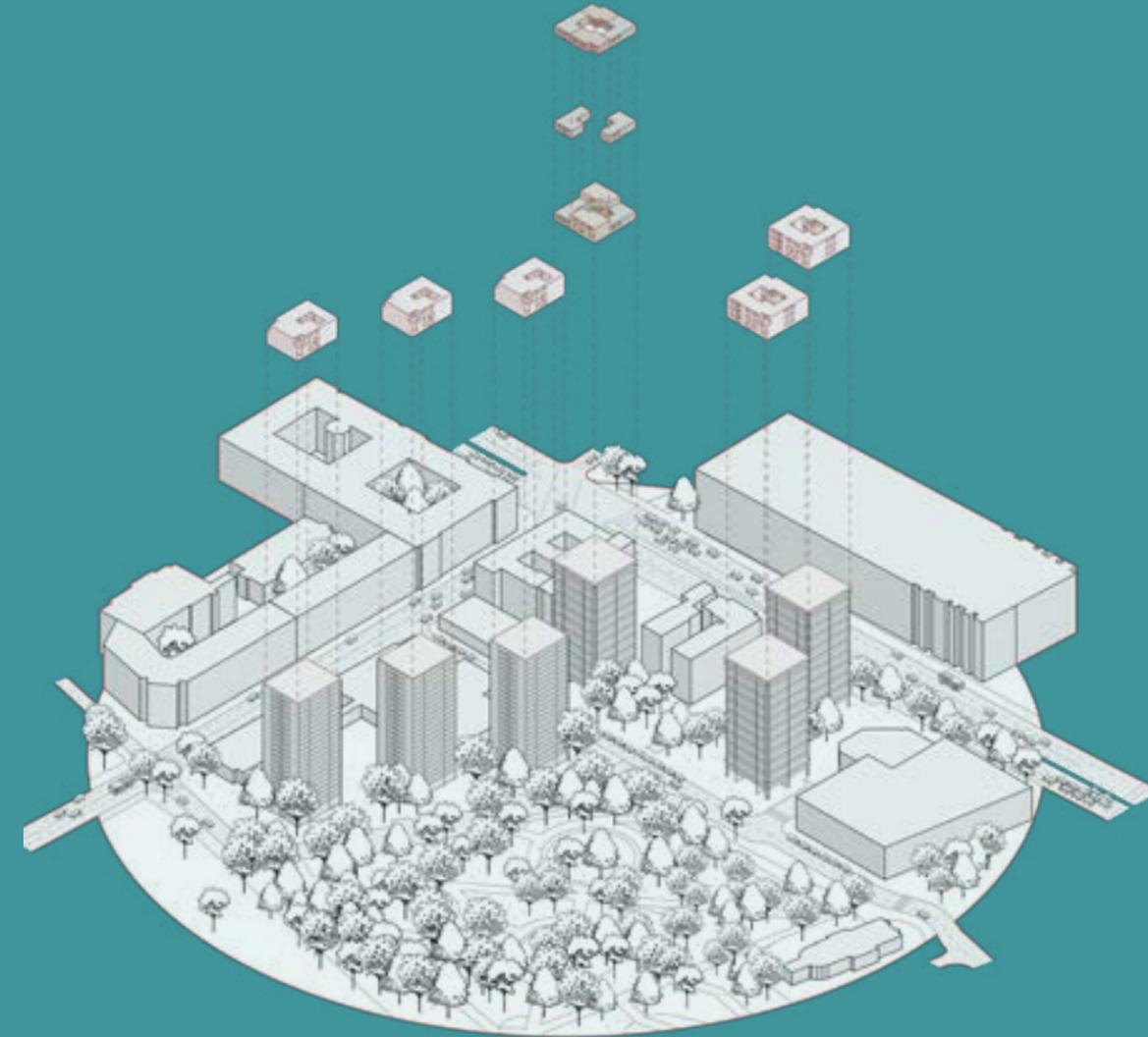


Fig. 286 Editado. *Axonométrica explotada de las propuesta.*
Fuente: Elaboración propia.

9.4.1 Antecedentes

La segunda propuesta de arquitectura se emplaza en las azoteas de las torres de la Remodelación San Borja, conjunto habitacional construido entre los años 1969 y 1989 en la comuna de Santiago. En un inicio, se ubicaron sus límites entre las calles Alameda, Lira, Diagonal Paraguay y la avenida Vicuña Mackenna. Estuvo gestionado principalmente por la CORMU (Corporación del Mejoramiento Urbano), si bien hubo que realizar cambios en la ciudad que iban más allá de sus facultades. Los criterios del proyecto se enmarcan en un contexto internacional caracterizado por la filosofía de los Smithson en términos de urbanismo y vivienda, así como también en los TEAM X.

En la primera etapa (1969-1970) se construyeron 12 torres de vivienda, las cuales seguían preceptos del movimiento moderno. Luego, la segunda etapa (1971-1972) consideró la construcción de siete torres, con lo que el proyecto se consolidó como un símbolo de cambio, tanto a nivel urbanísti-



Fig. 287



Fig. 288

Fig. 287 *Vista de la maqueta de la Remodelación San Borja.*
Fuente: Revista AUCA 16, 1969 en Pérez de Arce, 2016.

Fig. 288 *Vista nocturna.*
Fuente: Bruno Giliberto en ArchDaily.



Fig. 289



Fig. 290

Fig. 289 *Vista del proyecto en 1972.*
Fuente: Domingo Ulloa Archivo de la Biblioteca Nacional vía En Terreno Chile, en AmoSantiago.
Fig. 290 *Torres del proyecto.*
Fuente: Extraída de ArchDaily.

co como político. Finalmente, la tercera etapa (1973-1989) se posiciona como la menos productiva, puesto que en términos generales solamente se realizaron obras en un sector del proyecto, además de pequeñas intervenciones en el cambio de uso de suelo (Arze-Arce & Román-Crisóstomo, 2018).

El sitio del proyecto estará enfocado en las azoteas de las seis torres ubicadas en la intersección de Avenida Alameda y Avenida Portugal (ver Fig. 291). Cada una de las torres cuenta con una altura de 23 pisos y seis departamentos por piso, con una circulación vertical central. Su contexto está caracterizado por su cercanía a hitos de la ciudad, tales como el cerro Santa Lucía y el Parque Forestal, así como también su conexión con el parque San Borja.

Este proyecto busca explorar la posibilidad de incorporar viviendas en azoteas de conjuntos habitacionales existentes, en este caso, con tipología de torre. Cabe recordar que se utilizará el sistema constructivo diseñado biobasado en micelio.

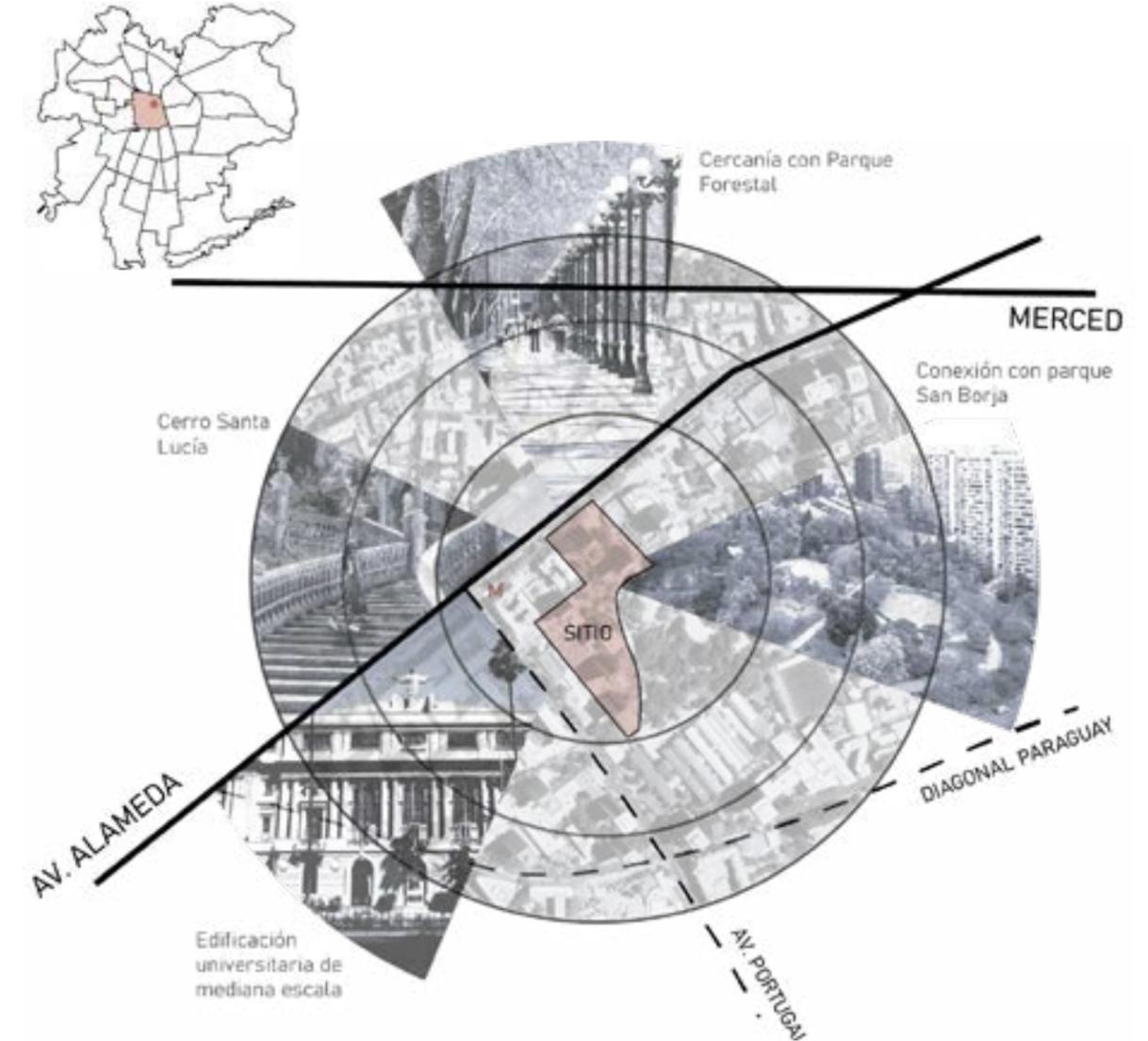


Fig. 291 *Contexto de la Remodelación San Borja.* Fuente: Elaboración propia.

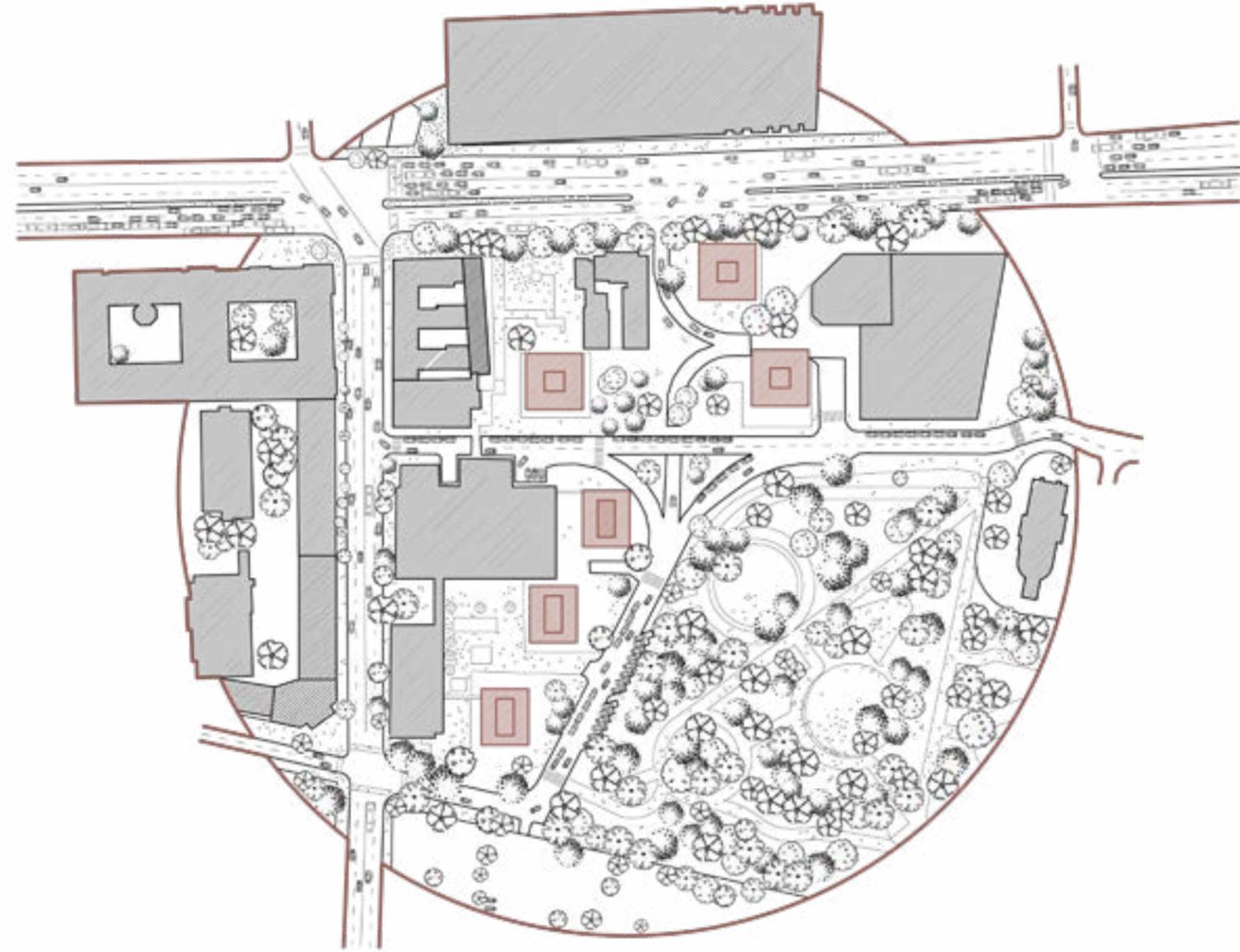


Fig. 292 Planta de emplazamiento Remodelación San Borja. Fuente: Elaboración propia.

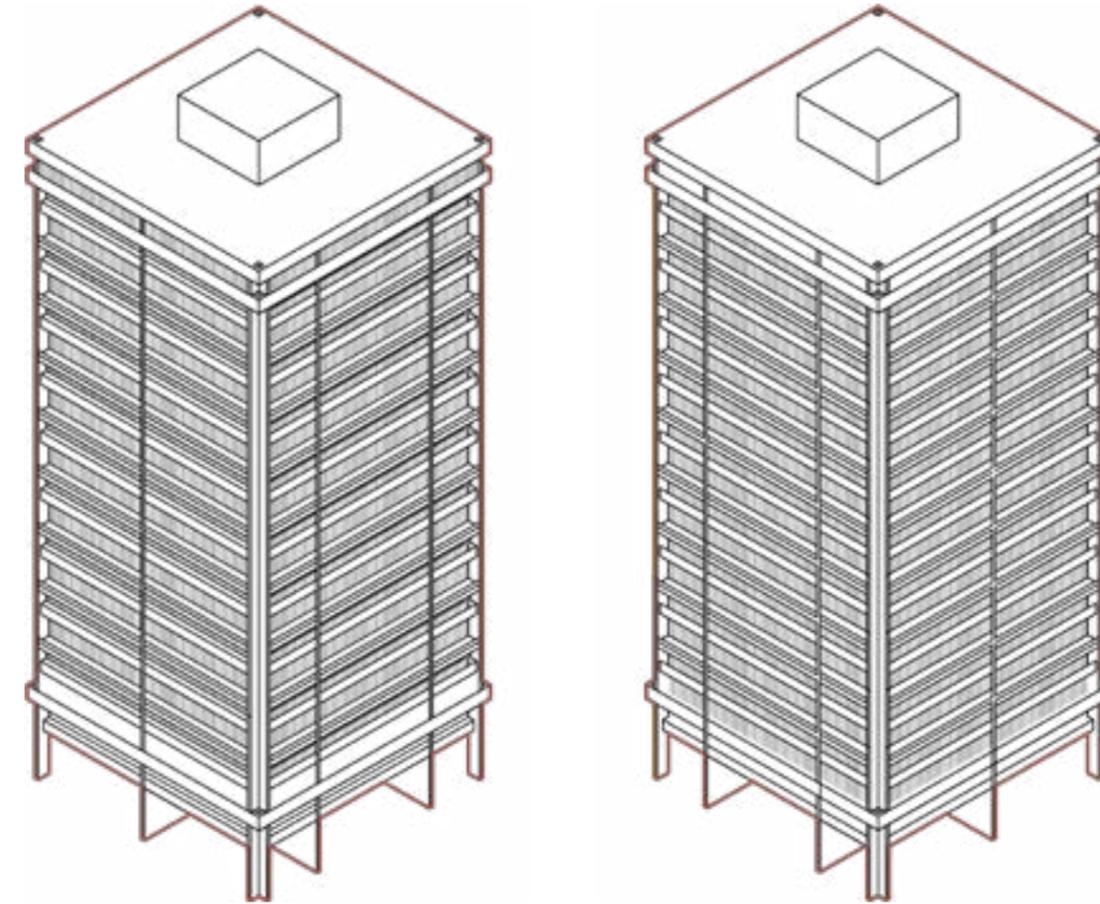


Fig. 293 Axonométrica de edificio tipo de la Remodelación San Borja. Se considera esta torre de vivienda como el edificio base en el que se desarrollará el proyecto y el que se detallará más en profundidad. Es un edificio de 21 plantas que cuenta con una circulación vertical central.

Fuente: Elaboración propia.

9.4.2 Tipología departamento adulto mayor

La primera tipología de esta propuesta de proyecto está pensada para una pareja de adultos mayores. El volumen cuenta con un solo piso, en donde cada recinto garantiza la accesibilidad universal.

El diseño corresponde a una planta en forma de L, en la cual se dispone un módulo mayor A (ver cap. 8.4), seguido de una serie de módulos medianos B. El módulo A corresponde al espacio de living-comedor, el cual conecta con la cocina por un lado y el dormitorio por el otro. Este dormitorio se conforma por la unión de dos módulos B, dando cabida a un espacio amplio. Se incluyen accesos al baño y a la terraza privada.

La longitud de la tipología es de 14,4 metros exteriores en su cara más larga, mientras que su cara más ancha consta de 9 metros exteriores frente a los 4,8 metros de la cara más corta.

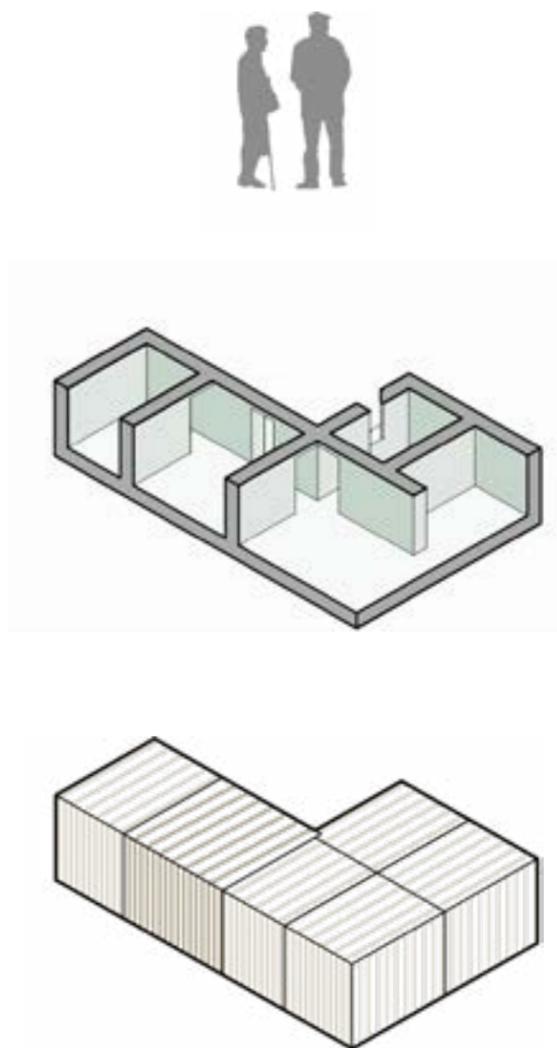


Fig. 294 Esquemas volumétricos de la tipología de departamento para adulto mayor. En el primer esquema, se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencian dos espacios amplios que corresponden al living-comedor y al dormitorio. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. Se observa la utilización de un módulo mayor A que conecta con un módulo mediano B a un costado, mientras que en el otro se unen cuatro de estos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

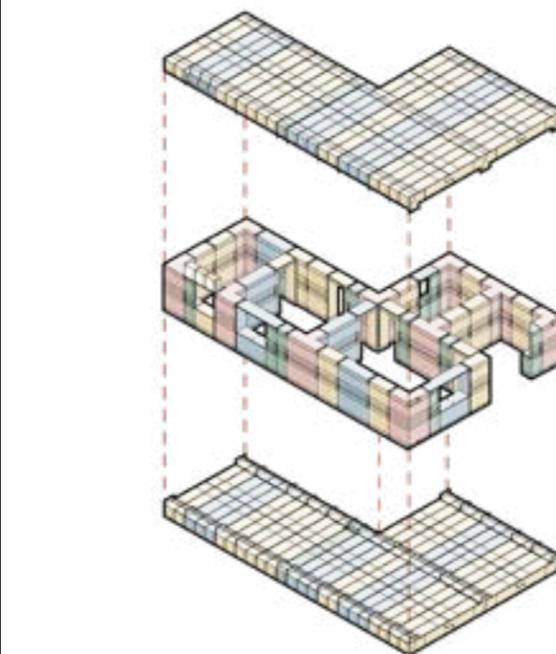
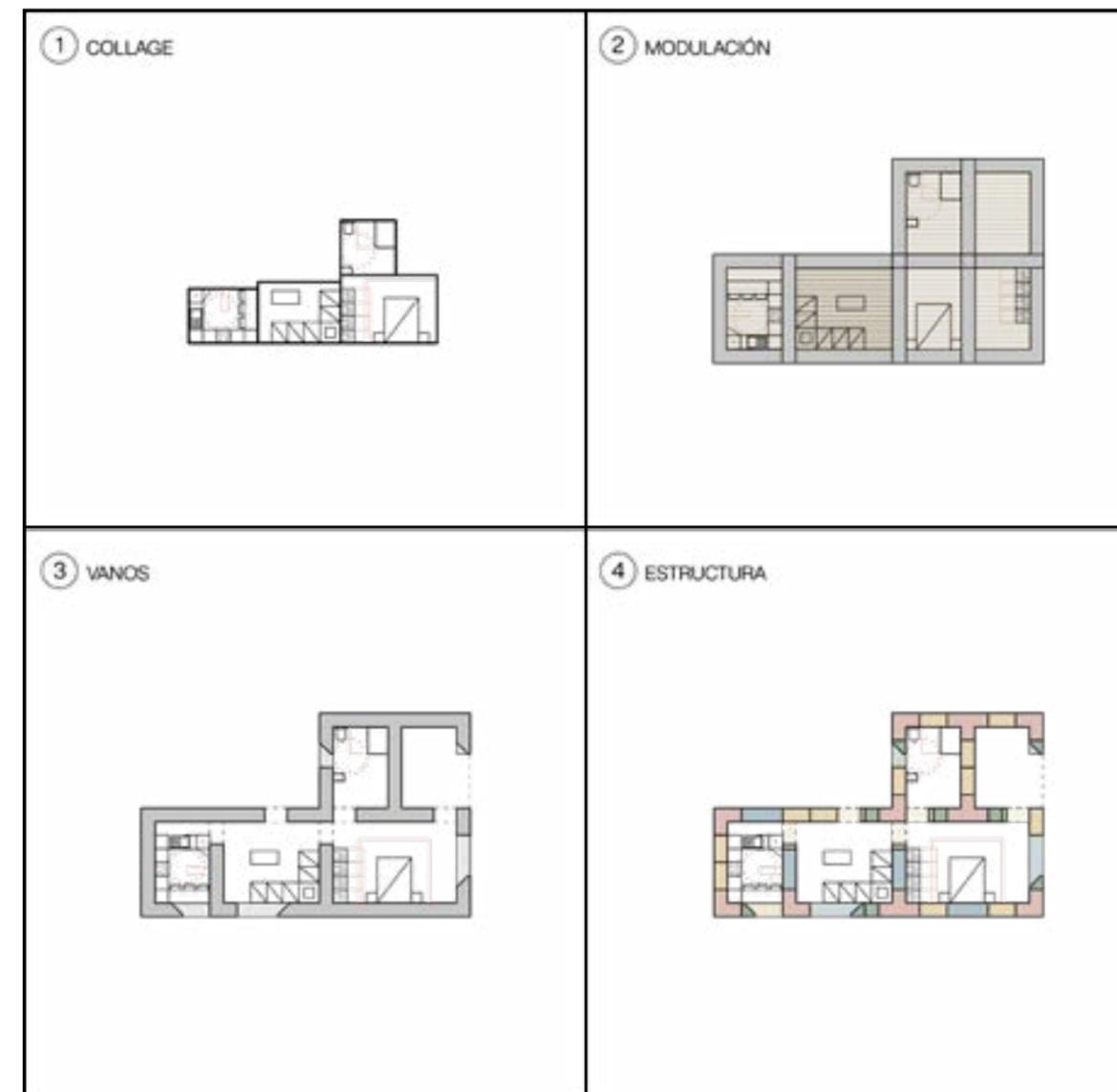


Fig. 295 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

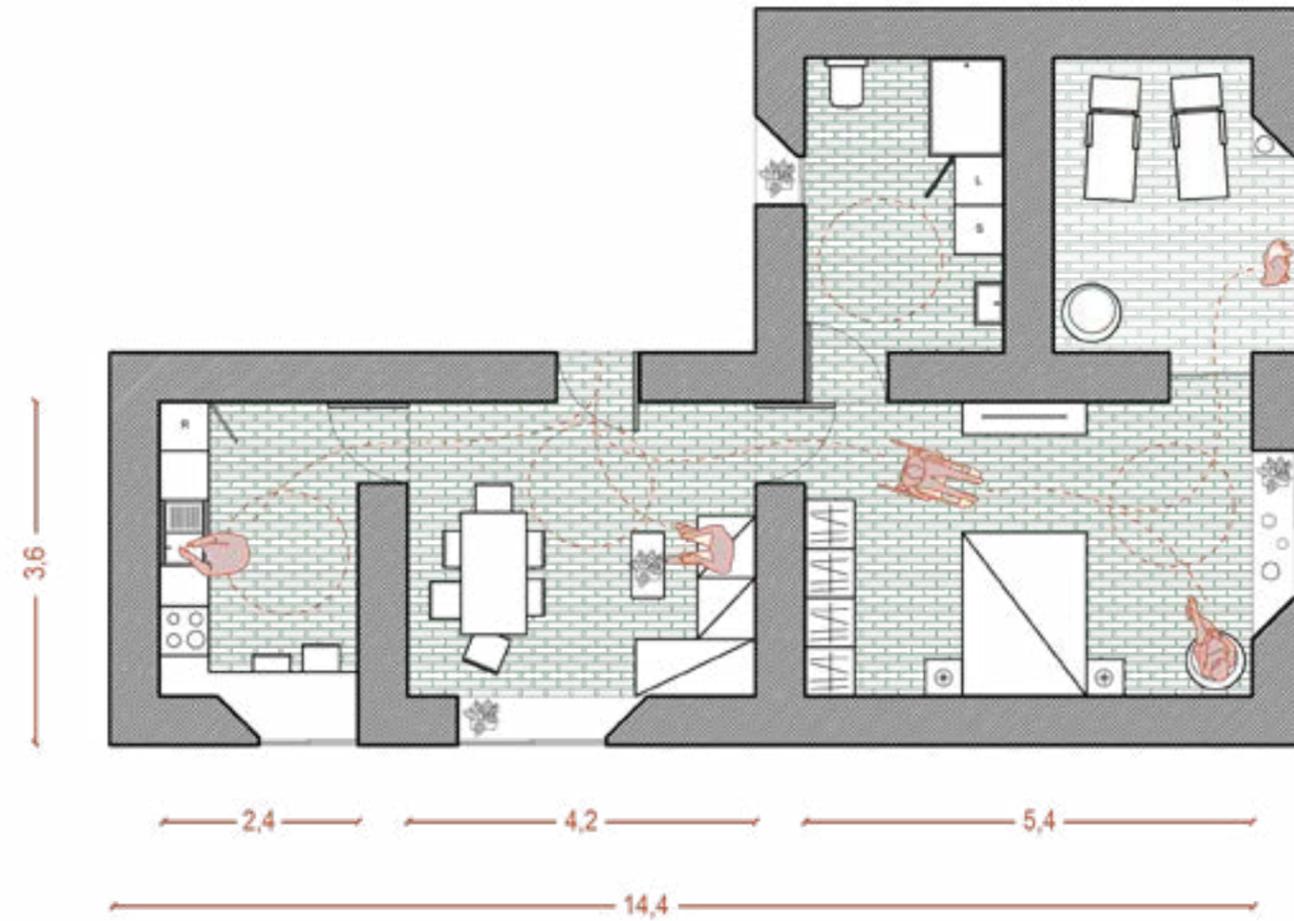


Fig. 296 Planta de arquitectura de la tipología departamento adulto mayor. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 297 Corte de tipología de departamento para adulto mayor. Al lado izquierdo se observa el amplio dormitorio que cuenta con 5,4 metros de ancho, al cual se le agrega el espacio del vano, similar a un bow window. El espacio central corresponde al living-comedor, el cual consta de 4,2 metros de ancho; es desde este espacio desde donde se ingresa a la vivienda. Por último, al lado derecho se observa el espacio destinado para cocina, con 2,4 metros de ancho y una cara libre que facilita la circulación. La longitud total es de 14,4 metros.

Fuente: Elaboración propia.

9.4.3 Tipología dúplex extendido

La segunda tipología presentada se diseña en base a la adición de una pareja de adultos mayores a una familia tradicional, es decir, compuesta por una pareja con hijos.

El volumen cuenta con dos pisos, el cual presenta una doble altura en su terraza. El primer piso se conforma de un espacio central que abarca el living-comedor y la circulación vertical. Desde este espacio se puede acceder a la terraza y a la cocina, así como también a un dormitorio y baño que cuentan con accesibilidad universal. El segundo piso cuenta con un dormitorio principal con baño propio y dos dormitorios secundarios, uno de los cuales conecta visualmente con la terraza inferior. El pasillo central tiene un ancho capaz de dar cabida a un espacio de estudio y descanso.

Las medidas perimetrales de la vivienda son de 8,4 x 13,2 metros y la doble altura tienen un total de 5,4 metros.

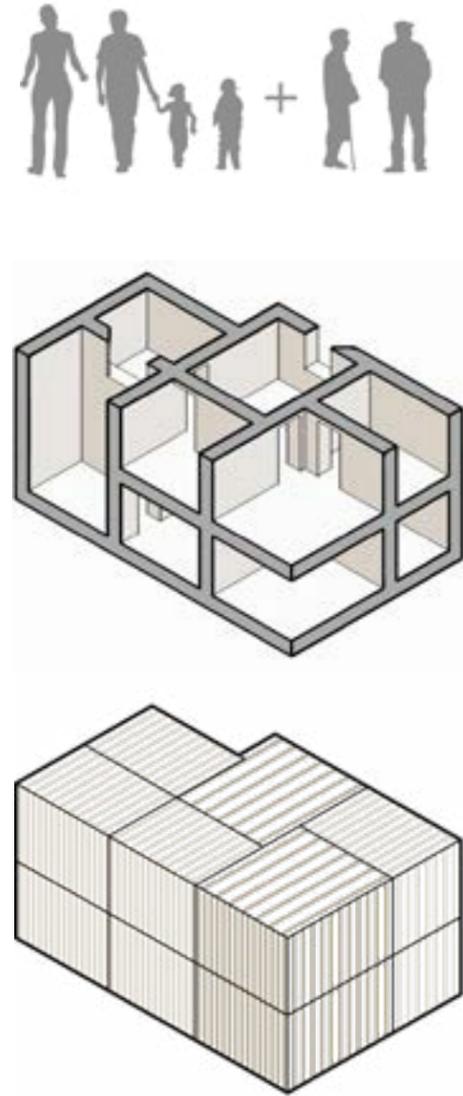


Fig. 298 Esquemas volumétricos de la tipología departamento dúplex extendido. En el primer esquema, se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencia el espacio central y una doble altura en la terraza. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. En esta tipología se desarrolla la posibilidad de apilar los módulos constructivos.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

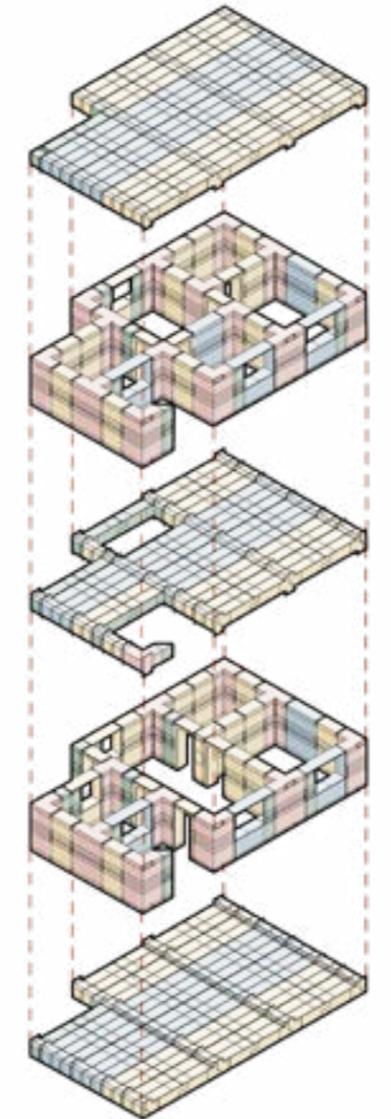
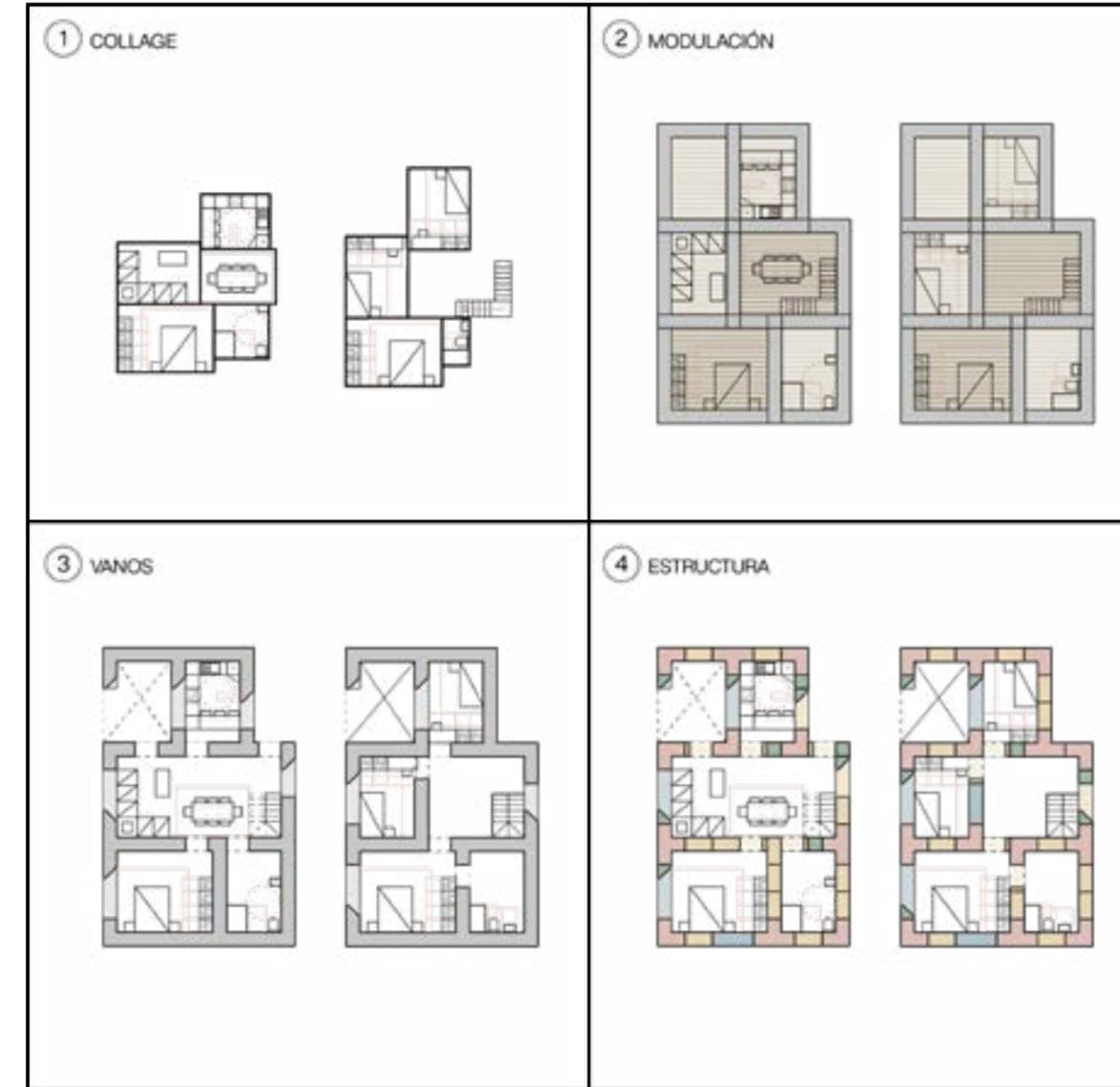


Fig. 299 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

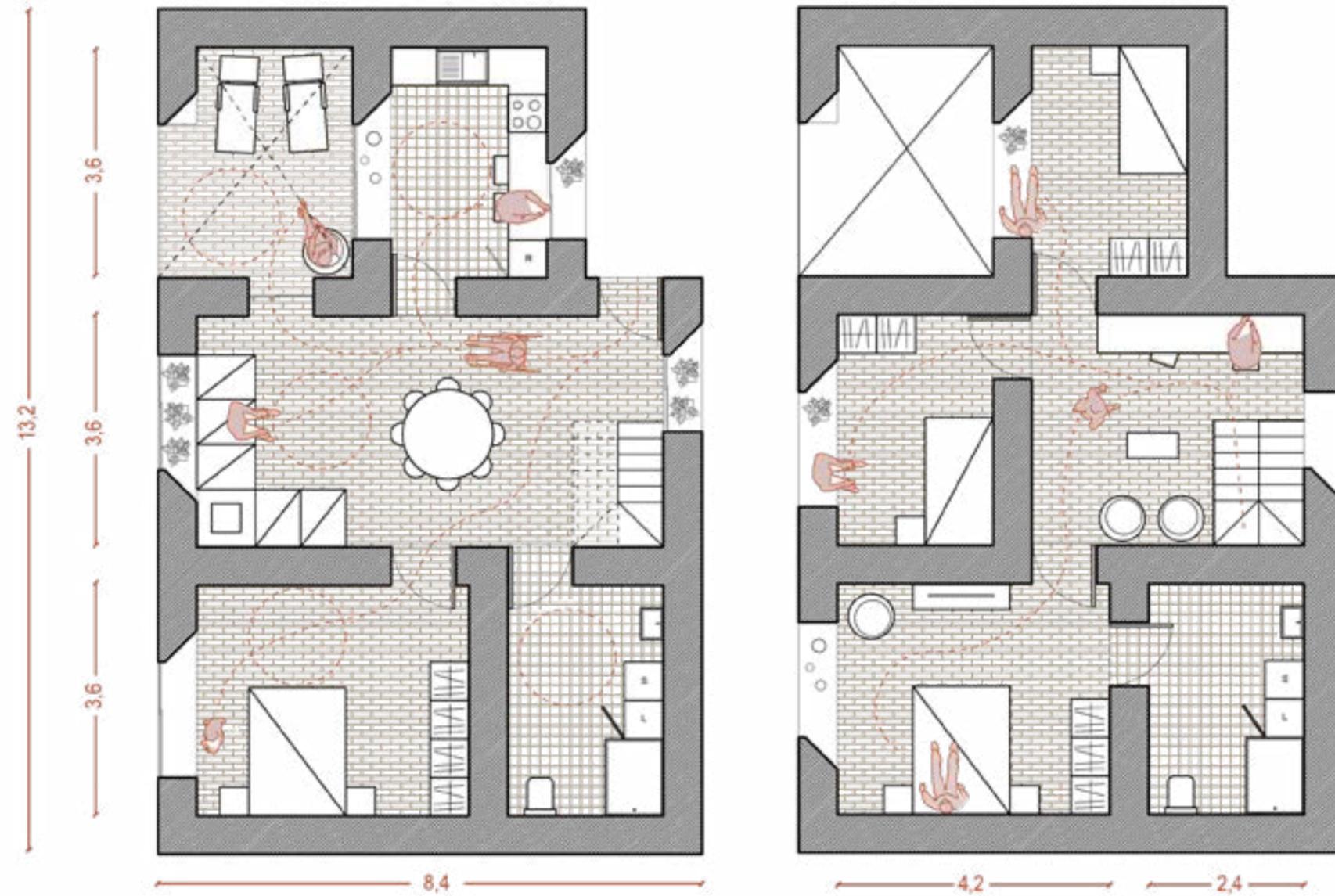


Fig. 300 Plantas de arquitectura de la tipología dúplex extendido. Niveles 1 y 2 de izquierda a derecha. Fuente: Elaboración propia.

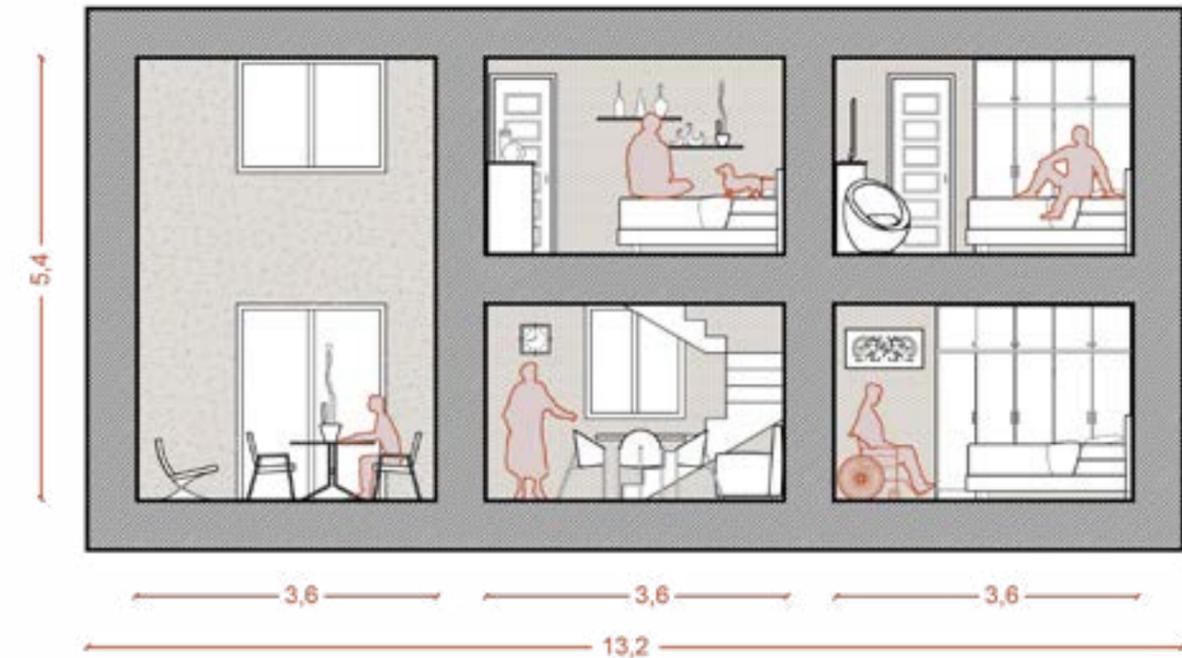


Fig. 301 Corte de tipología dúplex extendido. Al lado izquierdo se observa la terraza, con 3,6 metros de ancho y 5,4 metros de altura, es decir, doble altura. La ventana que se encuentra en el segundo piso corresponde a un dormitorio secundario. En el espacio central se puede ver el living-comedor en el primer piso, mientras que el en el segundo nivel se ve otro dormitorio secundario. Por último, al lado derecho, se ven los dos dormitorios principales en cada piso, uno destinado a la pareja de adultos mayores. La longitud total de la tipología es de 13,2 metros.

Fuente: Elaboración propia.

9.4.3 Tipología estudio compartido

La última tipología corresponde a un departamento compartido que puede dar cabida a dos personas por separado, es decir, cada persona cuenta con su habitación propia, pero comparten baño y espacios comunes.

El volumen se compone por dos módulos medianos B (ver cap. 8.4) en cada costado y un módulo mayor A unido con un módulo B como espacio central. Uno de los costados compone un dormitorio y la terraza compartida, mientras que el otro compone un dormitorio y un baño amplio. El espacio central abarca el living junto con una cocina que incluye espacio de comedor. De esta manera, se propone una tipología en que dos personas cohabitan una sola vivienda, guardando privacidades a la vez que se comparten actividades cotidianas.

La medida exterior tiene un total de 13,2 metros, mientras que cada costado tiene un ancho exterior de 6,6 metros.

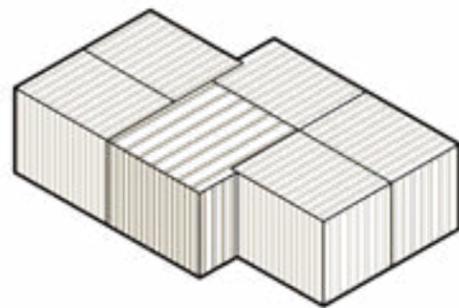
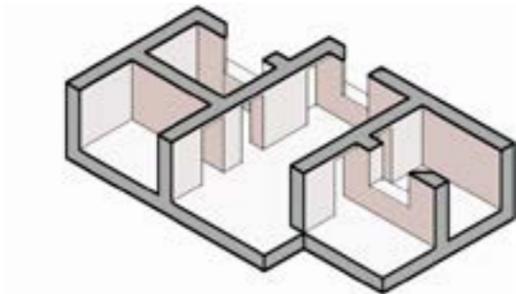


Fig. 302 Esquemas volumétricos de la tipología de departamento estudio compartido. En el primer esquema se observa una axonométrica del volumen base de arquitectura, en donde se evidencian las diferencias entre los recintos. En el segundo esquema se observa una axonométrica que muestra los distintos módulos y su disposición en la composición de la vivienda. Se ubican dos módulos medianos B en cada costado de la vivienda, mientras que el espacio central está conformado por la unión de un módulo mayor A con un módulo B.

Fuente: Elaboración propia.

PASO A PASO DE DISEÑO

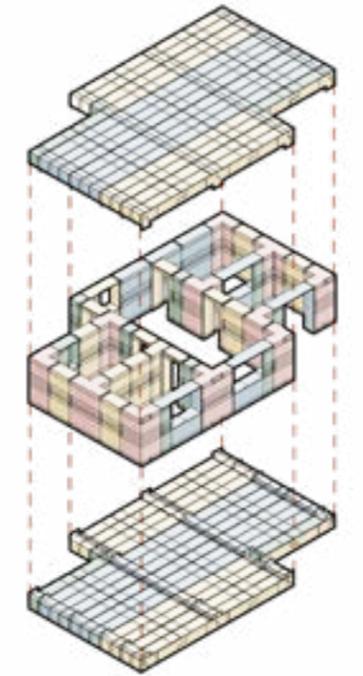
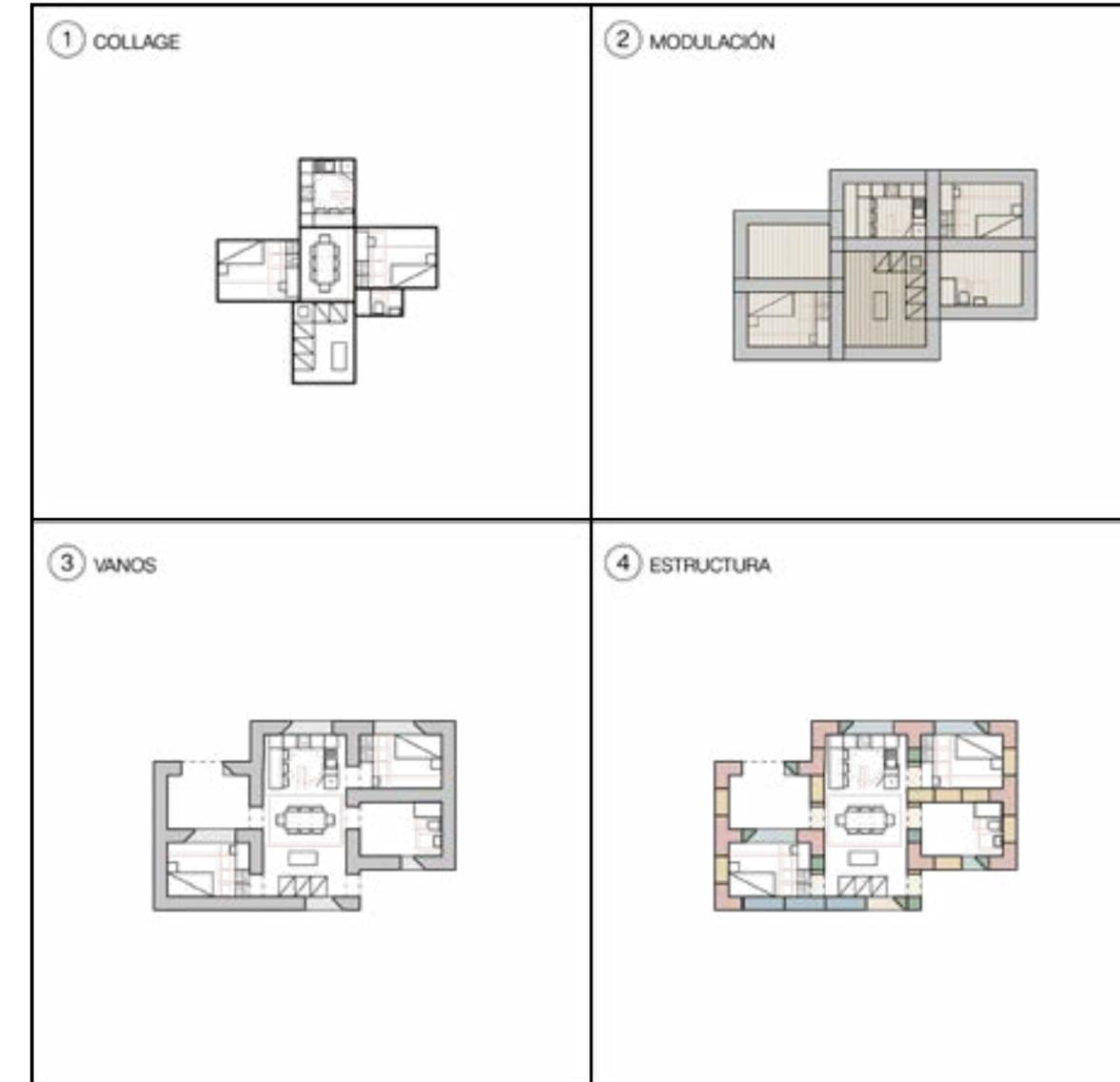


Fig. 303 Paso a paso y estructura. Fuente: Elaboración propia.

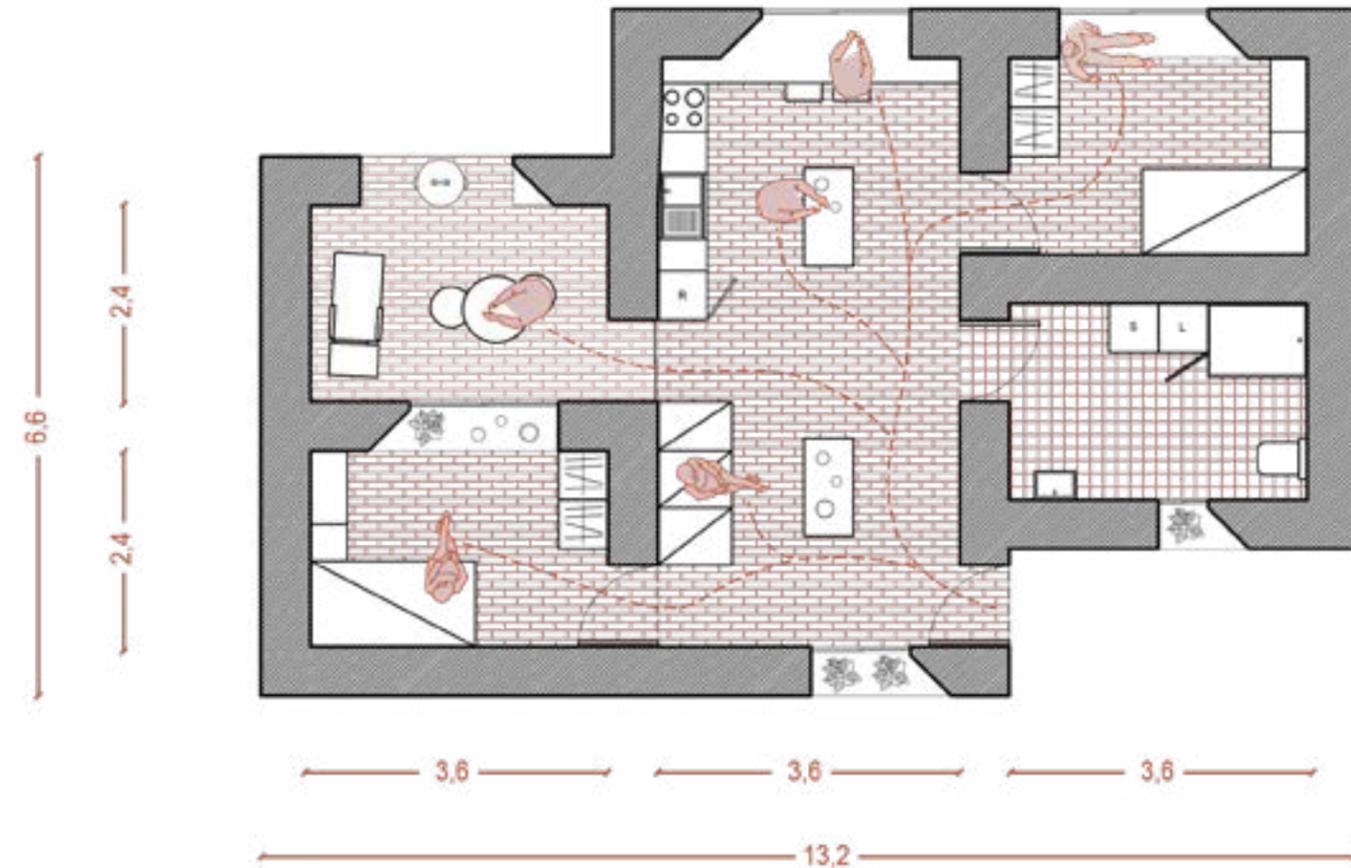


Fig. 304 Planta de arquitectura de la tipología departamento estudio compartido. Fuente: Elaboración propia.

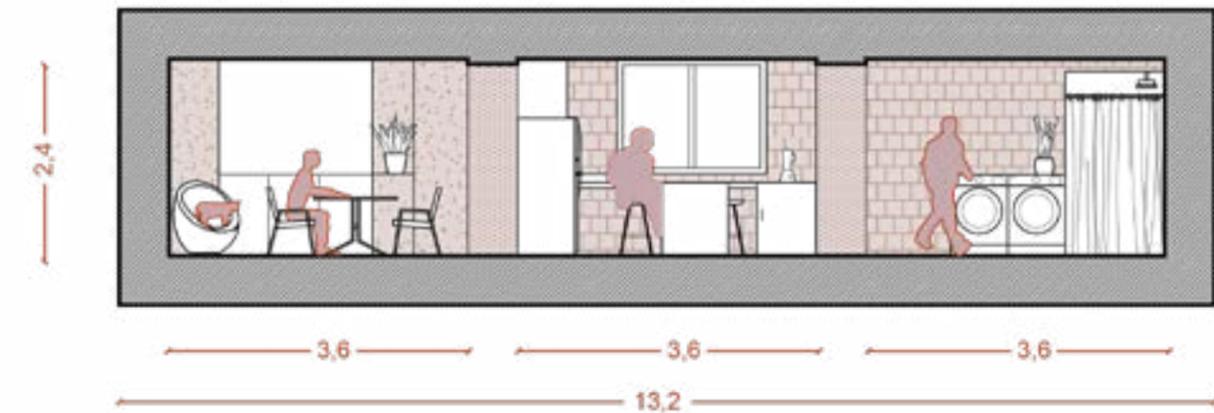


Fig. 305 Corte de tipología de departamento estudio compartido. Al lado izquierdo se observa la terraza compartida, que cuenta con un ancho de 3,6 metros. El espacio central considera una amplia cocina y zona de comedor embebida en el vano; su ancho es igualmente de 3,6 metros. Por último, al lado izquierdo se encuentra el baño compartido. La longitud total de la tipología es de 13,2 metros.

Fuente: Elaboración propia.

9.4.4 Uso de tipologías

Las tres tipologías se utilizarán en el proyecto de vivienda emplazado en las azoteas de la Remodelación San Borja. Como primera etapa, se propone el diseño en la azotea de la torre de planta cuadrada que enfrenta la calle Carabineros de Chile.

La combinación de las tipologías considera la unión de seis departamentos para adulto mayor (en verde), dos dúplex extendidos (en amarillo) y dos estudios compartidos (en rojo). Cada piso cuenta con dos departamentos para adulto mayor, a los que se suma en el primer piso dos dúplex extendidos y en el último nivel dos estudios compartidos.

Se propone que la llegada a los nuevos pisos diseñados sea a través de una extensión de la circulación vertical existente, extendiendo los ascensores. El espacio central resultante da cabida a la entrada de luz natural, en tanto que se usa un suelo de rejillas metálicas.

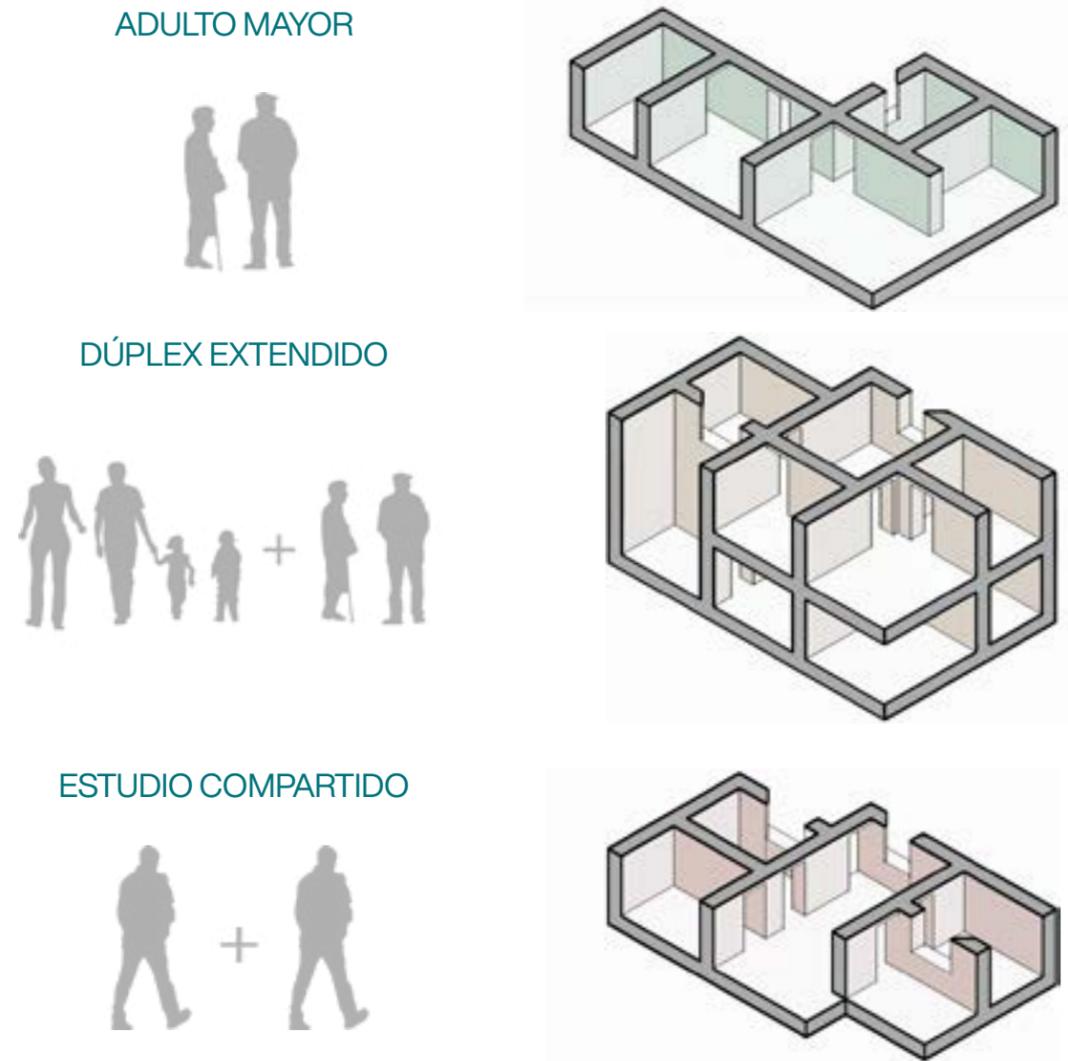


Fig. 306 *Tipologías de proyecto.* Fuente: Elaboración propia.



Fig. 307 *Plantas de arquitectura de la propuesta. Niveles 1 a 3 de izquierda a derecha. El primer nivel cuenta con dos departamentos para adulto mayor y el acceso a dos dúplex extendidos. El segundo nivel continúa el piso de los dos dúplex extendidos y de otros dos departamentos para adulto mayor. Finalmente, el tercer nivel da cabida a otros dos departamentos para adulto mayor, junto con dos estudios compartidos.*

Fuente: Elaboración propia.

9.3.7 Emplazamiento en el contexto

Las plantas presentadas (ver Fig. 307) corresponden al proyecto sobre la azotea de una de las torres de planta cuadrada que da a la calle Carabineros de Chile. Junto con el diseño anterior, se proyectan otros que son emplazados en el resto de las azoteas, utilizando las mismas tipologías.

Las mismas plantas se utilizan para establecer vivienda colectiva en las otras dos torres de la manzana, mientras que para las otras tres torres, de planta rectangular (ver Fig. 308), la combinación de las tipologías se diferencia, sin dejar de responder a una lógica común. De esta forma, se conforman conjuntos de vivienda que extienden tres pisos a cada una de las torres existentes.

A continuación, se presentan elevaciones y vistas del proyecto (ver Figs. 309 y 310).

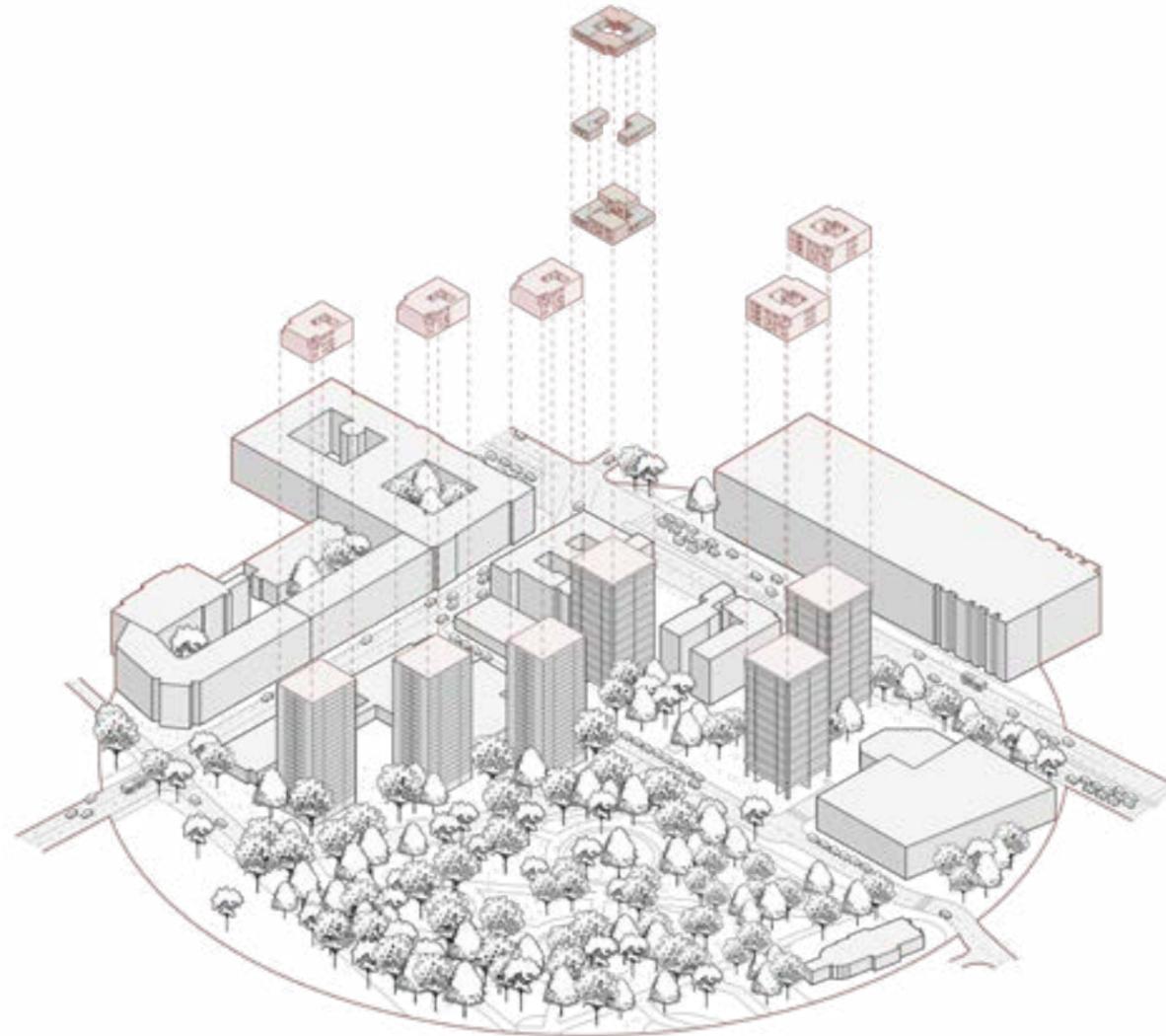


Fig. 308 Axonométrica explotada del proyecto. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 309 Elevaciones de una de las torres de planta cuadrada que enfrenta la calle Carabineros de Chile. En rojo se presenta el proyecto diseñado con el sistema constructivo propuesto. Ambas elevaciones dan cuenta de una continuidad volumétrica de la torre. En la elevación ubicada a la izquierda se observa que el proyecto (en rojo) cuenta con una mayor cantidad de vanos en comparación a la parte del proyecto que se presenta en la elevación ubicada a la derecha.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 310 Imágenes objetivo de los proyectos en azoteas de la Remodelación San Borja. La imagen de arriba muestra lo que sería una vista desde otro de los edificios hacia dos de las propuestas (en rojo). La imagen de abajo muestra lo que sería una vista del conjunto desde el cerro Santa Lucía.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 10. Conclusiones finales



Fig. 311 Edible and poisonous forest mushrooms set. Fuente: pch.vector en FreePik.

10. Conclusiones finales

La integración del micelio en la industria de la construcción continúa requiriendo una investigación exhaustiva en términos de resistencia estructural, durabilidad y logística. No obstante, este biomaterial se posiciona como una alternativa prometedora para disminuir el impacto ambiental en este sector.

La implementación de estrategias de refuerzo y contención puede mejorar las capacidades estructurales del micelio en cuanto a rigidez y deformación y resistencia a solicitaciones estructurales. Sin embargo, es importante considerar que al tratarse de un material vivo, su desempeño está sujeto a condiciones óptimas de crecimiento, de lo contrario sus capacidades pueden ser mermadas. Asimismo, su viabilidad estructural dependerá de su integración a otros materiales, conformando materiales compuestos.

Esta investigación se centró en el desarrollo de un sistema constructivo basado en micelio, explorando su capacidad como material portante. Este sistema consideró tanto el estado del arte de la construcción con micelio, así como la investigación de sistemas y técnicas constructivos existentes y la exploración con prototipos estructurales. Dentro de estas estrategias se destaca el uso de elementos verticales de madera, utilizados en los tres ejes dimensionales, así como también la utilización de madera como elemento que confina un componente determinado mediante la cobertura de una sección de sus caras laterales. Se destaca también el uso de elementos textiles que permiten confinar el micelio, evitando su colapso estructural, lo cual puede ser mejorado tensando el textil. Cabe mencionar también las distintas estrategias que logran mejorar el crecimiento del micelio en su período de incubación, tales como las aperturas en los componentes para su respiración y la definición de espesores que garanticen la colonización al interior del sustrato.



Fig. 312

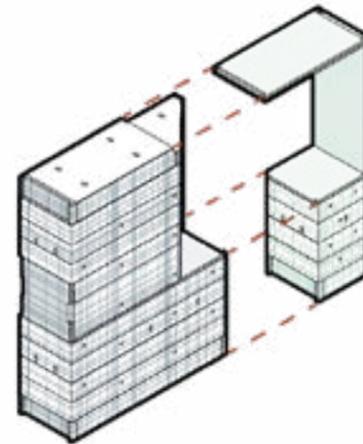


Fig. 313

Fig. 312 *Prototipo de micelio para ensayo.*

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 313 *Unión de componentes.*

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos están sujetos a las condiciones de crecimiento presentes en el Laboratorio de Biofabricación de la Escuela de Arquitectura PUC, a lo cual se suma el espacio de incubación dispuesto para ser utilizado. En ese sentido, para poder investigar a mayor profundidad será necesario un control constante de las condiciones de crecimiento y, en el caso hipotético del desarrollo de un sistema constructivo, una mayor capacidad de espacio para la elaboración de piezas de micelio. Junto con lo anterior, se vuelve necesario contar con experimentos estructurales que puedan medir de manera más precisa el comportamiento de las probetas, pensados desde el planteamiento de estos hasta las máquinas que serán utilizadas. En ese sentido, esta investigación no llega a ser precisa al evaluar la resistencia a la compresión y la tracción, sino que más bien ejecuta exploraciones que pueden dar indicios de cómo se comporta el material.

Entonces, los hallazgos de esta investigación proporcionan pautas que permiten continuar

con la experimentación con el micelio en el campo de la construcción, la arquitectura y el diseño. Los proyectos presentados permiten dar una idea sobre la arquitectura resultante de un sistema constructivo basado en micelio. Emplazados sobre edificaciones existentes, el sistema se posiciona como una alternativa ligera y modular que permite densificar la ciudad a la vez que facilita el proceso de diseño y el montaje *in situ*, pues cuenta con componentes prefabricados. De esta forma, los proyectos se toman como referentes de exploración de las capacidades del uso del micelio en la construcción, sin la pretensión de que esta sea su utilización final, sino más bien como un ejercicio explorativo. En suma, la aproximación de esta investigación permite entregar una base de exploración y conocimiento para continuar con la investigación del micelio y su potencial, aludiendo a temáticas actuales de sustentabilidad en cuanto a su posibilidad de compostaje, ligereza, rapidez de crecimiento, capacidad de moldearse, así como la eventual agilización de procesos constructivos.

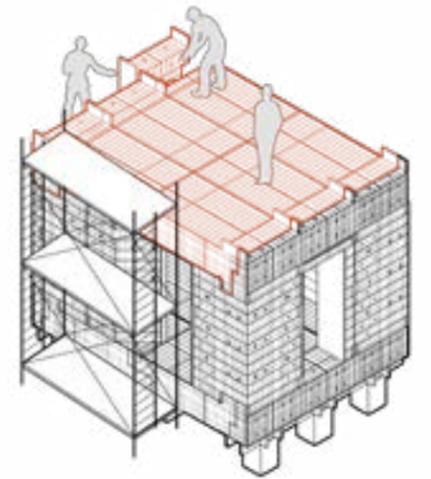


Fig. 314

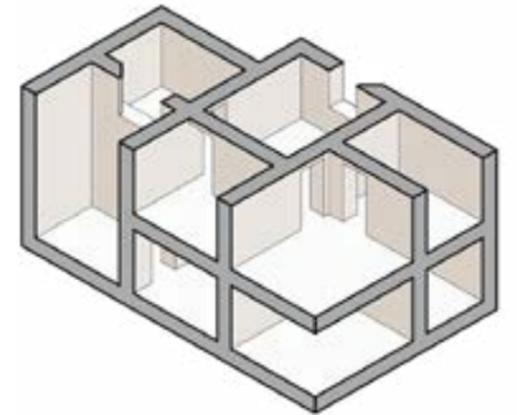


Fig. 315

Fig. 314 *Proceso de construcción.*

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 315 *Esquema de vivienda modular.*

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO



Fig. 316 *Edible and poisonous forest mushrooms set.*
Fuente: pch.vector en FreePik.

A.1 Curso de biomateriales

El curso titulado “Introducción a los Biomateriales y la Biofabricación”, impartido el segundo semestre del año 2022, estuvo orientado a la experimentación con micelio, con la finalidad de proponer una pieza constructiva y/o de arquitectura. El desarrollo fue grupal y estuvo caracterizado por la ideación de prototipos, con miras a una exploración físico - mecánica, constructiva y formal.

Como referentes, se tuvo en cuenta el proyecto MYCO TREE, el cual exploraba la unión de distintas piezas para conformar una columna semejante a las ramificaciones de un árbol. Dicha unión se llevaba a cabo por medio de la disposición de un esqueleto interno, vale decir, las piezas contaban con un elemento interior que permitía su conexión con el resto de las piezas.

Junto con lo anterior, cabe destacar que el diseño del pilar estuvo inspirado en la sección de una columna gótica torcida, lo

cual en sí plantea un desafío formal que permite explorar el trabajo del micelio fúngico dentro de estructuras complejas.

El desarrollo de los prototipos se llevó a cabo en el laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio de Biofabricación (BIOFAB). Para ello se utilizó sustrato conformado a partir de hongo Ostra (*Pleurotus Ostreatus*) y viruta de madera. Los moldes utilizados fueron diseñados en tres dimensiones e impresos en PLA para su utilización en serie.

En cuanto al proceso de armado de los moldes, se tiene en primer lugar la ubicación de tubos de PVC a la base de poliestireno expandido, según el lugar indicado por la planimetría. Luego, se ubicaron los moldes de PLA sobre la base, con lo cual se podría pasar a inocular. La inoculación se llevó a cabo tratando de mantener los tubos de PVC en su sitio y de cubrir los recovecos al interior del molde. Luego, se le añade otra pieza de poliestireno expandido y se deja en la incubadora para que el sustrato sea colonizado.



Fig. 317



Fig. 318

Fig. 317 *MycoTree*.
Fuente: Carlina Teteris en Futurium.

Fig. 318 *Proyecto columna fúngica*.
Fuente: Elaboración grupo de trabajo.



Ubicación de PVC.



Ubicación molde.



Previo a inocular.



Inocular.



Crecimiento.



Cobertura.

Fig. 319

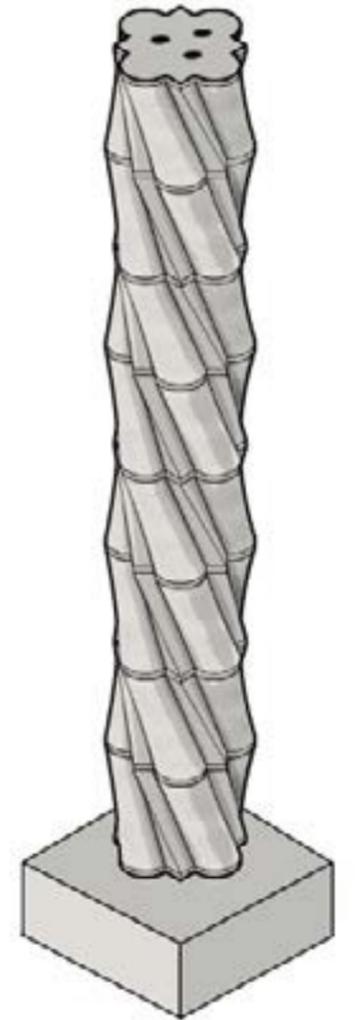


Fig. 320

Fig. 319 *Paso a paso*.
Fuente: Elaboración grupo de trabajo.
Fig. 320 *Proyecto columna fúngica*.
Fuente: Elaboración grupo de trabajo.

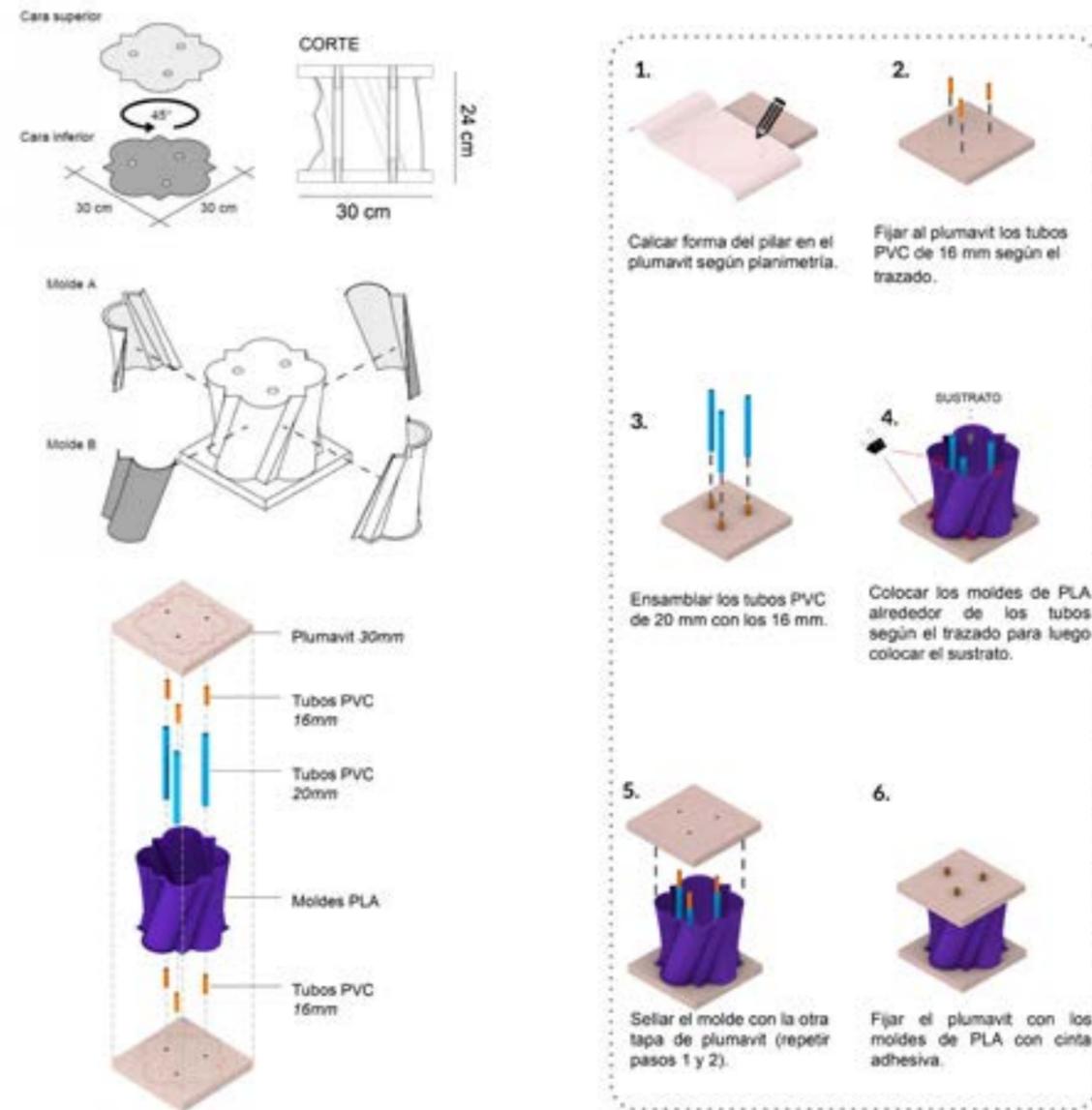


Fig. 321 *Fabricación de la columna fúngica y pasos para su construcción.*
Fuente: Elaboración grupo de trabajo.

A.2 Proyecto según sistema preliminar

TIPOLOGÍA I: DEPARTAMENTO SIMPLE

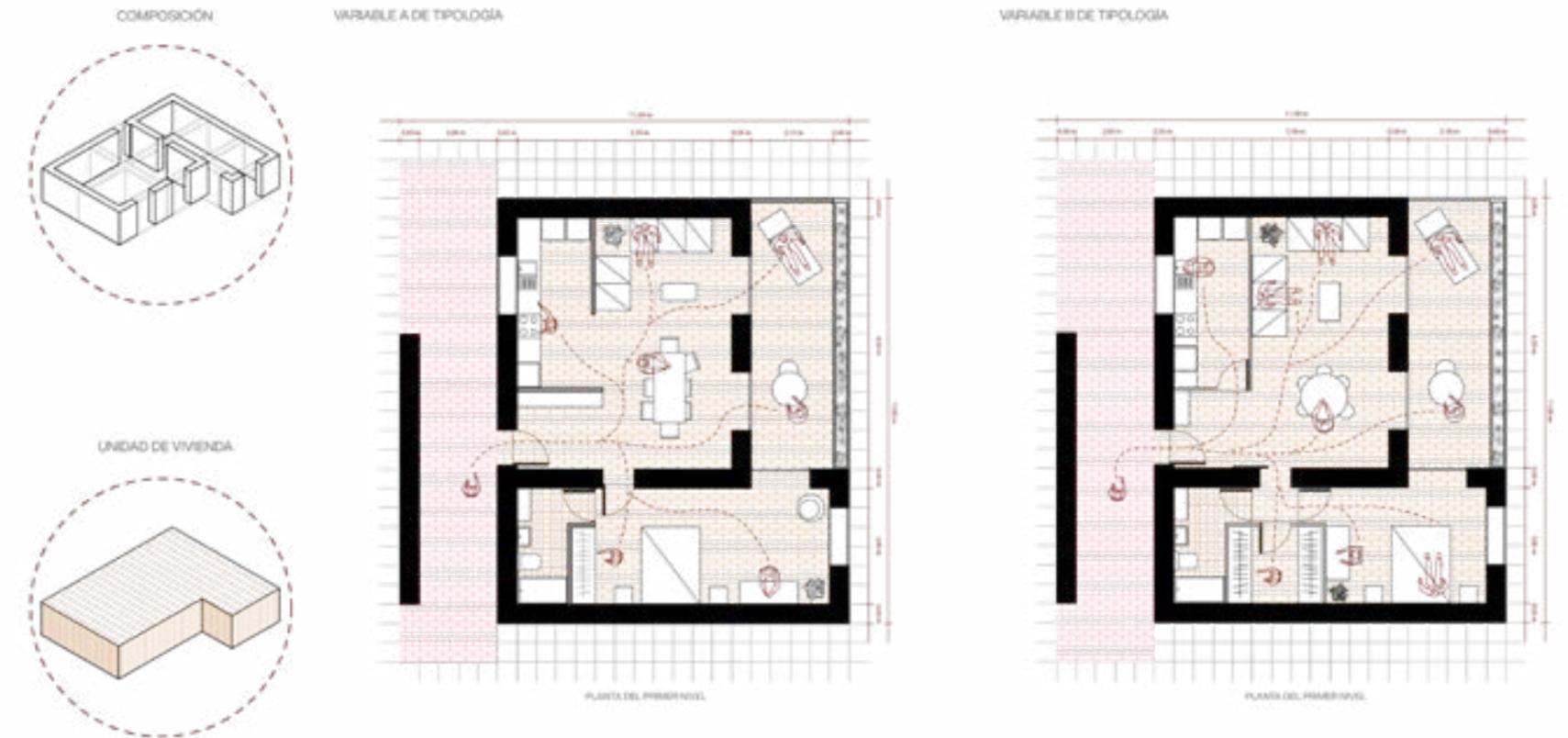


Fig. 322 *Esquemas y plantas de tipología I departamento simple.* Fuente: Elaboración propia.

TIPOLOGÍA II: DEPARTAMENTO DÚPLEX DOBLE FACHADA



Fig. 323 Esquemas y plantas de tipología II departamento dúplex doble fachada. Fuente: Elaboración propia.

TIPOLOGÍA III: DEPARTAMENTO DÚPLEX DOBLE FACHADA



Fig. 324 Esquemas y plantas de tipología III departamento dúplex doble fachada. Fuente: Elaboración propia.

TIPOLOGÍA IV: DEPARTAMENTO DÚPLEX TIPO LOFT

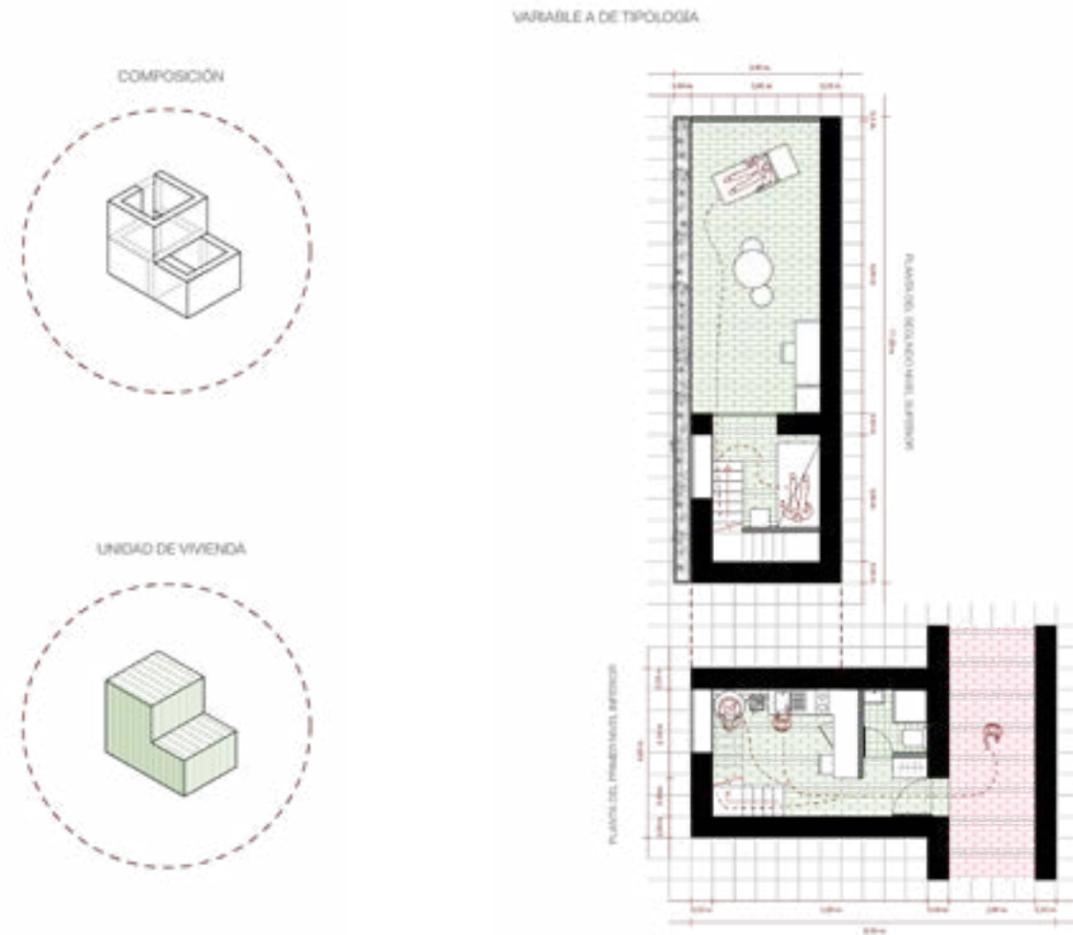


Fig. 325 Esquemas y plantas de tipología IV departamento dúplex tipo loft. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 326 Plantas niveles 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

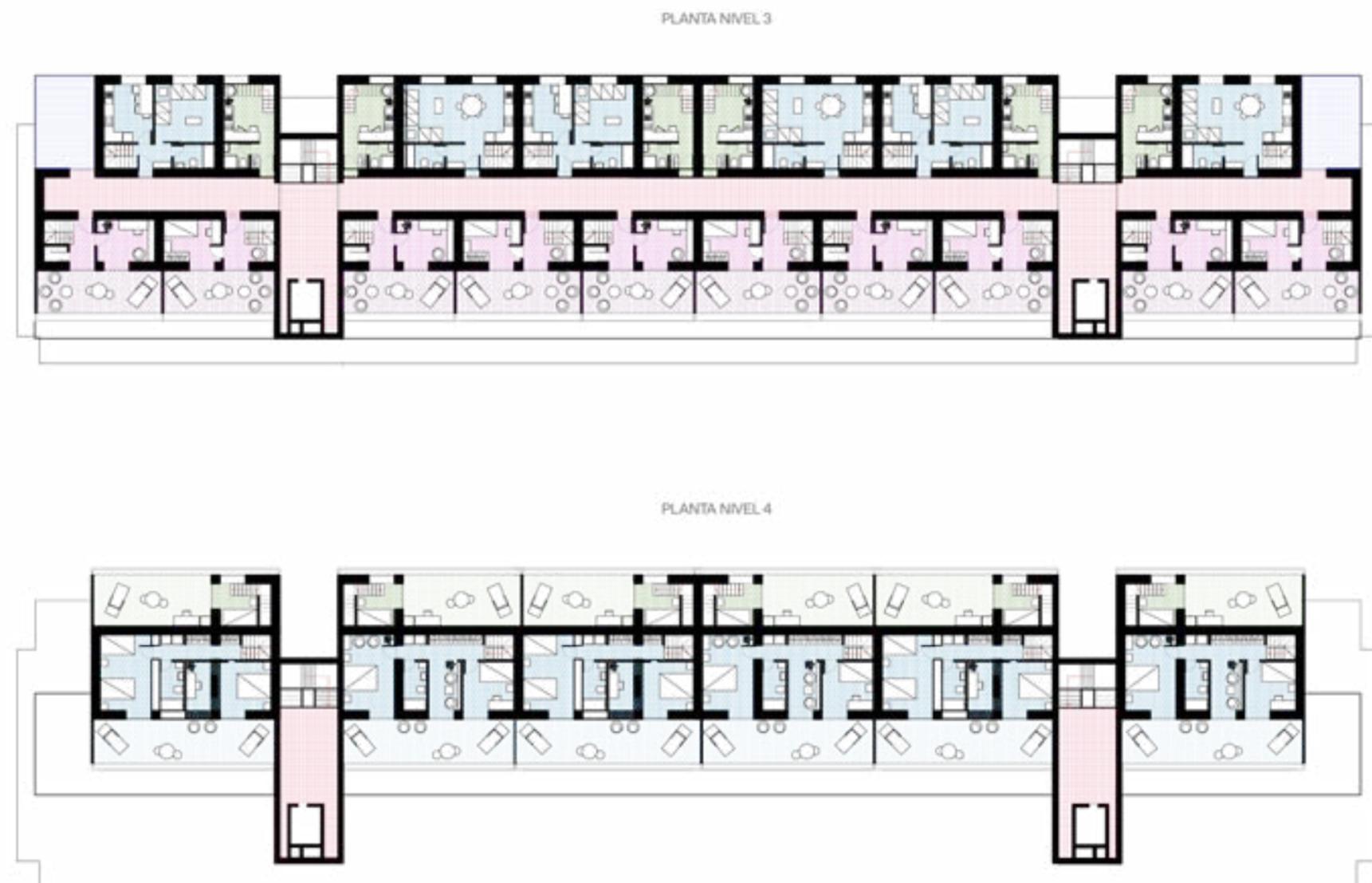


Fig. 327 Plantas niveles 3 y 4. Fuente: Elaboración propia.

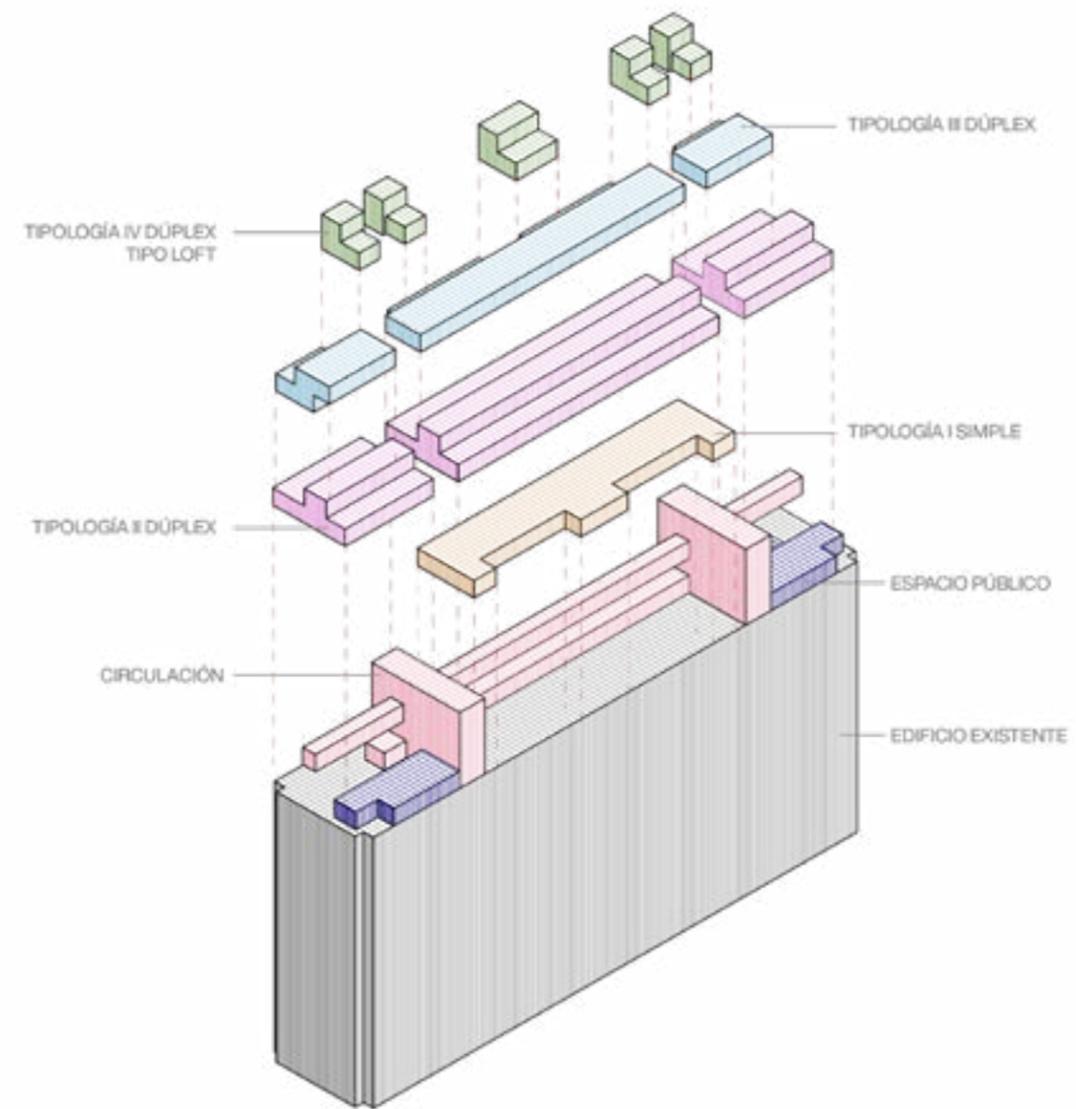


Fig. 328 Axonométrica explotada. Fuente: Elaboración propia.

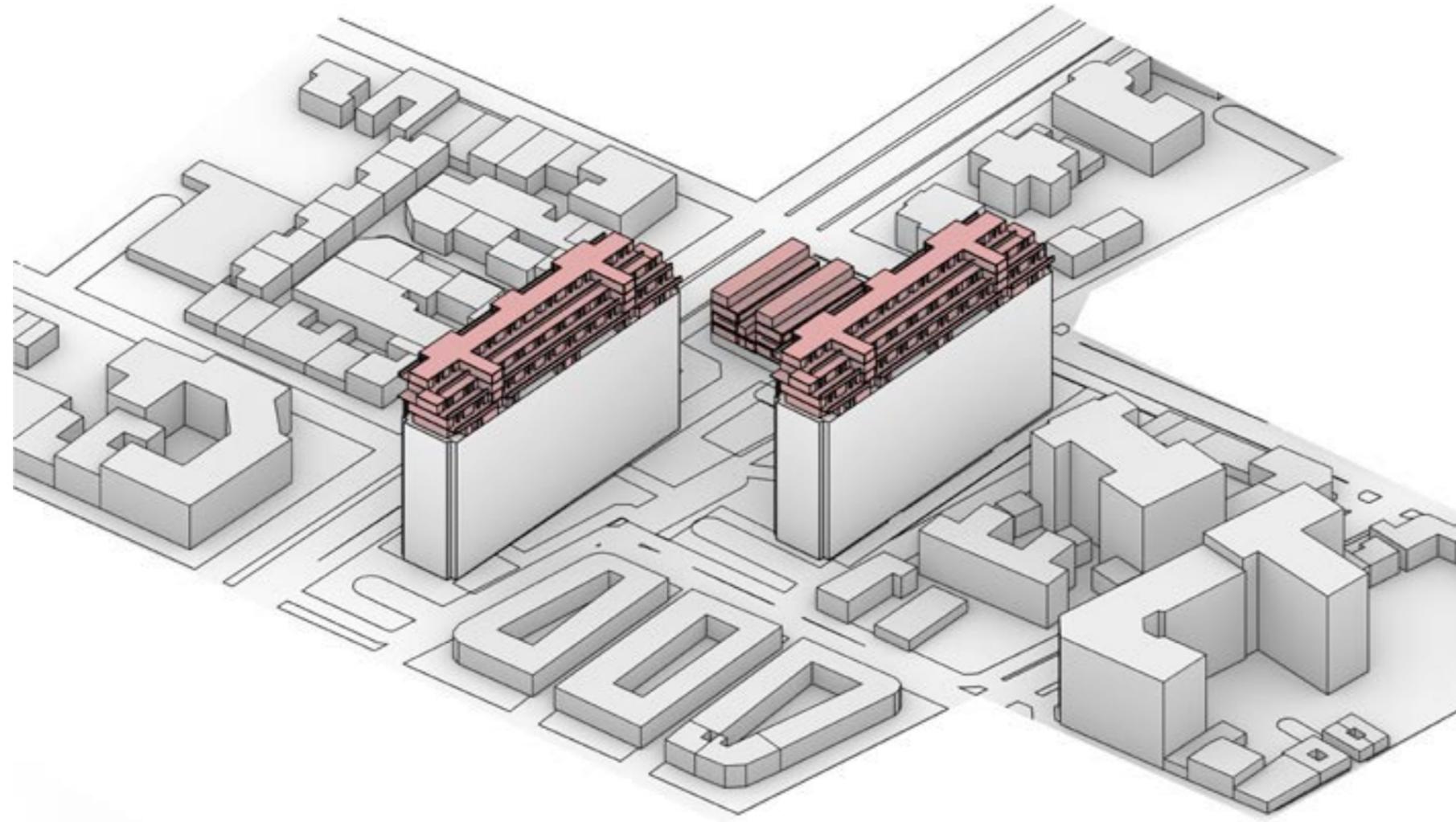


Fig. 329 *Axonométrica urbana*. Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

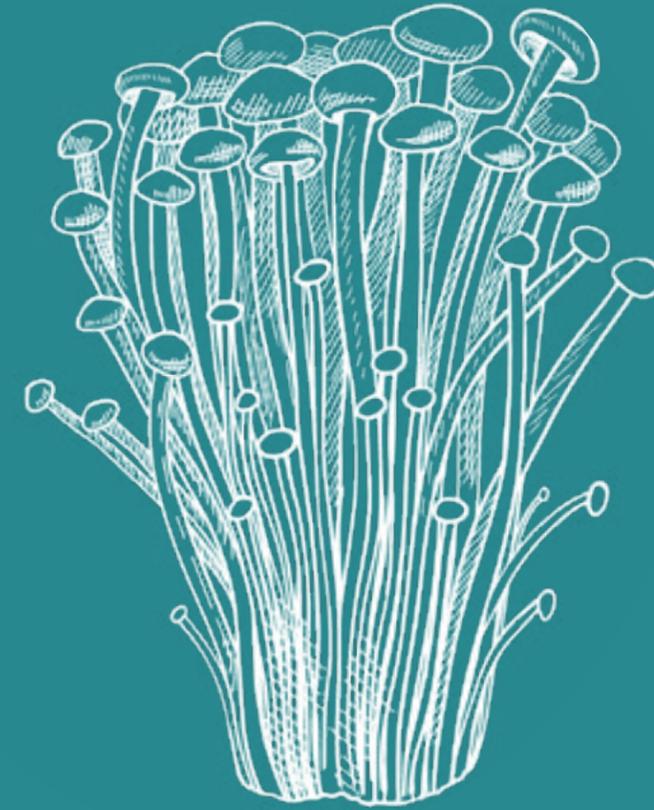


Fig. 330 *Edible and poisonous forest mushrooms set*.
Fuente: pch.vector en FreePik.

Referencias bibliográficas

- Aedo, V. (2021). Centro de visitantes construido con bloques perforados fabricados con micelio de hongo: proyecto de construcción de centro de investigación ambiental y turístico en Puerto Grosse.
- Almpani-Lekka, D., Pfeiffer, S., Schmidts, C., & Seo, S. il. (2021). A review on architecture with fungal biomaterials: the desired and the feasible. In *Fungal Biology and Biotechnology* (Vol. 8, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40694-021-00124-5>
- Amador, Á. (n.d.). Ensayos a tracción del hormigón: Ensayos Indirectos. Retrieved February 10, 2024, from <https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/>
- Appels, F. V. W., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M. B., Dijksterhuis, J., Krijgsheld, P., & Wösten, H. A. B. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials and Design*, 161, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.027>
- Arze-Arce, Gonzalo, & Román-Crisóstomo, Sebastián. (2018). La Remodelación San Borja en Santiago de Chile: de promesa revolucionaria a reactivador inmobiliario. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(1), 103-111. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n1.47134>
- Avendaño, P. (2021). Estudio de envolvente arquitectónica en base a textil de micelio. Proyecto de centro de interpretación en Parque Omora.
- Batavia. (n.d.). Sofá Chester: sus principales características.
- Bitting, S., Derme, T., Lee, J., Van Mele, T., Dillenburger, B., & Block, P. (2022). Challenges and Opportunities in Scaling up Architectural Applications of Mycelium-Based Materials with Digital Fabrication. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020044>
- Casa Abierta. (n.d.). Inmuebles-Villa. Retrieved February 20, 2024, from <https://casa-abierta.com/post.php?t=588a4e058e2e1>
- Cervera, M., & Blanco, E. (2019). Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2015). Resistencia de materiales.

- CMN (Consejo de Monumentos Nacionales de Chile). (n.d.). Conjunto Habitacional Villa Olímpica. Retrieved February 20, 2024, from <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/zonas-tipicas/conjunto-habitacional-villa-olimpica>
- Coloma, V. (2021). Uso de material a base de micelio para la elaboración de componente prefabricado que resulte compatible con construcciones sustentables.
- Cuq, L. (2021). Desarrollo de componente para la construcción con biomateriales en base a micelio de hongo, mediante técnicas de prensado en calor Propuesta de instalación de infraestructura en Estación Biológica Senda Darwin, Ancud.
- Dejtjar, F. (2021, October 27). Construyendo con hongos en Argentina: El Refugio Fúngico a base de micelio en Bariloche.
- Dessi-Olive, J. (2022). Strategies for Growing Large-Scale Mycelium Structures. *Biomimetics*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7030129>
- Diccionario de la construcción. (n.d.).
- Druot, F. (2007). PLUS: la vivienda colectiva: territorio excepción: (ed.). Editorial GG. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecasuc/titulos/45530>
- Duarte, G., Alcindor, M., & Correia, M. (2018). Arquitectura tradicional de tierra en Europa: un patrimonio de entramado y encestado, adobe, tapia y pared de mano.
- Enarevba, D. R., & Haapala, K. R. (2023). A Comparative Life Cycle Assessment of Expanded Polystyrene and Mycelium Packaging Box Inserts. *PROCEDIA CIRP*, 116, 654–659.
- Fernández, C. (n.d.). Sistemas de producción en serie de casas de madera en la arquitectura de la 2a mitad del siglo XX. El sistema Expansiva de Jørn Utzon.
- Fuentes-Cantillana, I. (2020). TFG Biofabricación. Micelio como material de construcción: biocomposite en sustratos lignocelulósicos.
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., Pellegrini, M., & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11010281>
- Gomaa, M., Schade, S., Wen Bao, D., & Min Xie, Y. (2023). Automation in rammed earth construction for industry 4.0: Precedent work, current progress and future prospect.

- Gray, S., Vergara, F., & Meneses, C. (2021). Manual de diseño básico para el taller de arquitectura (1st ed.). Ediciones UC.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Heisel, F., Schlesier, K., Lee, J., Rippmann, M., Saeidi, N., Javadian, A., Nugroho, A. R., Hebel, D., & Block, P. (2017). Design of a load-bearing mycelium structure through informed structural engineering: The MycoTree at the 2017 Seoul Biennale of Architecture and Urbanism.
- Javadian, A., Wielopolski, M., Smith, I. F. C., & Hebel, D. E. (2016). Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. *Construction and Building Materials*, 122, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084>
- Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A., & John, S. (2020). Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review. *Materials and Design*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108397>
- Karana, E., Blauwhoff, D., Jan Hultink, E., & Camere, S. (2018). When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials. www.ijdesign.org
- Kenzo Unno fabric-formed walls. (n.d.).
- Lelivelt, R. J. J. ; Lindner, G. ; Teuffel, P. M. ; Lamers, H. M., Lelivelt, R., Lindner, G., Teuffel, P., & Lamers, H. (2015). The production process and compressive strength of Mycelium-based materials First International Conference on Bio-based Building Materials.
- López, G. (2023). Rehabilitación y Densificación Sustentable en Bloques CORVI 1010 y 1020. Modelo de construcción y replicabilidad carbononeutral [Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ARQ/75100>
- Lu, W., Chen, K., Xue, F., & Pan, W. (2018). Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. 201, 236–245.
- Martín, C. (2021). Las Termas de Vals cumplen 25 años: una joya brutalista en medio de Suiza. <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/las-termas-de-vals-de-peter-zumthor-cumplen-25-anos-una-joya-termal-en-medio-de-suiza>
- MINVU. (2017). Cuadro normativo y tabla de espacios y usos mínimos para el mobiliario.

- MINVU, Municipalidad de Lo Espejo, Escuela de Arquitectura UC, Plus Chile, & Coordinadora Coyancura. (n.d.). Transformación Integral Bloques CORVI: Mejoramiento Cualitativo e Incremento Cuantitativo. Proyecto Piloto “Coyancura”, Conjuto Santa Olga, Lo Espejo
- Montecinos, C. (2022). Techumbre en base a micelio de hongo. Integración de materiales biofabricados en un proyecto de arquitectura. In 2022.
- Muñoz, F. (2019). El Museo Soane, uno de los lugares más impresionantes de Londres que no verás en Instagram. <https://www.elledecor.com/es/hoteles-restaurantes-planes/a25419456/sir-john-soanes-museo-londres/>
- Neufert, E. (1936). Arte de proyectar en arquitectura (16th ed.).
- Nguyen, M. T., Solueva, D., Spyridonos, E., & Dahy, H. (2022). Mycomerge: Fabrication of Mycelium-Based Natural Fiber Reinforced Composites on a Rattan Framework. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020042>
- Orellana, S. (2021). Componente de micelio para cubierta. Tablero integrado con matriz de hongo en centro interpretativo de bosques subantárticos.
- Özdemir, E., Saeidi, N., Javadian, A., Rossi, A., Nolte, N., Ren, S., Dwan, A., Acosta, I., Hebel, D. E., Wurm, J., & Eversmann, P. (2022). Wood-Veneer-Reinforced Mycelium Composites for Sustainable Building Components. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020039>
- Panjehpour, M., Abdullah, A., Ali, A., & Voo, Y. L. (2012). Structural Insulated Panels: Past, Present, and Future. In *Journal of Engineering, Project, and Production Management* (Vol. 2013, Issue 1).
- Pastorelli, G. (2009). Casa N / Sou Fujimoto. <https://www.archdaily.cl/cl/02-30076/casa-n-sou-fujimoto>
- Ramli Sulong, N. H., Mustapa, S. A. S., & Abdul Rashid, M. K. (2019). Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review. In *Journal of Applied Polymer Science* (Vol. 136, Issue 20). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/app.47529>
- Red Fungi, Escuela de Arquitectura PUC, Synbio Lab, Fundación Fungi, Labva, Museo del Hongo, Biem, & Fablab. (2021). Manual de biofabricación con hongos.

- Rigobello, A., Colmo, C., & Ayres, P. (2022). Effect of Composition Strategies on Mycelium-Based Composites Flexural Behaviour. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020053>
- Rojas, M. (2019). Densificación y constructividad en el Conjunto Inés de Suárez : la posibilidad de un nuevo suelo urbano al construir sobre lo construido. [Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ARQ/23665>
- Saez, D., Grizmann, D., Trautz, M., & Werner, A. (2022). Exploring the Binding Capacity of Mycelium and Wood-Based Composites for Use in Construction. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020078>
- Silva, C. (2021). Biomateriales en la estructura Arquitectónica. Componente autoportante biobasado en micelio para infraestructura turística en Bahía Exploradores.
- Sistema VAP. (n.d.). Sistema VAP.
- Taylor-Foster, J. (2014). Insulation Grown From Fungi.
- Thai, H. T., Ngo, T., & Uy, B. (2020). A review on modular construction for high-rise buildings. *Structures*, 28, 1265–1290. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2020.09.070>
- Vašatko, H., Gosch, L., Jauk, J., & Stavric, M. (2022). Basic Research of Material Properties of Mycelium-Based Composites. *Biomimetics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics7020051>
- Vasiliev, V. V., & Morozov, E. V. (2007). *Advanced Mechanics of Composite Materials*.
- Vergara, E. (2014). Paneles Covintec: sistema de paneles estructurales con barrera térmica y acústica.

