

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



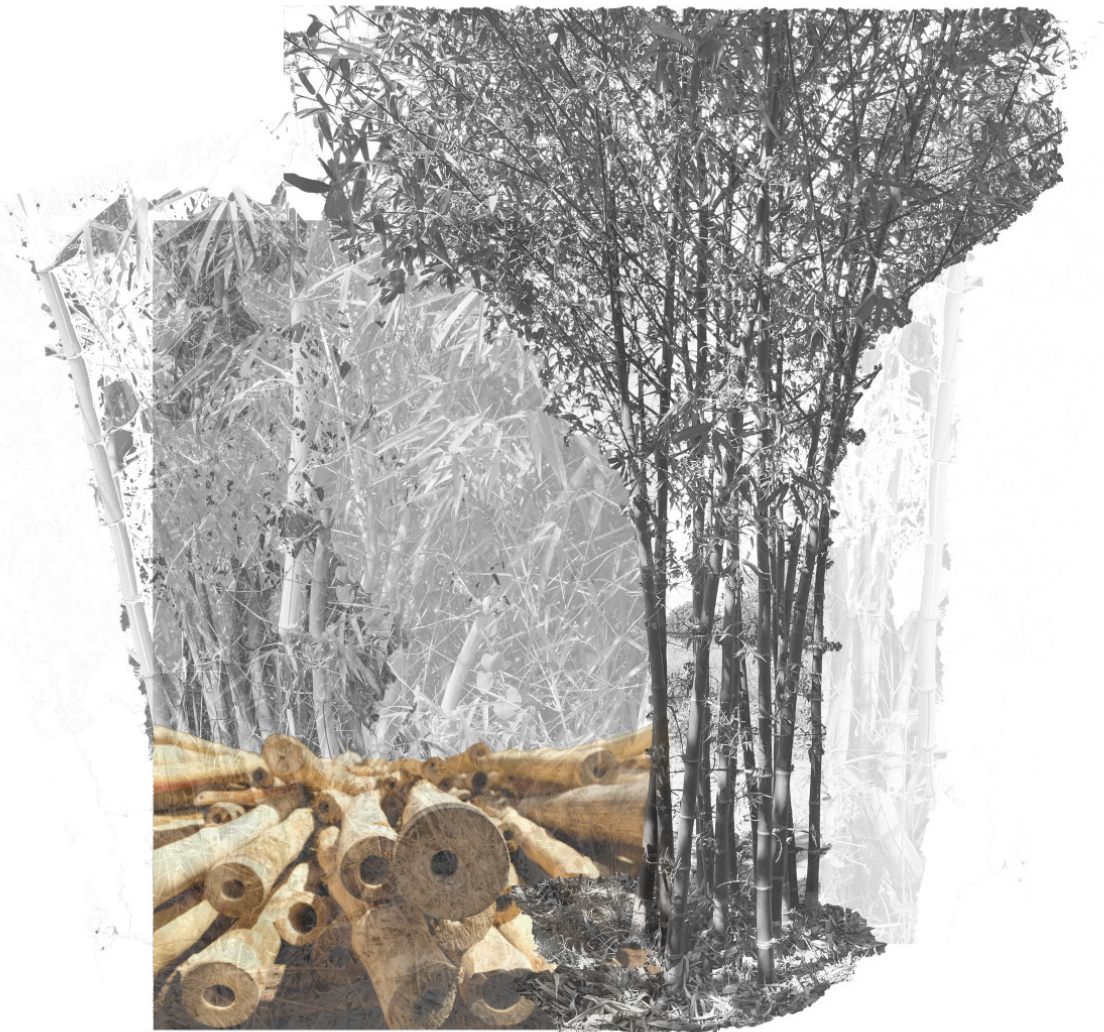
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

Angela Torres Martín

Vivienda crecedera y social en Mozambique: su adaptación al bambú.



*VIVIENDA CRECEDERA Y SOCIAL EN MOZAMBIQUE:
Su adaptación al bambú*



*Vivienda crecedera y social en Mozambique:
Su adaptación al bambú*

Autor:
Angela Torres Martín
Expediente 20401

Tutor:
María del Mar Barbero
Departamento de Construcción y tecnología arquitectónicas

Aula TFG 5
María Barbero Liñán, coordinador/a
José Antonio Flores Soto, adjunto/a

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

Cooperación internacional al desarrollo

Agradecimientos

A Mar, por guiarnos durante todo el proceso.

A Berta, porque esta no sea nuestra última aventura juntas.

A todos los que compartieron este viaje conmigo, haciendo de él una experiencia inolvidable.

A mi familia, amigos y Mateo, por apoyarme siempre.



INDICE

	RESUMEN
01 <i>INTRODUCCIÓN</i>	MOTIVACIÓN JUSTIFICACIÓN DEL TEMA HIPÓTESIS OBJETIVOS METODOLOGÍA
02 <i>MARCO TEÓRICO</i>	CONTEXTO GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL BAMBÚ COMO OPORTUNIDAD MODELO DE VIVIENDA TRADICIONAL VIVIENDA CRECEDERA VULNERABILIDADES
03 <i>ESTADO DE LA CUESTIÓN</i>	APORTES DE ASOCIACIONES E INICIATIVAS NACIONALES VIVIENDA SOCIAL EN BAMBÚ EN EL MUNDO Y SU RESILIENCIA
04 <i>DESARROLLO DEL PROTOTIPO</i>	FASE DE ACTUACIÓN ANTE LA EMERGENCIA ESTUDIO DE QUE BAMBÚ HAY Y SUS CARACTERÍSTICAS SÍNTESIS DE PRIORIDADES DEL MODELO ADAPTACIÓN AL BAMBÚ: PROCESO DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO CATÁLOGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS PLANOS DEL PROTOTIPO EL PROTOTIPO COMO SISTEMA ABIERTO Y PROGRESIVO
05 <i>CONCLUSIONES</i>	LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO
06 <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	
07 <i>ANEXOS</i>	ENTREVISTAS

ABSTRACT

Mozambique faces a serious housing crisis linked to low levels of human development, rapid urban growth, and high exposure to extreme weather events, especially tropical cyclones. In this context, a large part of the population lives in homes built through informal processes and with little resistance capacity, which causes recurrent destruction of homes after each weather event. This reality highlights the urgent need for affordable, progressive housing models that are adapted to both the cultural context and the climatic conditions of the territory.

This project addresses this issue by developing a prototype for scalable social housing in northern Mozambique, in which bamboo is proposed as the main structural material. Its availability as a local resource, together with its mechanical properties and rapid growth, allows for the exploration of low-cost, sustainable housing solutions that perform well under dynamic loads such as those produced by cyclonic winds.

The research is based, on the one hand, on direct experience gained during a stay in the country, which has made it possible to contrast theoretical approaches with the real conditions of the construction, climatic, and social context. On the other hand, a study is being developed that analyzes the geographical and environmental framework, traditional Mozambican architecture and its logic of progressive growth, as well as the main points of structural weakness in the context of cyclones. In addition, a comparative study of international bamboo housing models is being carried out with the aim of extracting criteria for resilience, construction systems, and growth strategies applicable to the prototype.

As a result, a modular construction system based on prefabricated bamboo panels is proposed, combined with a main structure differentiated by diameter hierarchies, which allows for rapid, lightweight, and adaptable construction. The prototype is conceived as an initial housing nucleus capable of responding to the early stages of recovery after a disaster, but with the possibility of progressively evolving into permanent housing through successive extensions and improvements.

The proposal aims to establish continuity between traditional architecture, current social housing needs, and climate resilience requirements, proposing an adaptable, replicable model consistent with the cultural, construction, and environmental context of northern Mozambique.

KEYWORDS:

Social housing - Scalable housing - Bamboo - Climate resilience - Mozambique - Cyclones

RESUMEN

Mozambique afronta una grave crisis habitacional vinculada a bajos niveles de desarrollo humano, al rápido crecimiento demográfico y a una alta exposición a fenómenos climáticos extremos, especialmente ciclones tropicales. En este contexto, gran parte de la población habita en viviendas construidas mediante procesos informales y con escasa capacidad de resistencia, lo que provoca destrucciones recurrentes de viviendas tras cada episodio climático. Esta realidad pone de manifiesto la necesidad urgente de modelos habitacionales asequibles, progresivos y adaptados tanto al contexto cultural como a las condiciones climáticas del territorio.

El presente trabajo aborda esta problemática mediante el desarrollo de un prototipo de vivienda social crecedera en el norte de Mozambique, en el que el bambú se plantea como material estructural principal. Su disponibilidad como recurso local, junto con sus propiedades mecánicas y su rápido crecimiento, permite explorar soluciones habitacionales de bajo coste, sostenibles y con buen comportamiento frente a cargas dinámicas como las producidas por el viento ciclónico.

La investigación se apoya, por un lado, en la experiencia directa adquirida durante una estancia en el país, que ha permitido contrastar los planteamientos teóricos con las condiciones reales del contexto constructivo, climático y social. Por otro lado, se desarrolla un estudio que analiza el marco geográfico y ambiental, la arquitectura tradicional mozambiqueña y su lógica de crecimiento progresivo, así como los principales puntos de debilidad constructiva frente a los ciclones. De forma complementaria, se realiza un estudio comparado de modelos internacionales de vivienda de bambú, con el objetivo de extraer criterios de resiliencia, sistemas constructivos y estrategias de crecimiento aplicables al prototipo.

Como resultado, se propone un sistema constructivo modular basado en paneles prefabricados de bambú, combinado con una estructura principal diferenciada por jerarquías de diámetro, que permite una construcción rápida, ligera y adaptable. El prototipo se concibe como un núcleo habitacional inicial capaz de responder a fases tempranas de recuperación tras un desastre, pero con la posibilidad de evolucionar progresivamente hacia una vivienda permanente mediante ampliaciones y mejoras sucesivas.

La propuesta busca así establecer una continuidad entre la arquitectura tradicional, las necesidades actuales de vivienda social y las exigencias de resiliencia climática, planteando un modelo adaptable, replicable y coherente con el contexto cultural, constructivo y ambiental del norte de Mozambique.

PALABRAS CLAVE:

Vivienda social - Vivienda crecedera -Bambú - Resiliencia climática - Mozambique - Ciclones

01. INTRODUCCIÓN



MOTIVACIÓN

La posibilidad de desarrollar un trabajo de arquitectura con una aplicación real y un impacto directo sobre personas con necesidades habitacionales concretas fue el principal motor para la elección de esta investigación. Desde el inicio, el interés se centró en abordar un proyecto que trascendiera el ámbito estrictamente teórico y permitiera trabajar en contacto con realidades sociales específicas, entendiendo la arquitectura como una herramienta capaz de contribuir, desde el diseño y la construcción, a la mejora de las condiciones de vida en contextos vulnerables.

Esta motivación inicial se vio reforzada por la concesión de una beca de cooperación y la posterior estancia en Mozambique de septiembre a diciembre de 2025, que permitió contrastar el planteamiento del trabajo con la realidad del territorio. Aunque la situación de conflicto impidió el desplazamiento al norte del país, el trabajo de campo realizado en el sur, la participación en un taller de construcción en bambú con estudiantes principalmente procedentes del contexto africano, aunque también europeos, así como la colaboración con asociaciones y organismos locales, desde representantes de la comunidad local, regional o del Ministerio, hasta el contacto con ONGs internacionales como UN-habitat u otras, facilitaron una aproximación directa a las dinámicas constructivas y sociales del contexto mozambiqueño. El contacto con la construcción en bambú mediante la ejecución de prototipos, la visita a viviendas tradicionales y el diálogo con las familias permitieron comprender de forma más precisa las necesidades reales y ajustar el enfoque del proyecto desde una perspectiva práctica y contextualizada.

JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La vivienda social se plantea como uno de los principales retos actuales de la arquitectura, especialmente en contextos donde las limitaciones económicas, climáticas y materiales dificultan el acceso a una vivienda segura y adecuada. En países como Mozambique, estas condiciones hacen especialmente pertinente la investigación de modelos habitacionales alternativos a la vivienda convencional, capaces de adaptarse a las posibilidades reales de las familias y a los recursos disponibles en el territorio.

Desde el ámbito disciplinar, resulta relevante explorar sistemas habitacionales que permitan un crecimiento progresivo y flexible como los modelos de vivienda crecedera ya existentes en el país. Frente a soluciones cerradas y estandarizadas, este tipo de modelos abiertos ofrecen una mayor capacidad de adaptación a contextos cambiantes, tanto sociales como económicos, y permiten que la vivienda evolucione en el tiempo según las necesidades de sus usuarios. Estos modelos aún no han sido adaptados a otros materiales y recursos disponibles en el territorio que pueden ofrecer mejores resultados frente a las condiciones mencionadas.

Asimismo, el estudio del uso de materiales locales como el bambú se justifica tanto por su amplia disponibilidad en el territorio (especialmente en la zona norte y centro del país, donde existe más demanda de vivienda) como por su potencial constructivo. Analizar su aplicación en el ámbito de la vivienda social permite investigar soluciones más coherentes con el contexto, reforzando la relación entre diseño arquitectónico, entorno y viabilidad constructiva. De este modo, el trabajo se sitúa en la intersección entre investigación académica y aplicación práctica, abordando la vivienda no solo como objeto arquitectónico, sino como proceso abierto, adaptable y vinculado a las realidades sociales y materiales del lugar.

Fig 1. Taller de construcción en bambú. Ponta do Ouro, Mozambique. Elaboración propia



HIPÓTESIS

¿Se pueden adaptar los modelos de vivienda existentes mediante el uso del bambú para mejorar su resiliencia climática y permitir un crecimiento progresivo adecuado al contexto de Mozambique?

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Adaptación de un modelo de vivienda social crecedero resiliente a las condiciones climáticas y culturales empleando el bambú como material de construcción de bajo coste.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- OE1:** Identificación de los eventos climáticos extremos que afectan a la destrucción de viviendas.
- OE2:** Analizar el modelo de vivienda tradicional.
- OE3:** Analizar iniciativas nacionales de viviendas de emergencia y modelos internacionales relevantes para el contexto y material previstos.
- OE4:** Identificar debilidades de los modelos frente al contexto.
- OE5:** Selección de un modelo de vivienda de referencia como base para el desarrollo del prototipo.
- OE6:** Identificar especies de bambú disponibles en el territorio.
- OE7:** Adaptación del modelo a las exigencias climáticas, respetando la forma de habitar y las características sociales, culturales, económicas y ambientales del país.

Fig 2. Taller de construcción en bambú. Ponta do Ouro, Mozambique. Elaboración propia

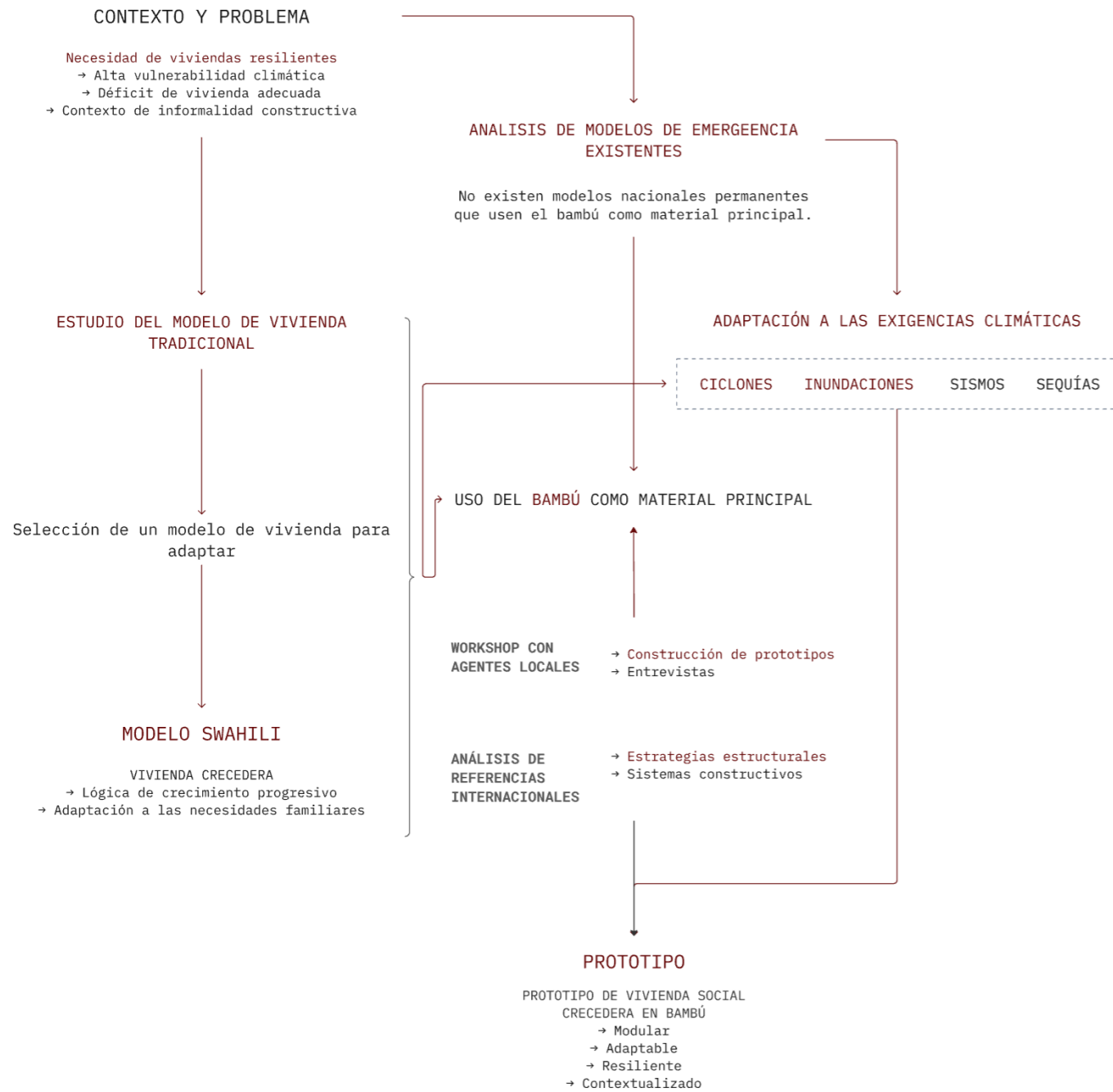


Fig 3. Esquema metodología. *Elaboración propia*

METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo se desarrolla de forma progresiva, combinando investigación documental, experiencia en campo y estudio experimental hasta la definición del prototipo final. En una primera fase, se realizó un estudio documental del contexto habitacional de Mozambique, analizando la necesidad de viviendas resilientes, la elevada vulnerabilidad climática y el déficit de vivienda adecuada en un entorno marcado por la autoconstrucción. En este marco, se estudiaron los modelos de vivienda de emergencia existentes y la vivienda tradicional, prestando especial atención a su lógica de crecimiento progresivo y seleccionándose el modelo Swahili como referencia para su adaptación.

De manera simultánea, se analizaron las exigencias climáticas del territorio (especialmente los ciclones e inundaciones) con el objetivo de extraer criterios arquitectónicos y constructivos aplicables al diseño. En este contexto, el bambú se identificó como una oportunidad por su disponibilidad local, su carácter de recurso natural de rápido crecimiento y su potencial para sistemas constructivos ligeros y de bajo coste, desarrollándose un estudio experimental centrado en su uso estructural a partir del análisis de referencias internacionales, estrategias constructivas y especies adecuadas.

Este trabajo se complementó con la experiencia en campo adquirida durante la estancia en Mozambique, que incluyó visitas a viviendas tradicionales, entrevistas con familias y la participación en un taller de construcción en bambú junto a locales y asociaciones nacionales, en el que se construyeron prototipos y se evaluaron de manera práctica las posibilidades del material. La síntesis de estos estudios permitió el desarrollo de un prototipo de vivienda social crecedera en bambú, concebido como un sistema modular, adaptable y resiliente.

02. MARCO TEÓRICO

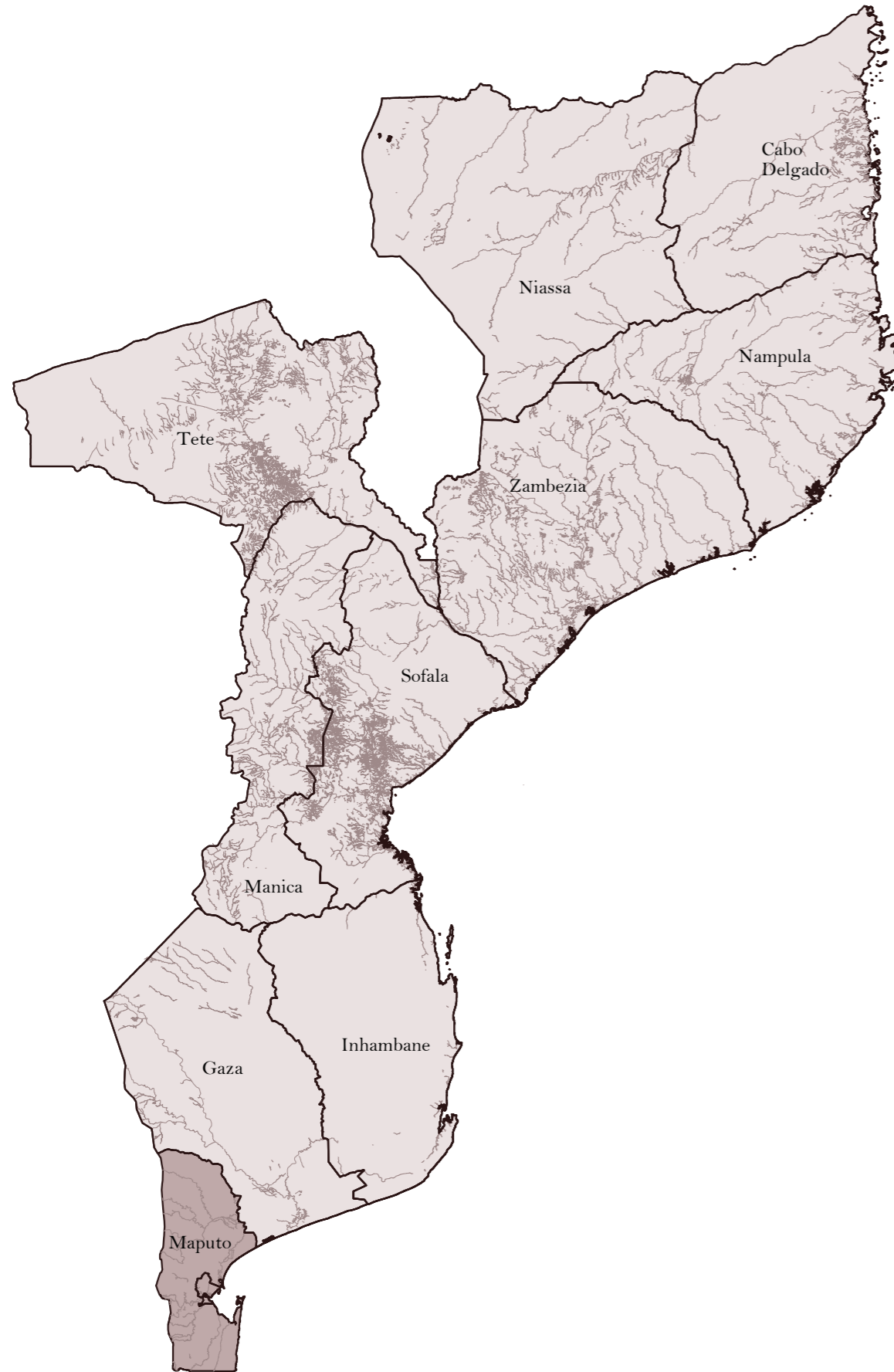


Fig 4. Distribución geográfica de Mozambique. *Elaboración propia*

CONTEXTO GEOGRÁFICO Y AMBIENTAL

Mozambique se sitúa en la costa sudeste de África y presenta una combinación de factores socioeconómicos, territoriales y ambientales que condicionan profundamente las dinámicas habitacionales del país. Se trata de uno de los países con Índice de Desarrollo Humano (IDH) más bajos del mundo, ocupando en 2023 el puesto 182 de 193 países, con un valor de 0,493¹, situándolo en la categoría de desarrollo humano bajo. Más del 70% de la población vive en situación de pobreza, y alrededor del 44% lo hace en condiciones extremas ², lo que afecta directamente al acceso a vivienda digna y segura.

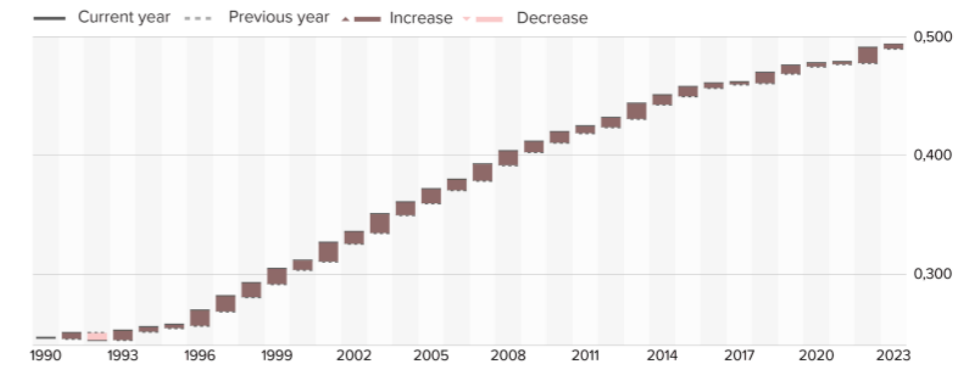


Fig 5. IDH en Mozambique 1990 – 2023. Fuente: *Human Development Reports*

Esta realidad se manifiesta en el ámbito habitacional: se estima que aproximadamente el 80% de la población urbana reside en viviendas inadecuadas³, construidas mayoritariamente en contextos informales y de autoconstrucción con materiales precarios y con acceso irregular a servicios básicos como agua, saneamiento o electricidad.



Fig 6. Vivienda tradicional de autoconstrucción. *Elaboración propia*

1 «Specific country data | Human Development Reports», <https://hdr.undp.org/data-center/specific-country-data#/countries/MOZ>.

2 United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), *Moçambique: Perfil de Habitação* (Maputo, 2018).

3 UN-Habitat, *Moçambique: Perfil de Habitação...*

El país prevé además un gran crecimiento demográfico: se estima que más de 23 millones de nuevos residentes se incorporarán a las ciudades mozambiqueñas para 2050, duplicando la población urbana actual. Este fenómeno incrementa la presión sobre el suelo, eleva la informalidad y vuelve urgente la creación de políticas y prototipos de vivienda social progresiva, accesible y adaptable a los recursos económicos de las familias.

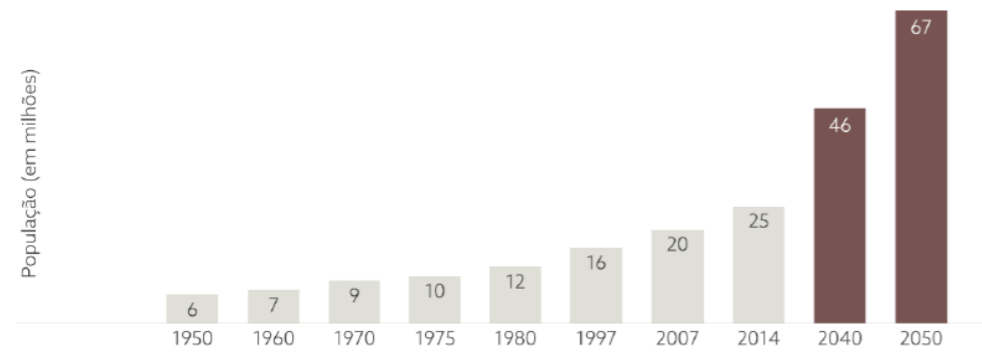


Fig 7. Crecimiento demográfico previsto. Fuente: UN-habitat

Desde el punto de vista ambiental, Mozambique se caracteriza por una alta vulnerabilidad climática⁴, agravando el impacto de eventos extremos recurrentes como inundaciones, sequías y ciclones por su extensa línea costera y la debilidad de sus infraestructuras. Estos eventos afectan de forma recurrente al país, destruyendo miles de viviendas con su paso⁵.

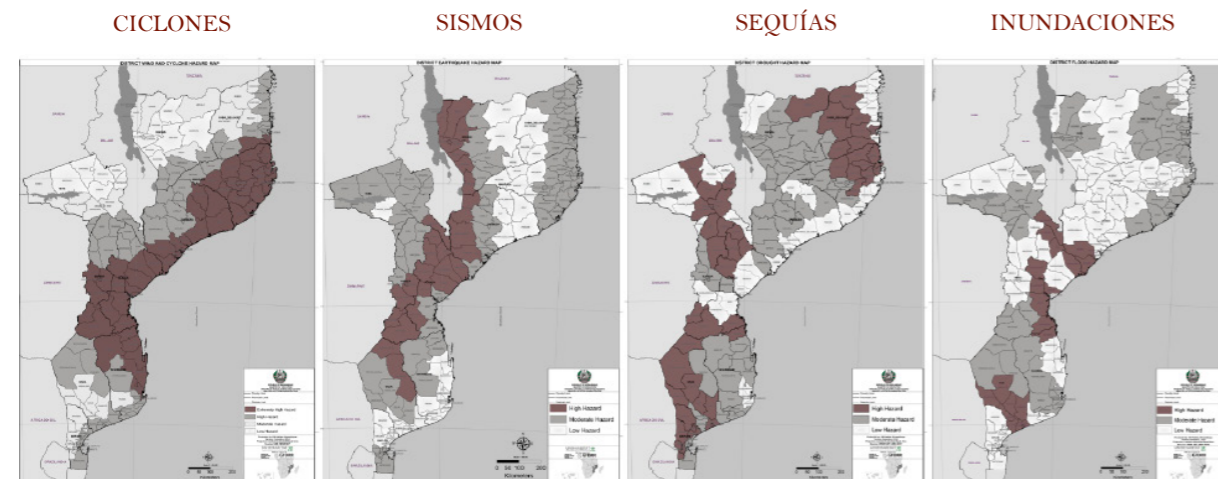


Fig 8. Mapas de zonamiento de riesgos climáticos. Fuente: UN-habitat

4 UN Habitat, Hazard Mapping and Zoning: Cyclones, Earthquakes, Floods and Droughts (Maputo, 2015).

5 UN Habitat, Building Climate Resilience in Mozambique (Maputo, 2023).

Un ejemplo reciente es el ciclón tropical Chido (2024)¹, que ocasionó vientos superiores a 200 km/h acompañado de lluvias torrenciales provocando así la destrucción de más de 155.000 viviendas. Estos fenómenos son recurrentes y ponen en riesgo tanto la infraestructura como la vida de miles de familias².

A esta vulnerabilidad ambiental se suma que, en las zonas norte y centro del país encontramos modelos de viviendas que no responden a estas exigencias climáticas, y que evidencian la necesidad urgente de modelos habitacionales más resilientes, sostenibles y adaptados al contexto climático local, lo que justifica la investigación en soluciones innovadoras capaces de responder de forma más adecuada a los desafíos medioambientales del país.

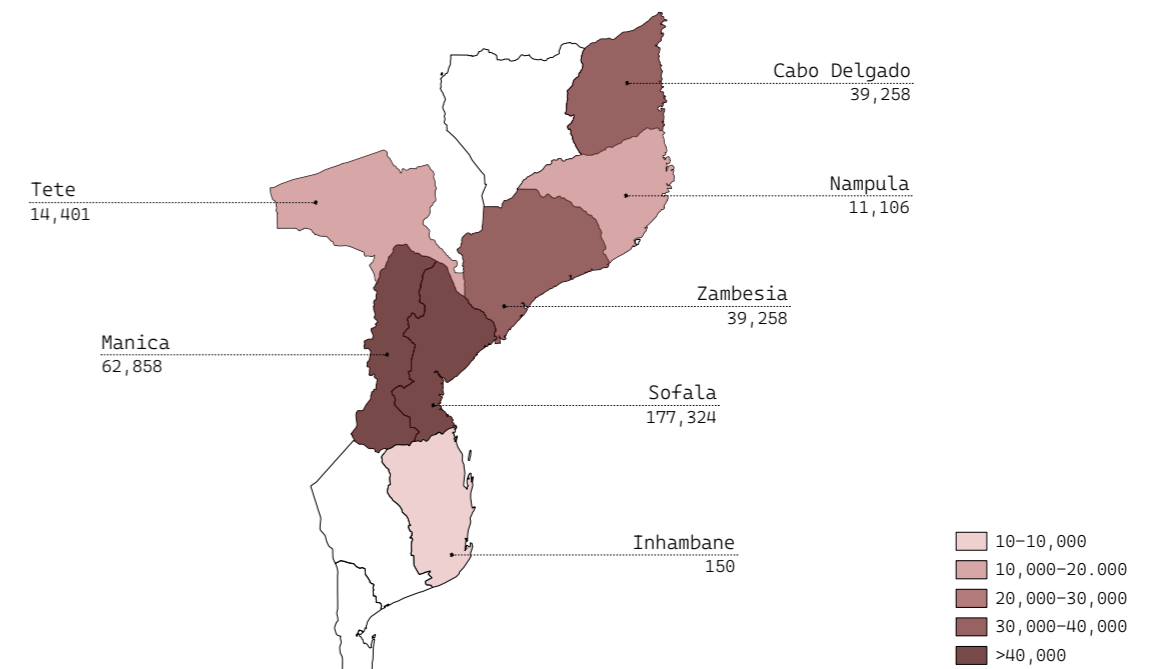


Fig 9. Distribución de viviendas destruidas por ciclón Idai y Kenneth en 2019. Elaboración propia a partir de datos de UN-habitat

1 «Tropical cyclone Chido devastates Mayotte in Indian Ocean», <https://wmo.int/media/news/tropical-cyclone-chido-devastates-mayotte-indian-ocean>.

2 REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE et al., Programa de alojamiento pós ciclones (PALPOC) (Maputo, 2019).

BAMBÚ COMO OPORTUNIDAD

En el contexto descrito anteriormente el bambú se presenta como un recurso estratégico para el desarrollo de soluciones constructivas asequibles, resilientes y sostenibles.

Aunque históricamente su presencia no ha sido plenamente reconocida a nivel institucional (hasta el punto de no figurar en inventarios forestales nacionales) se han identificado ocho especies de bambú en Mozambique: tres autóctonas (*O. latifolia*, *O. buchwaldii*, *O. abyssinica*) y cinco introducidas (*B. bambos*, *B. vulgaris*, *B. balcoa*, *B. hamiltoni*, *D. strictus*). Estas especies ocupan alrededor de 11.604 hectáreas, empleándose tradicionalmente en construcción ligera, energía, mobiliario y artesanía.¹

La mayor concentración del recurso se localiza precisamente en el norte del país, que como se ha indicado enfrenta fenómenos meteorológicos extremos. En este escenario, el bambú ha pasado a utilizarse como solución rápida y económica para estructuras básicas, lo que ha generado una demanda que supera la capacidad de regeneración del recurso en algunas zonas. Este hecho subraya la importancia de establecer modelos de aprovechamiento sostenible, especialmente en un momento en que las necesidades de vivienda son más altas que nunca.

A pesar de este uso creciente, el potencial del bambú continúa infrautilizado en este contexto de Mozambique. Las fuentes señalan un conocimiento aún limitado sobre su distribución exacta, métodos de propagación, técnicas de gestión, procesos de transformación y posibles aplicaciones industriales. Esta falta de desarrollo previo representa, sin embargo, una oportunidad para introducir innovación, especialmente considerando que se trata de un recurso local capaz de responder simultáneamente a los desafíos de sostenibilidad ambiental, accesibilidad económica y adaptación climática.

¹ La información sobre especies y distribución del bambú en Mozambique procede de documentación técnica de ASSAM-BA (Associação dos Amigos do Bambu) y entrevistas informales realizadas durante la estancia en el país.

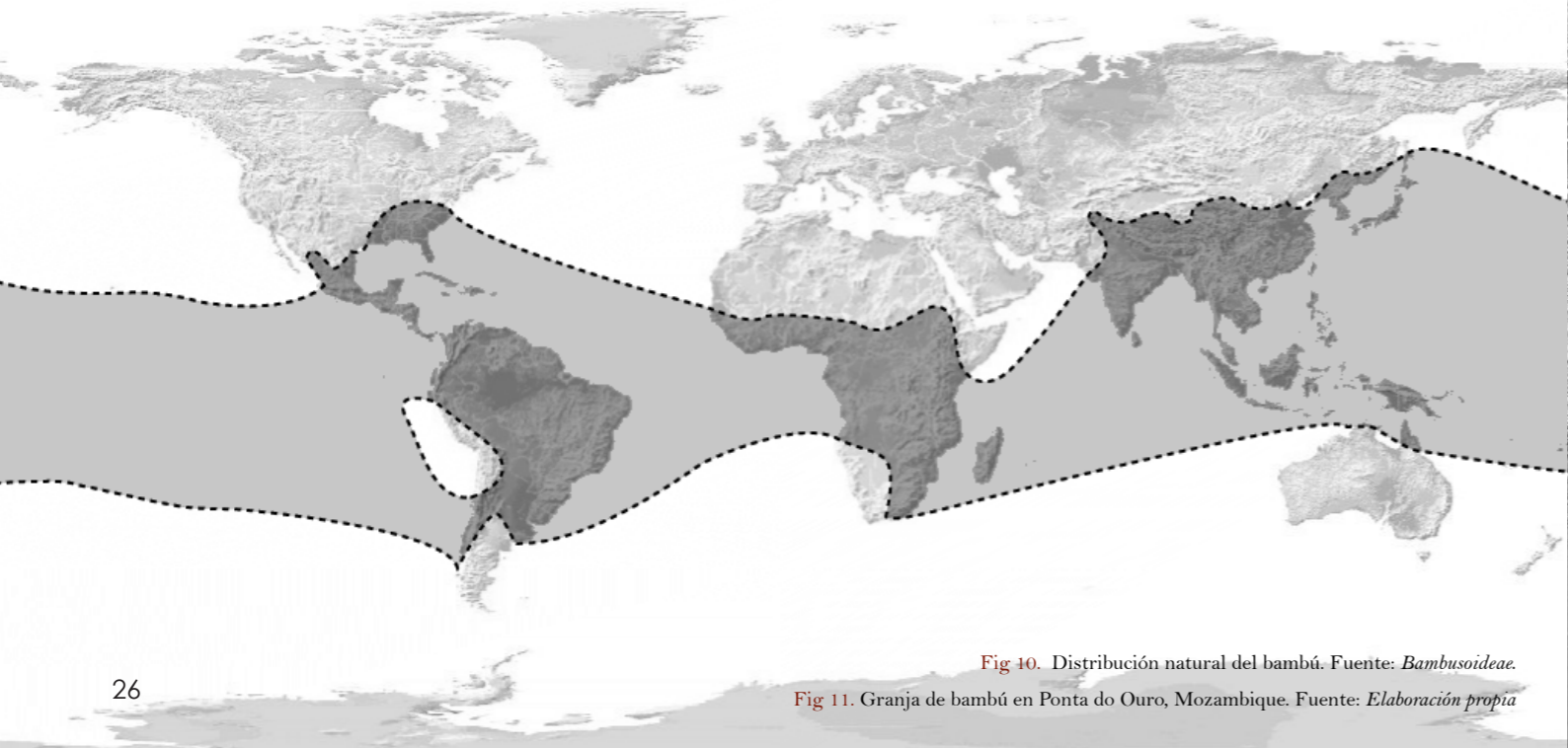


Fig 10. Distribución natural del bambú. Fuente: *Bambusoideae*.

Fig 11. Granja de bambú en Ponta do Ouro, Mozambique. Fuente: *Elaboración propia*



Desde la adhesión de Mozambique a la *Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR)* en 2005, se ha ido consolidando un marco institucional que favorece la investigación, la cooperación técnica y la promoción del bambú como recurso estratégico. A este contexto se suma el trabajo de la *Associação dos Amigos do Bambu (ASSAMBA)*, una organización mozambiqueña que impulsa su uso sostenible y pone en valor su contribución a la restauración ambiental, la mitigación del cambio climático y la generación de oportunidades económicas en comunidades vulnerables. En este sentido, el bambú es entendido no solo como material constructivo, sino también como herramienta para la regeneración de suelos y el fortalecimiento de cadenas de valor locales.

Las características propias del bambú (ligereza, alta resistencia mecánica, flexibilidad estructural y rápido crecimiento)² lo convierten en un material especialmente adecuado para la vivienda social progresiva. Su uso permitiría desarrollar sistemas constructivos de bajo coste, adaptables y con mejor comportamiento frente a cargas dinámicas como las producidas por ciclones. Además, al tratarse de un recurso disponible en el territorio y culturalmente familiar, su incorporación en soluciones habitacionales formales favorece la apropiación comunitaria y reduce la dependencia de materiales externos.

En conjunto, el bambú se presenta como un recurso capaz de articular una respuesta integral a los desafíos habitacionales del norte de Mozambique, combinando sostenibilidad ambiental, viabilidad económica y pertinencia cultural, y abriendo la vía hacia modelos constructivos más resilientes y adecuados a las necesidades presentes y futuras de las comunidades.³

² Gernot Minke, *Building with Bamboo*, 3rd ed., ed. Birkhäuser (Basel, 2012).

³ ASSAMBA- Associação dos Amigos do Bambu, *ASSAMBA PROFILE PRESENTATION* (s. f.).



Fig 12. Visitas a granjas de bambú. Ponta do Ouro, Mozambique. *Elaboración propia*

MODELO DE VIVIENDA TRADICIONAL

El modelo de vivienda más antiguo y extendido en todo Mozambique es la palhota circular, una construcción de planta redonda y cubierta cónica de paja (capim), que durante siglos ha sido el símbolo de la arquitectura tradicional africana.

Esta tipología, presente desde el norte hasta el sur del país, se basa en principios comunes: el uso de materiales locales (barro, madera y capim), la autosuficiencia constructiva y una organización espacial que responde a la estructura familiar.

Tradicionalmente, cada unidad doméstica se integraba en un conjunto circular donde las casas, cocinas y graneros se disponían alrededor de un espacio central compartido, que funcionaba como corazón de la vida social y económica.

Aunque esta forma de habitar se repite en todo el territorio, con la expansión de las rutas comerciales, la colonización y la urbanización, cada región fue adaptando la palhota a sus condiciones culturales, climáticas y materiales, generando una evolución distinta en el norte, centro y sur del país, generando variantes propias que conviven hasta la actualidad.

Norte: de la tradición circular al modelo swahili urbano

En el norte de Mozambique (Cabo Delgado, Niassa y Nampula), las viviendas circulares tradicionales evolucionaron bajo la influencia árabe e islámica, proveniente del comercio costero con Zanzíbar y la cultura swahili.

Las antiguas palhotas cilíndricas, construidas en barro y paja, dieron paso a la casa rectangular swahili, así transformando la lógica circular en un modelo de planta rectangular con veranda frontal o envolvente y techos de cuatro aguas. Estas casas, construidas con pau-a-pique, barro o piedra coralina en la zona de la costa, introducían una forma más ordenada y un uso más definido de los espacios: un corredor central que conectaba la entrada con el patio posterior, habitaciones laterales cerradas, y una veranda que actuaba como umbral entre el exterior e interior.

Durante el siglo XX, con la colonización y la expansión urbana, el modelo swahili tuvo difusión hacia el interior del país evolucionando hacia casas híbridas urbanas, este modelo se evidencia en Lichinga. Estas viviendas combinan la estructura rectangular y el patio central del modelo islámico con nuevos materiales como ladrillo, cal y chapa metálica, reflejando la convivencia entre tradición y modernidad. Así, el norte mantuvo la veranda y el patio como elementos permanentes, adaptándolos a una vida urbana sin romper con su identidad cultural.

La mayoría de las casas rurales africanas están aisladas y protegidas del exterior. El tipo Swahili, por el contrario, siempre pone la casa principal en contacto directo con el exterior y en las ciudades a menudo permite el acceso a la casa directamente desde la calle. Un corredor central hace la conexión entre la entrada de la calle y el patio trasero, dando acceso a las habitaciones.

La forma rectangular de la casa principal sucede la forma rectangular del patio y la organización más económica del espacio al aire libre (sala de estar, cocina, baño, latrina, dependencias...). El uso más racional del espacio al aire libre y construido y la regularidad de su forma permiten una inserción más fácil de este tipo de casa en la malla urbana.

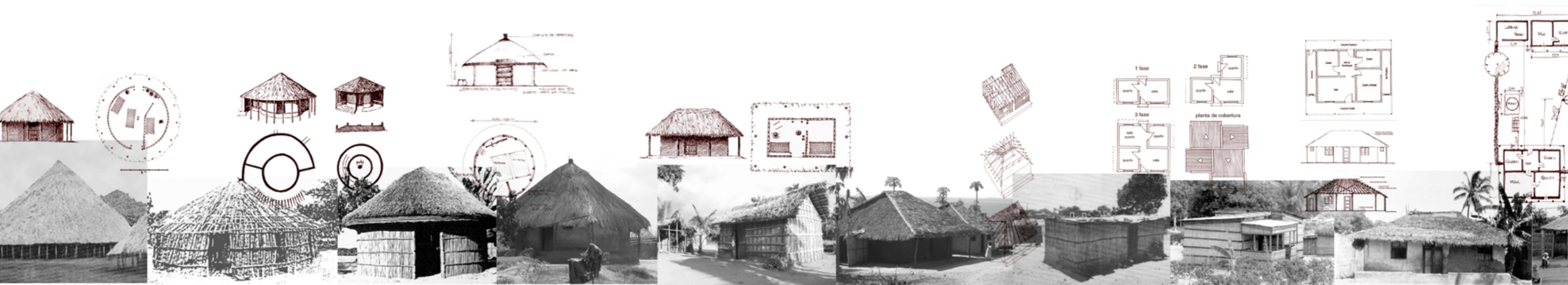


Fig 13. Evolución de la vivienda tradicional. *Elaboración propia a partir de los libros del Luis Lage*

Centro: transición gradual del mundo rural a la modernidad

En el centro del país (Zambézia, Manica, Sofala y Tete), la evolución de la vivienda fue más gradual y orgánica. La palhota circular siguió siendo dominante durante siglos, especialmente en las áreas agrícolas, donde las casas se organizaban alrededor de un corral central destinado al ganado. Este modelo se relaciona directamente con la tradición del Gran Zimbabue donde la disposición circular y jerárquica simbolizaba el poder y la vida comunitaria, dando lugar así a variantes como la casa circular doble o con pórtico.

A partir del siglo XIX, con la llegada de comerciantes y colonos, surge la casa de caniço, una versión más ligera y flexible que surge como simplificación del modelo circular. En esta etapa, las viviendas adoptan formas mixtas, combinando una estructura circular principal con anexos rectangulares construidos en caña trenzada, barro y techos de una o dos aguas. La casa de caniço ofrecía rapidez constructiva y adaptabilidad, manteniendo la lógica del espacio circular comunitario, pero con nuevas formas.

En la segunda mitad del siglo XX aparece en el centro un tipo intermedio: la cobertura “em ventoinha” (diagrama en fig. 15). Este modelo nace de la autoconstrucción modular con materiales precarios: cada habitación tiene su propio techo inclinado, construido en momentos diferentes y permitiendo ampliaciones según las necesidades familiares. El resultado es una vivienda irregular y orgánica, donde los espacios se agrupan en torno a un patio compartido, conservando la tradición comunitaria en un entorno semiurbano o rural. La ventoinha es, por tanto, la expresión más clara de la modernidad rural mozambiqueña: una arquitectura viva, en constante transformación, que conecta la tradición circular con la expansión modular contemporánea.

Sur: de la casa comunal a la autoconstrucción urbana

En el sur (Gaza, Inhambane y Maputo), la evolución de la vivienda fue más rápida y rupturista que en el centro. El modelo tradicional del kraal circular, con un corral central y casas cilíndricas dispuestas jerárquicamente, reflejaba una organización poligámica y simbólica, más social que productiva.

Con la expansión colonial y el crecimiento de los núcleos urbanos, la vivienda tradicional fue reemplazada por la casa de caniço, una versión rectangular construida con caña o bambú, barro y techos de paja o zinc. Estas casas, de una o dos estancias, se convirtieron en la vivienda popular suburbana por excelencia: económicas, autoconstruidas y adaptadas al clima cálido. Su forma rectangular y cubierta de dos aguas introducen una lógica más funcional, pero el uso de la veranda y del quintal (patio trasero) mantuvo el espíritu de convivencia y relación exterior.

Tras la independencia en 1975, y con el rápido crecimiento de las ciudades, la vivienda del sur adoptó una nueva fase: la autoconstrucción urbana. En los barrios periféricos de Maputo, Polana Caniço o Magoanine, aparecen casas de bloques de cemento y cubiertas de chapa metálica, construidas de manera progresiva y sin planificación formal. De este proceso nace la casa “em ventoinha” urbana, heredera de la tradición modular: cada habitación se construye como una unidad con su propio techo, ampliándose según las posibilidades de la familia. El resultado es una vivienda fragmentada pero funcional, que representa la modernidad popular mozambiqueña: una arquitectura espontánea, híbrida y profundamente arraigada en la cultura del lugar.⁴

⁴ Este apartado se basa en una síntesis elaborada a partir de diversas publicaciones sobre la vivienda tradicional en Mozambique: Sandro Bruschi et al., *era uma vez uma palhota. história da casa moçambicana*, FAPF (Maputo, 2005), Júlio Carrilho et al., *Traditional informal settlements in Mozambique, from Lichinga to Maputo*, FAPF (Maputo, 2004); Julio Carrilho, *Ibo a casa e o tempo*, FAPF (Maputo, 2005); Sandro Bruschi et al., *Pemba as duas cidades*, FAPF (Maputo, 2005).



Fig 14. Catálogo de viviendas visitadas en distintas zonas de la zona Sur de Mozambique. *Elaboración propia*

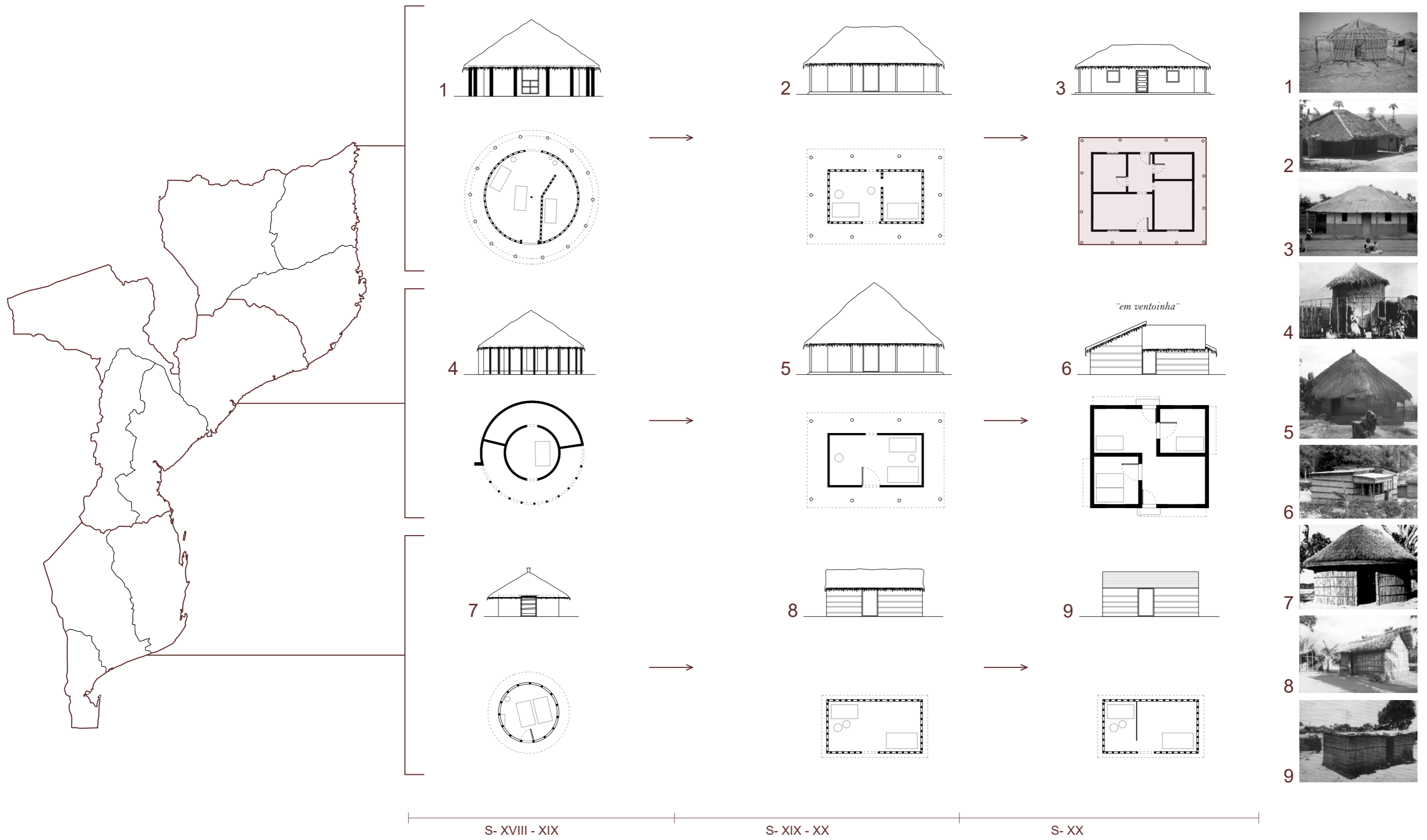


Fig 15. Evolución del modelo de vivienda tradicional por zonas geográficas. *Elaboración propia a partir de los datos e imágenes de Luis Lage*

VIVIENDA CRECEDERA

La vivienda tradicional mozambiqueña se caracteriza por una lógica de crecimiento progresivo, entendida como un proceso continuo en el que la casa no se concibe como un objeto acabado, sino como un conjunto de unidades que se agregan con el tiempo según la evolución familiar y económica. Este principio está presente en todas las regiones del país y se documenta ampliamente en *Era uma vez uma palhota*, donde se describe que una “casa” estaba formada por varios edificios y espacios abiertos destinados a diferentes funciones, dispuestos alrededor de un espacio común central.

Este crecimiento modular podía adoptar múltiples configuraciones. El libro señala que los edificios (cilíndricos o rectangulares) a veces “se fundían en una construcción aparentemente unitaria” como resultado de la adición sucesiva de nuevos volúmenes, manteniendo siempre la articulación en torno al espacio común.

Esta concepción de la vivienda como proceso abierto y evolutivo encuentra un claro respaldo teórico en los planteamientos de Julián Salas, quien define la vivienda popular no como un producto terminado, sino como una estructura inicial susceptible de transformación progresiva. En contextos de escasez material, Salas defiende modelos habitacionales capaces de crecer por fases, adaptándose a las necesidades cambiantes de la familia y a su capacidad económica real, donde el usuario participa activamente en la construcción y ampliación de su casa. La vivienda crecedera se plantea así como una estrategia racional frente al déficit habitacional, permitiendo habitar desde el inicio unas condiciones mínimas dignas y consolidar el conjunto con el tiempo, sin perder flexibilidad ni identidad cultural.⁵

En el norte del país, donde la casa rectangular de influencia Swahili desplazó progresivamente a la palhota circular, la lógica del crecimiento progresivo no desapareció, sino que se adaptó a la nueva forma. En el esquema se resume este funcionamiento:

- Una casa principal situada en contacto directo con el exterior.
- Un corredor central que conecta la entrada con el patio trasero y organiza el acceso a las estancias.
- Una veranda y patio amplio como elementos permanentes que funcionan como espacio estructurador del conjunto.
- Cocina y baños como usos exteriores, añadidos en módulos independientes.
- Posibilidad de incorporar nuevos volúmenes alrededor del patio según la evolución del hogar.

Este modelo permite una ocupación “más racional del espacio libre y construido” y una inserción más flexible en la trama urbana, sin perder su identidad cultural.⁶

⁵Julián Salas Serrano, *Contra el hambre de vivienda: Construyendo con recursos escasos en África*.

⁶ Sandro Bruschi et al., *Era uma vez uma palhota. história da casa moçambicana*, FAPF (Maputo, 2005).

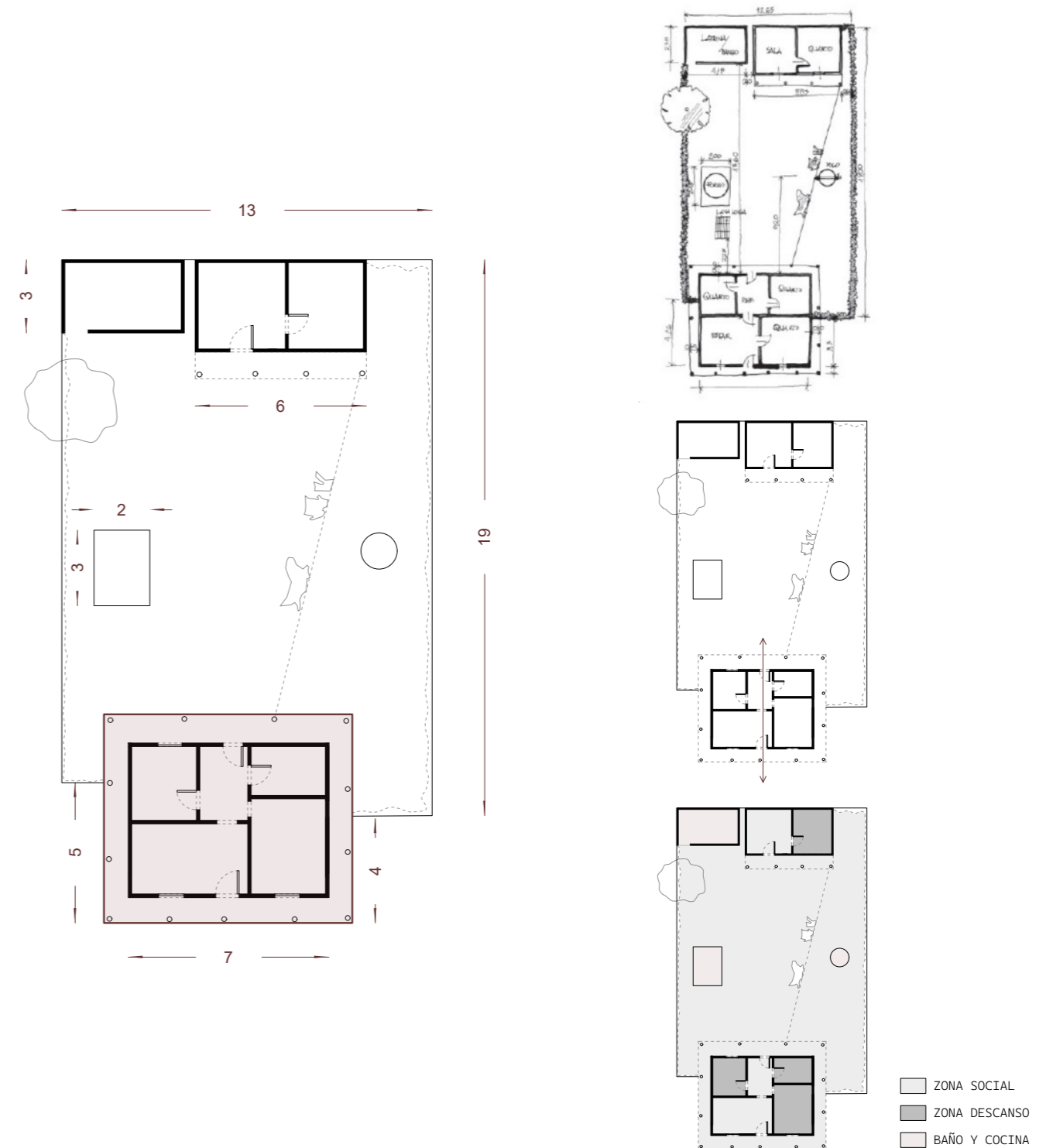


Fig 16. Modelo de vivienda crecedera. Elaboración propia a partir de los datos e imágenes de Luis Lage

VULNERABILIDADES

Los ciclones tropicales constituyen una de las principales amenazas para la edificación en Mozambique, especialmente en las zonas costeras y en los asentamientos rurales de baja densidad. Su impacto combina vientos extremos, lluvias intensas e inundaciones, generando mecanismos de daño recurrentes como el vuelco, el levantamiento de cubiertas, el deslizamiento del terreno, la inundación y la inclinación o colapso estructural.

Los estudios desarrollados en el marco del *Proyecto Escuelas Seguras de UN-HABITAT*⁷ identifican una serie de vulnerabilidades constructivas que, aunque analizadas inicialmente para edificios escolares, son directamente extrapolables a la vivienda, donde las luces son menores pero la fragilidad constructiva suele ser mayor.

1. Ubicación y relación con el terreno

La elección del emplazamiento condiciona de forma decisiva la vulnerabilidad de la vivienda frente a los ciclones. Las construcciones situadas en zonas bajas, próximas a cursos de agua o sobre laderas inestables presentan un elevado riesgo de inundación y erosión del terreno.

Los manuales técnicos recomiendan evitar áreas inundables, mantener una distancia mínima respecto a ríos y fuentes de agua, y situar las edificaciones alejadas tanto de la base como de la coronación de taludes, reduciendo así el riesgo de colapso por saturación del suelo. Asimismo, la proximidad a árboles de gran porte constituye un factor de riesgo adicional, ya que pueden caer durante los episodios de viento extremo.

Cuando el terreno presenta riesgo de inundación recurrente, se recomienda elevar el plano de apoyo de la vivienda, mediante un zócalo, plataforma o pilotes, con una sobreelevación mínima de 40–60 cm respecto al terreno natural, permitiendo el paso del agua sin afectar al interior.

2. Geometría y forma del edificio

La forma del edificio influye directamente en la acción del viento. Las investigaciones realizadas en el marco del *Proyecto Escuelas Seguras* demuestran que las edificaciones con plantas compactas y simétricas reducen las presiones diferenciales y el efecto de succión en cubiertas y fachadas.

Se recomienda que la relación entre largo y ancho no supere 3:1, tanto en escuelas como en viviendas, evitando configuraciones alargadas que incrementan la inestabilidad frente al viento. Las formas irregulares o con retranqueos generan zonas de turbulencia y deben evitarse en contextos de alta exposición ciclónica.

3. Cimentación y relación estructura–suelo

Una de las principales causas de inclinación o vuelco de las viviendas durante los ciclones es la insufi-

ciente profundidad o anclaje de la cimentación. Los manuales recomiendan excavar zapatas o huecos de al menos 60 cm de profundidad para la colocación de estacas o apoyos verticales, garantizando su estabilidad incluso en suelos saturados.

La distancia entre estacas estructurales debe situarse entre 1,20 m y 1,50 m, permitiendo una adecuada distribución de cargas y reduciendo deformaciones excesivas de la estructura.

Cuando se eleva la vivienda para evitar inundaciones, es imprescindible incorporar arriostramientos inclinados entre estacas, evitando desplazamientos laterales producidos por el viento.⁸

4. Uniones estructurales

Las uniones constituyen uno de los puntos más críticos frente a la acción ciclónica. El fallo suele producirse cuando las conexiones entre cimientos, paredes, vigas y cubierta no son continuas. Los documentos técnicos indican que los elementos estructurales deben estar ligados mecánicamente, mediante clavos de gran longitud (4”–5”), tornillos, chapas metálicas o amarres reforzados, evitando apoyos simples sin anclaje.

El principio fundamental es que las cargas del viento deben transmitirse de forma continua desde la cubierta hasta el terreno, evitando puntos débiles donde se produzca el colapso progresivo.

5. Paredes y cerramientos verticales

Las paredes mal arriostradas o con excesiva separación entre montantes presentan una elevada vulnerabilidad frente a la presión del viento. En sistemas de entramado ligero, se recomienda una separación entre elementos verticales de 30–35 cm, mientras que los elementos horizontales deben disponerse cada 20 cm, asegurando la rigidez del cerramiento.

Las puertas y ventanas deben colocarse a una distancia mínima de 40 cm de las esquinas, evitando concentraciones de esfuerzos y reduciendo el riesgo de fisuración o colapso local. Además, las paredes deben estar firmemente conectadas a la estructura de cubierta, mediante chapas de unión o amarres continuos, para evitar su expulsión por presión interna.

6. Cubierta

La cubierta es el elemento más expuesto al viento ciclónico y uno de los principales puntos de fallo. Para reducir su vulnerabilidad, se recomienda una inclinación comprendida entre 30° y 45°, lo que favorece el deslizamiento del viento y reduce la succión en la parte superior.

La prolongación de los aleros debe limitarse a 50–60 cm respecto al plano de fachada. Aleros mayores incrementan el riesgo de levantamiento; si se desea ampliar una veranda, esta debe disponer de pilares propios y refuerzos adicionales, funcionando como una estructura independiente del techo principal.

⁷ UN Habitat y Universidade Eduardo Moldane, *Developing Guidelines on School Safety and Resilient School Building Codes FINAL REPORT* (2015).

⁸ UEM y FAPF, *Catálogo de medidas técnicas: Ciclones*, 1a Edição (Maputo, 2014).

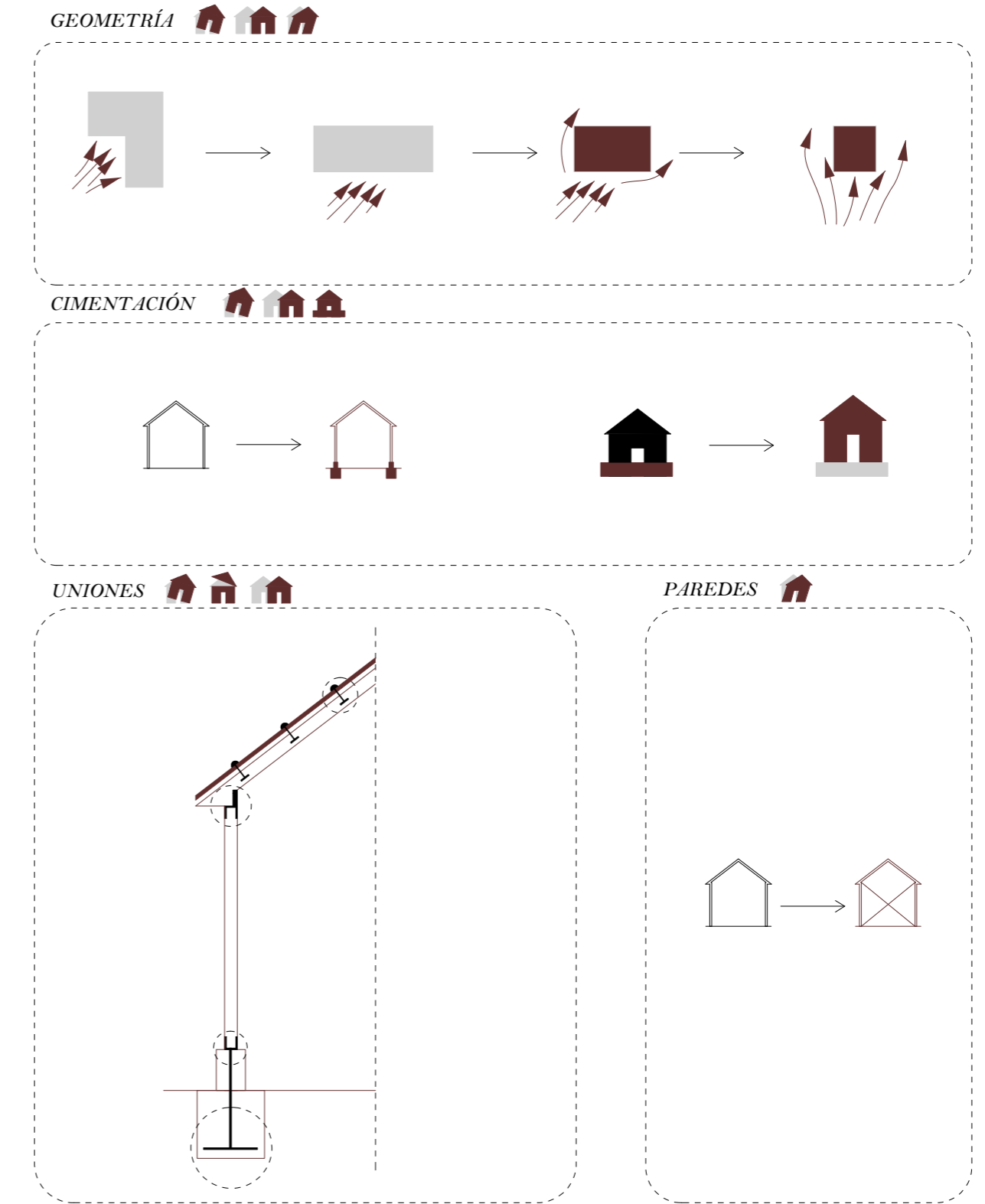
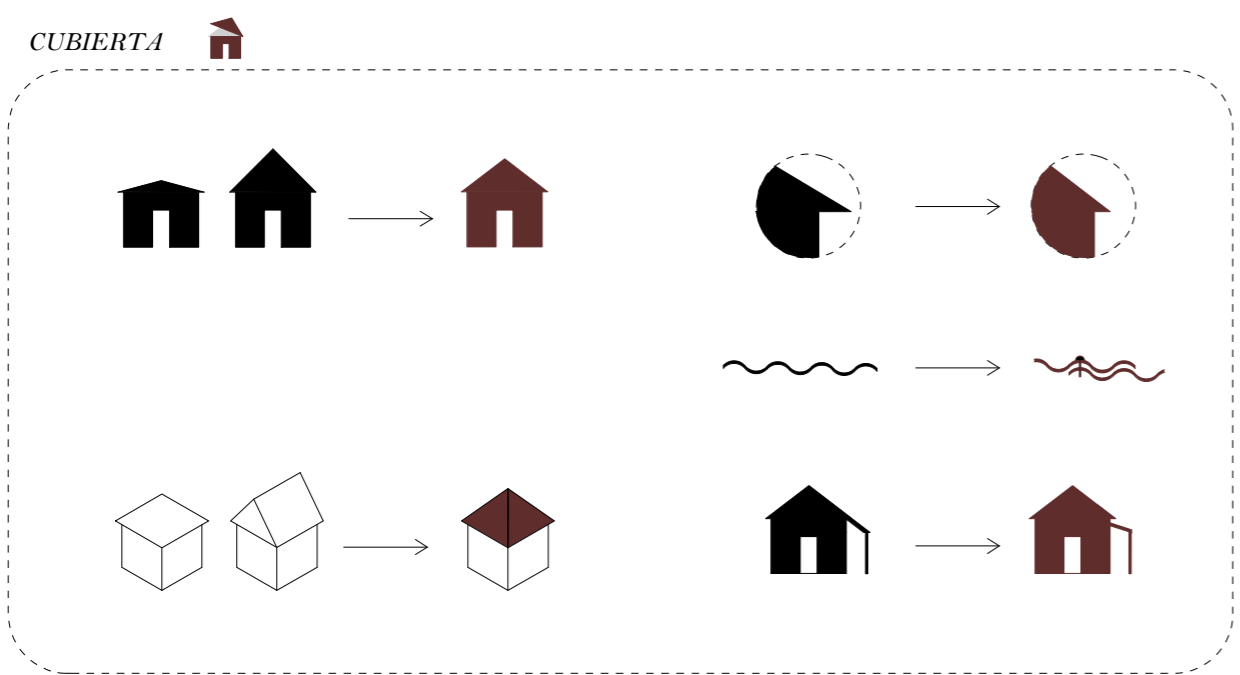
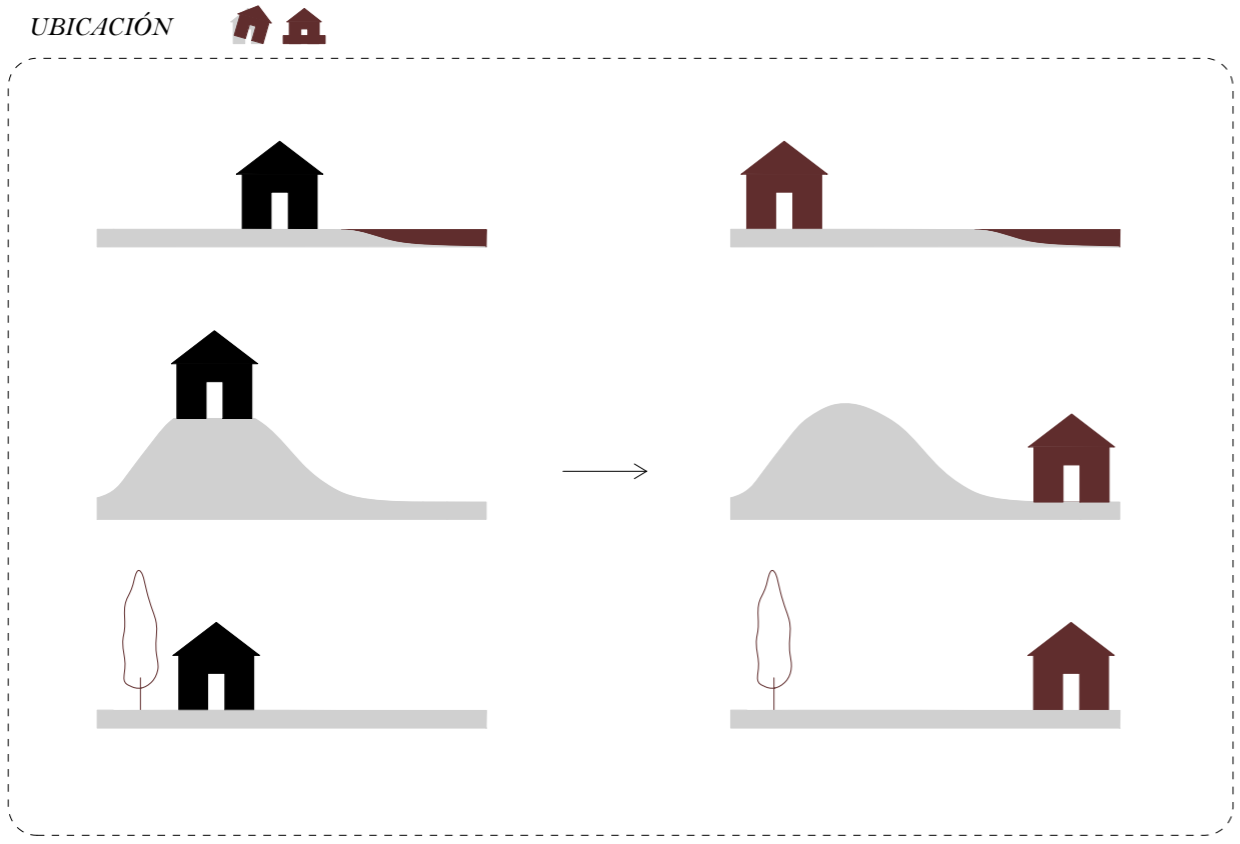


Fig 17. Impacto de ciclones y medidas de prevención. *Elaboración propia.*

03. ESTADO DE LA CUESTIÓN

APORTES DE ASOCIACIONES E INICIATIVAS NACIONALES.

En Mozambique, el ámbito de la vivienda de emergencia y posdesastre ha estado fuertemente influido por el trabajo de organizaciones nacionales e internacionales que operan dentro del *Mozambique Shelter Cluster*, un espacio de coordinación que recoge, evalúa y estandariza las soluciones implementadas principalmente en el norte del país. Estas iniciativas han permitido generar un catálogo de respuestas habitacionales de distinta escala y permanencia, construidas con materiales locales (madera, caña, bambú, barro) y adaptadas al contexto de desplazamientos internos, reasentamientos y crisis climática. El *Shelter Assistance Catalogue* (2021)⁹ reúne las soluciones aplicadas por los socios en los últimos años, categorizadas en emergencia, transicionales y permanentes, y constituye la base documental para el análisis siguiente.

Proceso de selección

A partir de este catálogo, se seleccionaron seis modelos representativos (dos por cada categoría) siguiendo criterios de:









- Recurrencia en el territorio.
- Nivel de documentación técnica disponible.
- Uso de materiales locales.
- Posibilidad de crecimiento o adaptación.
- Relevancia para el estudio de soluciones progresivas.

Para cada uno se elaboró una ficha de análisis que recoge: área, coste, tiempo de construcción, durabilidad, potencial de crecimiento, uso del bambú y materiales complementarios. Este proceso permitió comparar, de forma transversal, la construcción tradicional y la construcción humanitaria contemporánea, identificando las tendencias nacionales actuales.

⁹ Mozambique Shelter Cluster, Shelter Designs in the Northern Region of Mozambique (2021), www.sheltercluster.org.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

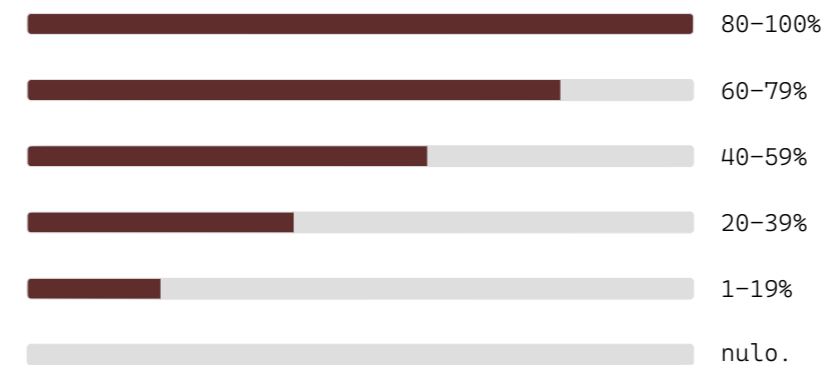
01. CARACTERÍSTICAS DE RESILIENCIA A CICLONES

-  GEOMETRÍA: relación entre largo-ancho no supera proporción 3:1.
-  SOBREELEVACIÓN: zócalo, plataforma o pilotes de 40-60 cm.
-  CIMENTACIÓN: zapatas de al menos 60 cm de profundidad
-  CERRAMIENTOS VERTICALES: arriostrados.
-  CUBIERTA: a cuatro aguas, o dos aguas en caso de construcciones menores.
-  VERANDA: pilares propios y refuerzos adicionales.
-  ALEROS: prolongación de 50-60 cm máximo respecto al plano de fachada.
-  INCLINACIÓN: comprendida entre 30° y 40°.

02. CRITERIOS CUALITATIVOS

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN:	rapidez de ejecución: mas porcentaje, mas tiempo requerido
DURABILIDAD:	vida útil estimada sin intervenciones mayores: mas porcentaje, mas durabilidad
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO:	capacidad de ampliación o mejora progresiva: mas porcentaje, mas crecimiento posible
MANO DE OBRA:	nivel de especialización requerido, mas porcentaje, mas mano de obra cualificada necesaria
USO DE BAMBÚ:	grado de integración del bambú en el sistema constructivo: mas porcentaje, uso de bambu como material estructural

La asignación del porcentaje no responde a un cálculo matemático, sino a una valoración técnica cualitativa, basada en la comparación entre casos y en la coherencia con los objetivos del trabajo.



01_IBO SEDE, IBO, SHELTER ASSISTANCE TYPE 1



Quirimba, Ibo



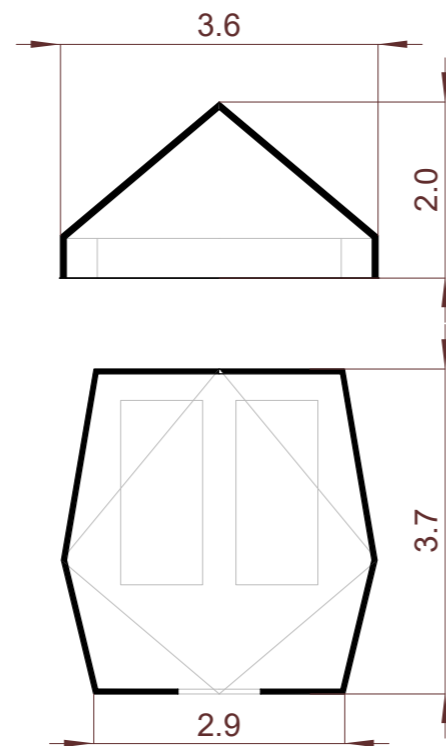
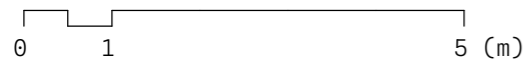
Quirimba, Ibo

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	11 m2
COSTE	41\$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	1 día
DURABILIDAD	6 meses
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Limitada
MANO DE OBRA	Autoconstrucción
USO DE BAMBÚ	Principal
OTROS MATERIALES	Madera, CGI, clavos.



PLANOS

Es una solución de emergencia que se construye en muy poco tiempo, muy resiliente por los amarres del techo y eficiente en recursos, capaz de responder rápidamente a situaciones críticas; no obstante, su correcta implementación depende de capacitación técnica y de un proceso de transmisión de conocimientos que garantice su apropiación a largo plazo, además es muy diferente del sistema de vivienda tradicional, lo que dificulta que se implemente a largo plazo.



02_ NTOKOTA, METUGE, SHELTER ASSISTANCE TYPE 1



Ntokota, Metuge



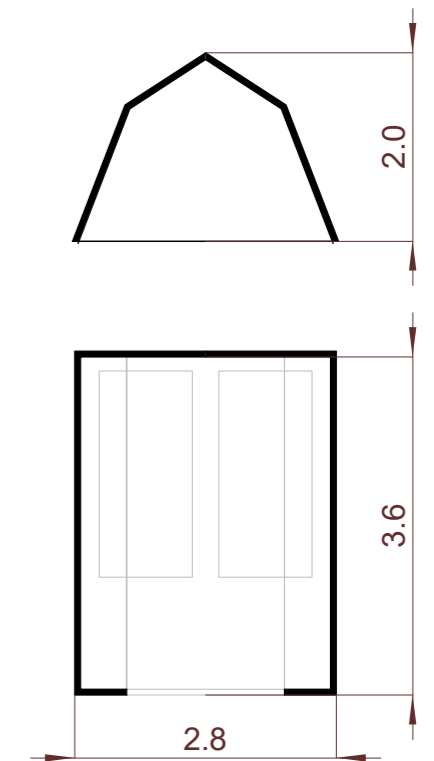
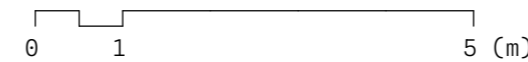
Ntokota, Metuge

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	8 m2
COSTE	120\$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	4-6 horas
DURABILIDAD	12 meses
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Limitada
MANO DE OBRA	Autoconstrucción + cualificada
USO DE BAMBÚ	Principal
OTROS MATERIALES	Lona, esterilla (bambú) cuerdas.



PLANOS

Este modelo destaca por su construcción muy rápida, bajo coste y facilidad de transporte, siendo adecuado para respuestas inmediatas en centros temporales. Como desventajas, ofrece poco espacio y privacidad, requiere tratamiento del bambú, no es fácil de mejorar y no se eleva del suelo, además de carecer de divisiones y puertas. En conjunto, es una solución eficaz para emergencias, pero necesita mejoras rápidas si se prevé una estancia más prolongada.



03_ EDUARDO MONDLANE, MUEDA, SHELTER ASSISTANCE TYPE 1

04_ CUJUPANE, ANCUABE, SHELTER ASSISTANCE TYPE 1



Eduardo Mondlane, Mueda



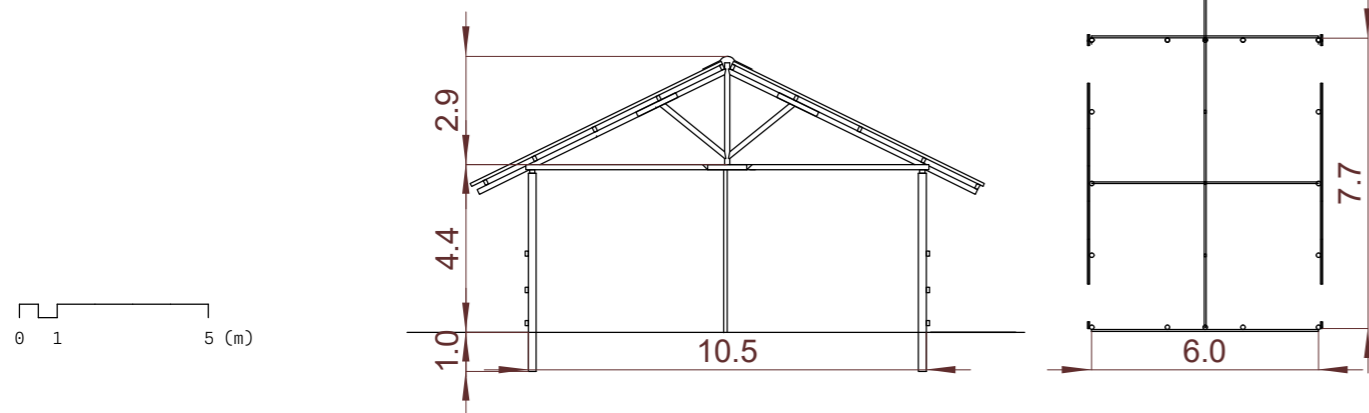
Eduardo Mondlane, Mueda

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	11,4 m ²
COSTE	295 \$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	14 día
DURABILIDAD	1-2 años
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	No
MANO DE OBRA	Cualificada
USO DE BAMBÚ	Secundario
OTROS MATERIALES	Madera, CGI, clavos.



PLANOS

Este shelter comunal ofrece una solución temporal adecuada para personas en tránsito, con unidades independientes dentro de una estructura compartida y una construcción relativamente robusta. Sin embargo, presenta poco espacio y escasa privacidad, y solo sirve para estancias de corta duración. En conjunto, funciona bien como alojamiento transitorio antes de una reubicación definitiva.



Cujupane, Ancuabe



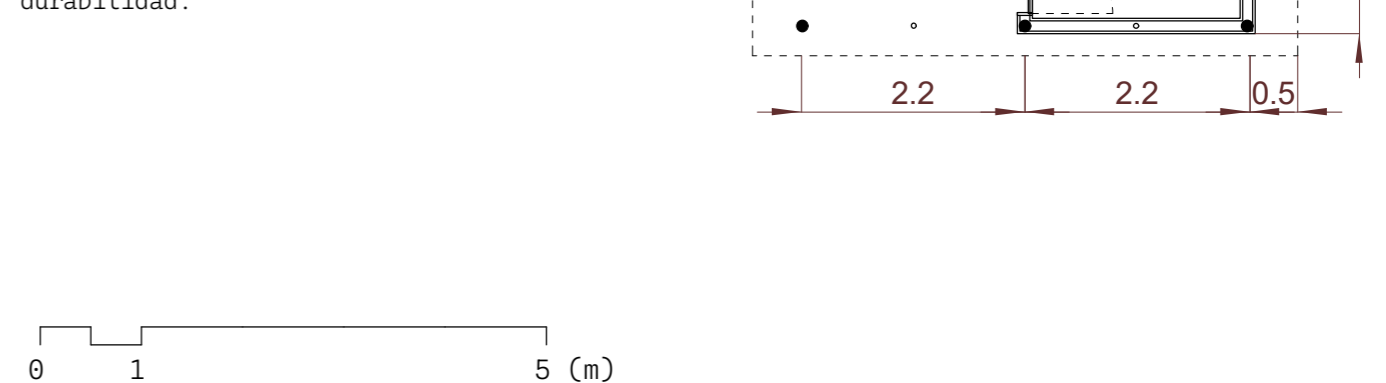
Cujupane, Ancuabe

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	8 + 8 m ²
COSTE	120 \$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	4-6 horas
DURABILIDAD	12 meses
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Sí
MANO DE OBRA	Autoconstrucción
USO DE BAMBÚ	Secundario
OTROS MATERIALES	Madera, lona, cuerdas.



PLANOS

Este shelter ofrece buena apropiación comunitaria, mejora técnicas locales y permite ampliarse fácilmente, siendo una solución más durable al usar materiales de la zona. Sin embargo, su duración depende mucho de la longevidad de la lona y presenta riesgos en temporada de lluvias por falta de cimentación. En conjunto, es una solución de emergencia eficaz y aceptada por la comunidad, aunque requiere mantenimiento y mejoras en la cubierta para asegurar su durabilidad.



05_MAMBA SEDE, MEMBA, SHELTER ASSISTANCE TYPE 3



Memba sede, Memba



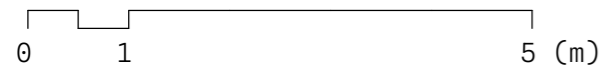
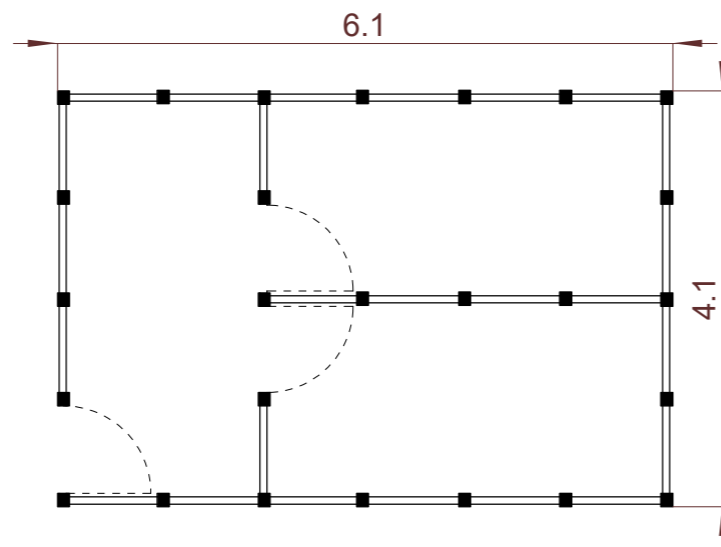
Memba sede, Memba

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	24 m2
COSTE	1300 - 1600 \$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	7 días
DURABILIDAD	5-10 años
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Sí
MANO DE OBRA	Cualificada
USO DE BAMBÚ	Secundario
OTROS MATERIALES	Madera, CGI, cemento.



PLANOS

Este shelter ofrece una estructura sólida, buena privacidad y posibilidades de crecimiento, funcionando como una solución casi permanente. Sin embargo, el uso intensivo de madera y bambú, el costo elevado y la necesidad de revocar las paredes para protegerlas de la lluvia pueden dificultar su adopción por familias vulnerables. En conjunto, es una solución estable y bien aceptada, aunque menos accesible económicamente.



06_MAZUANE, MEMBA, SHELTER ASSISTANCE TYPE 3



Mazuane, Memba



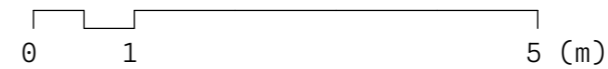
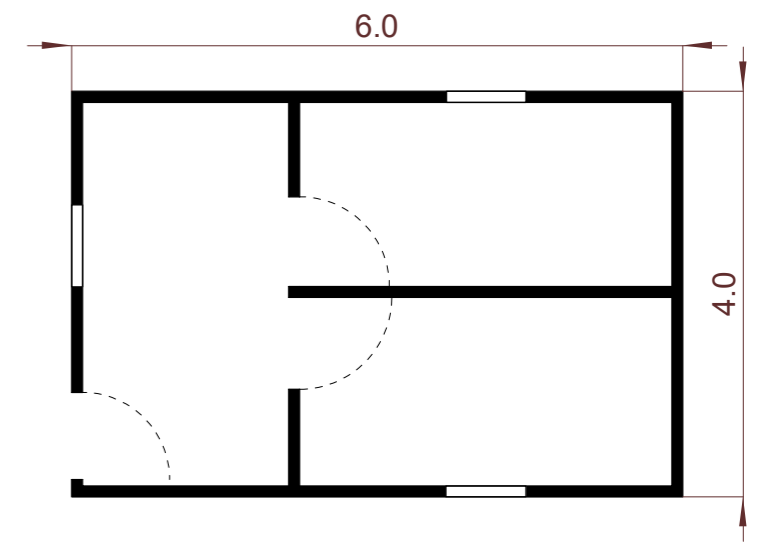
Mazuane, Memba

UBICACIÓN	Mozambique
AREA	24 m2
COSTE	1800 \$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	10 días
DURABILIDAD	15-30 años
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Sí
MANO DE OBRA	Cualificada
USO DE BAMBÚ	No
OTROS MATERIALES	Bloques CSEB, madera, CGI



PLANOS

Vivienda de carácter permanente (15-30 años), construida con bloques de tierra estabilizada (CSEB), madera y chapa metálica. Es más sostenible que el uso de bloques de cemento convencionales. Presenta opciones de ampliación y buena aceptación comunitaria. No emplea bambú como material estructural principal.

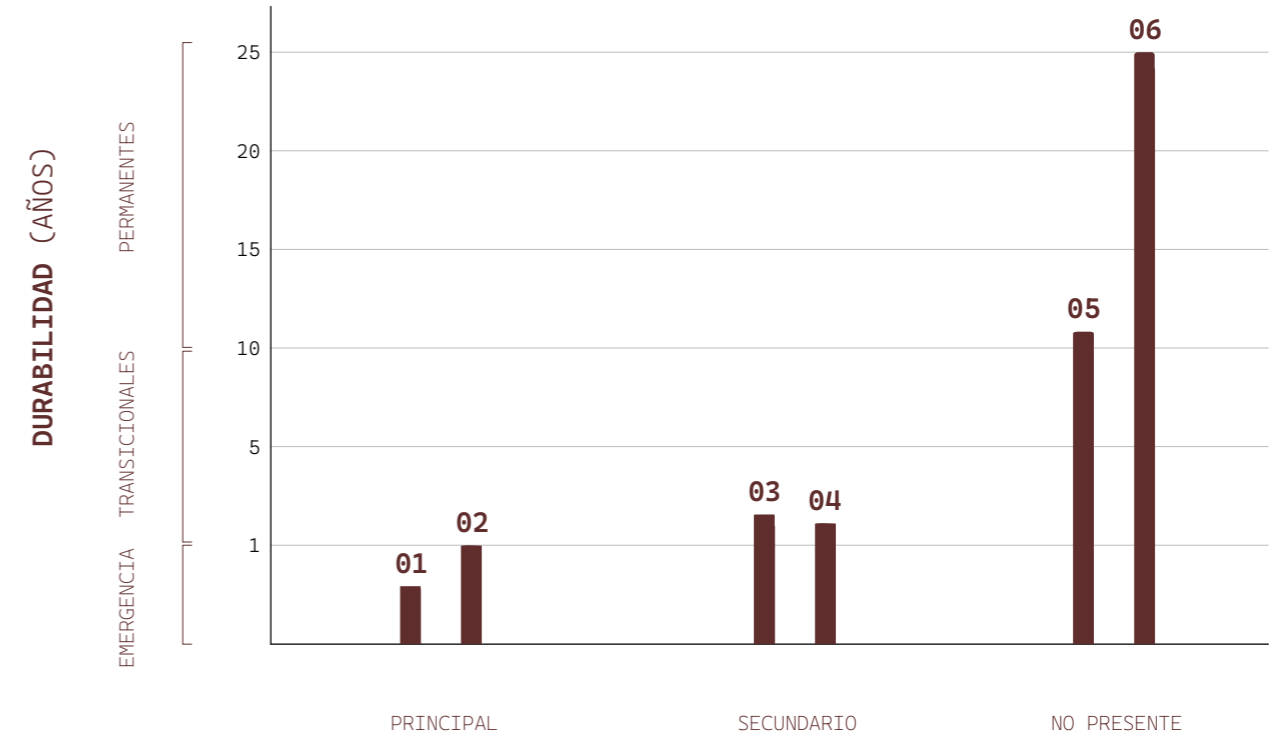


Análisis de resultados

En conjunto, el análisis de estas seis iniciativas seleccionadas permite comprender cómo las distintas respuestas de vivienda aplicadas en Mozambique reflejan una evolución desde soluciones inmediatas y altamente frágiles hasta propuestas más sólidas orientadas a la permanencia. El recorrido comparativo evidencia que, aunque existe un uso extendido de materiales locales y un esfuerzo continuo por mejorar la resiliencia, cada categoría responde a necesidades y tiempos muy distintos: los modelos de emergencia priorizan la rapidez y la economía; los transicionales incorporan mejoras técnicas y cierta capacidad de adaptación; y los permanentes buscan estabilidad, privacidad y durabilidad mediante sistemas constructivos más complejos.

A pesar de estas diferencias, emerge un patrón claro: **el bambú**, a pesar de su disponibilidad, su bajo coste y su protagonismo en las tipologías de emergencia, **pierde peso progresivamente a medida que las soluciones avanzan hacia la permanencia.**

El resultado es un vacío evidente: Mozambique dispone de soluciones permanentes consolidadas, pero ninguna aprovecha el potencial del bambú como elemento estructural central, a pesar de su abundancia y de su capacidad para responder a los retos climáticos y económicos del país.



NIVEL DE USO DE BAMBÚ



Fig 18. Análisis de resultados. Elaboración propia a partir de los datos de shelter cluster

VIVIENDA SOCIAL EN BAMBÚ EN EL MUNDO Y SU RESILIENCIA

Para el desarrollo del prototipo de vivienda social en bambú se ha llevado a cabo, en primer lugar, una revisión de referencias construidas a escala internacional que emplean este material como sistema estructural principal. El objetivo de este análisis no ha sido reproducir modelos existentes, sino extraer criterios de resiliencia, soluciones técnicas y estrategias constructivas que puedan ser reinterpretadas y adaptadas al contexto del proyecto.

Las referencias se han estudiado atendiendo a su respuesta frente a riesgos ambientales, a la lógica constructiva empleada, al grado de complejidad técnica y a su viabilidad económica. A partir de este proceso, los casos se han clasificado según su nivel de resiliencia y su afinidad con los objetivos del prototipo, seleccionándose seis casos de estudio que se consideran especialmente representativos. A continuación, se justifica la elección de cada uno de ellos y se sintetizan sus características más relevantes.

CASO 01- Blooming bamboo ¹⁰

Este caso se selecciona por demostrar que una vivienda de dimensiones reducidas y basada en paneles muy sencillos puede alcanzar un alto nivel de resiliencia sin recurrir a soluciones complejas ni a un coste elevado. El proyecto consigue integrar de forma equilibrada funcionalidad, comportamiento climático y calidad espacial, convirtiéndose en una referencia directa para vivienda social de bajo presupuesto.

Entre sus aspectos más relevantes destacan el sistema de elevación del plano habitable respecto al terreno, que mejora la protección frente a inundaciones y humedad; la ventilación cruzada, fundamental en climas cálidos y húmedos; y la recogida de aguas pluviales, integrada como parte del propio diseño arquitectónico. Estos mecanismos, simples pero eficaces, son fácilmente transferibles al prototipo y compatibles con procesos de autoconstrucción.

CASO 02- Prototipo Escuela Taller de San Lorenzo ¹¹

Este caso se selecciona por el empleo de un sistema de paneles prefabricados de bambú aplicado de manera integral. Estos paneles se utilizan tanto en el forjado como en los elementos verticales.

El interés principal de este caso reside en la claridad del sistema constructivo, la reducción de tiempos de obra y la posibilidad de controlar mejor la calidad de ejecución. Asimismo, la solución de cimentación utilizada resulta relevante como antecedente para una vivienda ligera elevada, compatible con suelos de baja capacidad portante y contextos vulnerables.

CASO 03- Casa Convento ¹²

Aunque se trata de una construcción con un coste más elevado, este caso se incorpora por su carácter de vivienda permanente, alejándose de soluciones estrictamente temporales. Resulta especialmente relevante porque combina bambúes de distintos diámetros, concretamente piezas de entre 5 y 10 cm,

¹⁰ Davis Ashleigh, «Blooming Bamboo Home by H&P Architects», 2013, <https://www.dezeen.com/2013/09/25/blooming-bamboo-house-by-h-and-p-architects/>.

¹¹ Adela Salas Ruiz et al., ASESORÍA: IMPLEMENTACIÓN DEL COMPONENTE DE INNOVACIÓN DEL PROYECTO «ESCUELA TALLER SAN LORENZO (ETSL)» (Madrid, 2021).

¹² «Casa Convento / Enrique Mora», <https://www.archdaily.cl/cl/759184/casa-convento-enrique-mora-alvarado>.

una estrategia estructural que se quiere replicar en el prototipo.

Esta combinación permite diferenciar claramente los elementos estructurales principales de los secundarios, optimizando el uso del material y mejorando el comportamiento mecánico del conjunto. El caso demuestra que el bambú puede emplearse en soluciones duraderas, con una imagen arquitectónica sólida y una vida útil prolongada, manteniendo criterios de sostenibilidad.

CASO 04- Seeds ¹³

Este caso se selecciona por su extrema sencillez constructiva y por no requerir mano de obra cualificada. Toda la estructura se resuelve mediante uniones con cuerdas, sin herrajes metálicos ni maquinaria especializada, y empleando exclusivamente materiales naturales y locales.

Su valor como referencia reside en mostrar cómo es posible construir viviendas resilientes a partir de técnicas accesibles a comunidades con recursos limitados, favoreciendo la autoconstrucción y la apropiación del proceso por parte de los usuarios. Además, el uso de uniones flexibles contribuye a un buen comportamiento frente a cargas dinámicas.

CASO 05- tipologías constructivas nuevas con caña guadua. ¹⁴

Este proyecto se incorpora por plantear una vivienda crecedera e incremental, capaz de adaptarse a la evolución de la unidad familiar y a la mejora progresiva de las condiciones económicas. En una primera fase, ciertos espacios se conciben como áreas en desuso o de uso secundario, que posteriormente pueden cerrarse o transformarse.

Esta lógica de crecimiento progresivo resulta especialmente pertinente, ya que permite reducir el coste inicial sin renunciar a la posibilidad de ampliación futura. El caso aporta criterios claros sobre cómo anticipar el crecimiento desde el diseño inicial, evitando soluciones improvisadas a largo plazo.

CASO 06- Prototipo Jonathan - Universidad de Ciencias Aplicadas de RheinMain ¹⁵

El último caso corresponde a un prototipo desarrollado por un estudiante alemán, cuya construcción se llevó a cabo en Mozambique y en la que se tuvo la oportunidad de participar directamente. Se selecciona principalmente por la calidad y resistencia de sus uniones estructurales, diseñadas para soportar esfuerzos elevados.

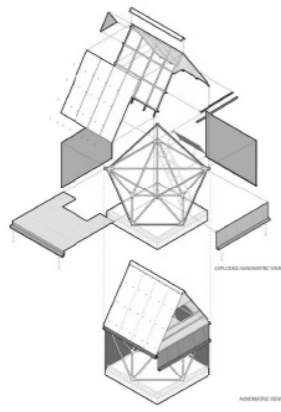
Aunque las soluciones originales emplean sistemas más industrializados, este caso sirve como referencia técnica para posteriormente adaptar dichas uniones a materiales más naturales, como la cuerda, y a formas de planta más próximas a la vivienda tradicional. El interés del caso reside, por tanto, en su potencial de reinterpretación más que en su reproducción literal.

En conjunto, estos seis casos de estudio conforman un marco de referencia coherente para el desarrollo del prototipo de vivienda social en bambú. Cada uno aporta estrategias complementarias (resiliencia climática, prefabricación, durabilidad, autoconstrucción, crecimiento progresivo y eficiencia estructural) que, combinadas, permiten construir una propuesta adaptada al contexto, técnica y socialmente viable.

¹³ «SEEDS INDIA», <https://www.seedsindia.org/>.

¹⁴ Juana Canet et al., Tipologías constructivas nuevas con caña guadua (2011).

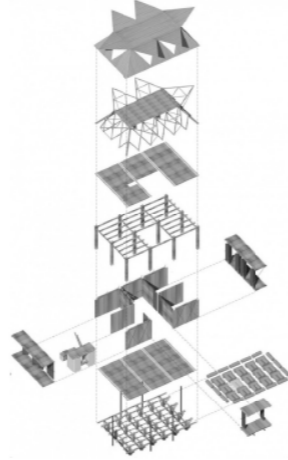
¹⁵ Jonathan Elías Neulen, «Arquitectura ecológica para el África subsahariana: un sistema de construcción modular y adaptable hecho de bambú y otras materias primas renovables» (Tesis Doctoral, Universidad de Ciencias Aplicadas de RheinMain, 2024).



01_KHUDI BARI

UBICACIÓN: Bangladesh.

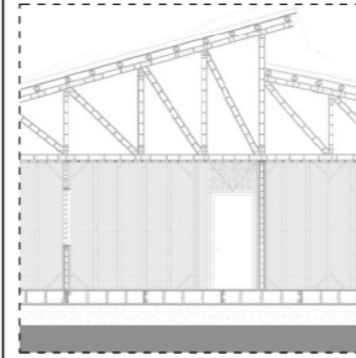
FUENTE: Marina Tabassum.



02_BLOOMING BAMBOO

UBICACIÓN: Vietnam.

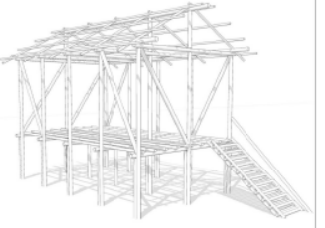
FUENTE: HP Architects.



03_SAN LORENZO

UBICACIÓN: Ecuador.

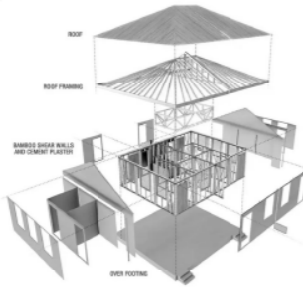
FUENTE: María del Mar Barbero Barrera.



04_SEEDS

UBICACIÓN: India.

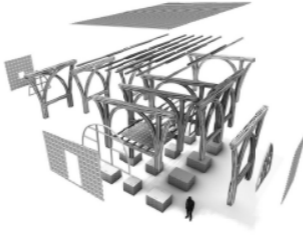
FUENTE: Kamal Chawla.



05_BASE BAHAY

UBICACIÓN: Philippines.

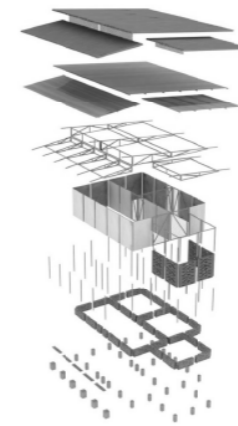
FUENTE: Hilti Foundation.



06_HOUSING NOW

UBICACIÓN: Bangladesh.

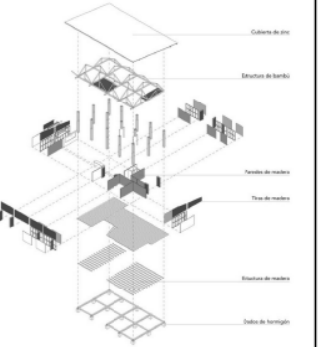
FUENTE: Blue Temple.



07_SOCIAL HOUSING

UBICACIÓN: Mexico.

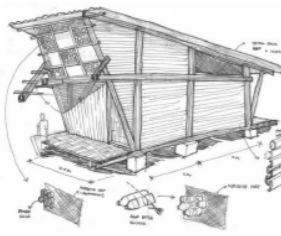
FUENTE: Comunal Taller de Arquitectura.



08_CASA CONVENTO

UBICACIÓN: Ecuador.

FUENTE: Enrique Mora Alvarado.



09_PEMULUNG HOUSE

UBICACIÓN: Indonesia.

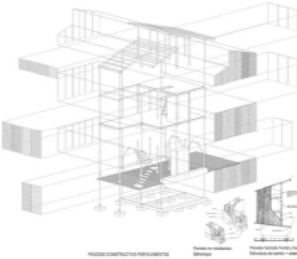
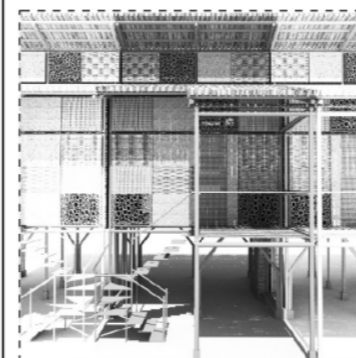
FUENTE: IBUKU.



10_ARQUITECTURA ECOLÓGICA

UBICACIÓN: Mozambique.

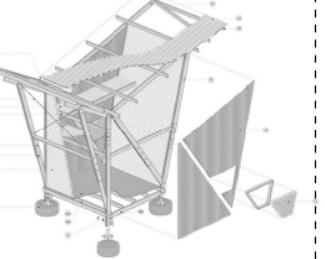
FUENTE: Jonathan Elias Neulen.



11_CAÑA GUADUA

UBICACIÓN: Ecuador.

FUENTE: Juana Canet / Rut Cuenca / Elena Gómez.



12_SOE KER TIE HOUSE

UBICACIÓN: Bangladesh.

FUENTE: Marina Tabassum.





EVALUACIÓN RESILIENCIA

GEOMETRÍA		✓
CIMENTACIÓN		✓
		✗
PAREDES		✗
		✗
CUBIERTA		✗
		✓
		✓
UNIONES		~
		✓
		✗

UBICACIÓN Vietnam

AREA 44-62 m2

COSTE 2500\$

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN 25 días



DURABILIDAD -



POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO Sí



MANO DE OBRA Autoconstrucción

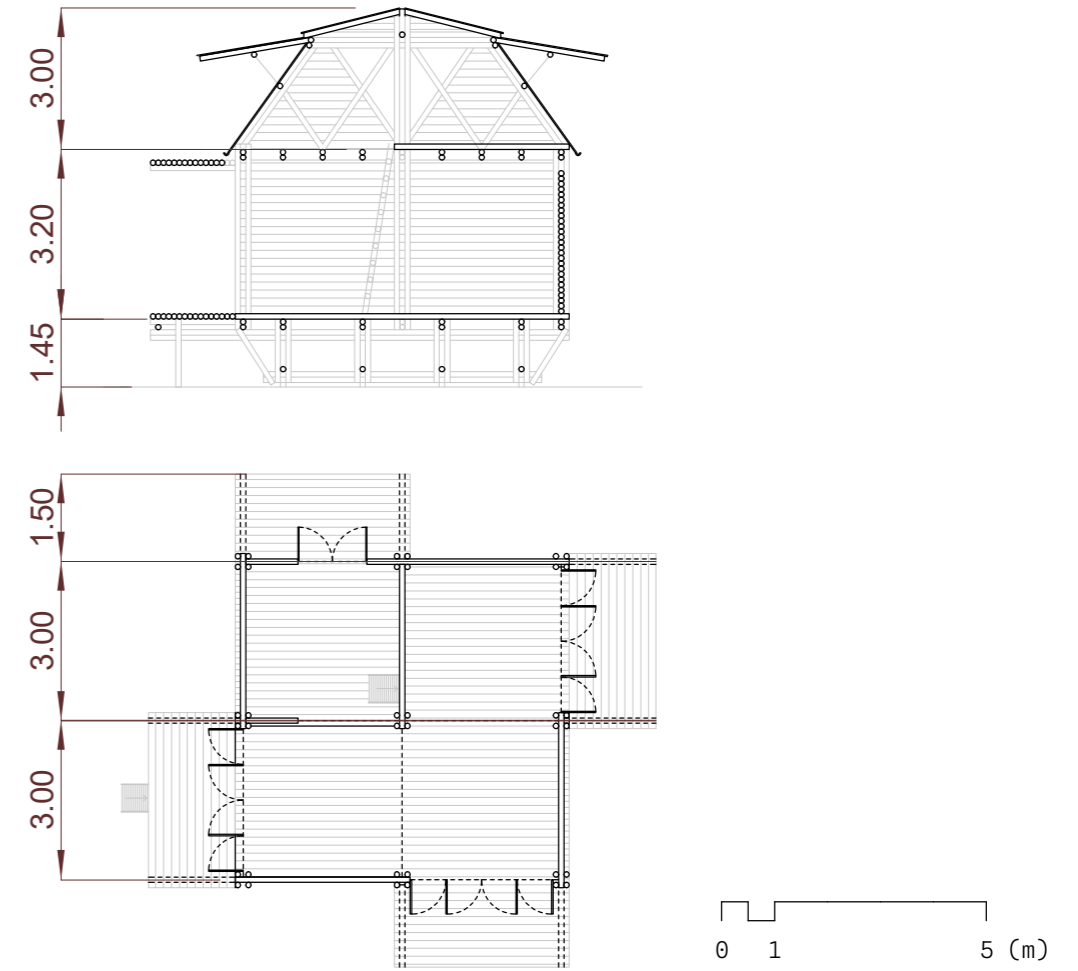


USO DE BAMBÚ Principal

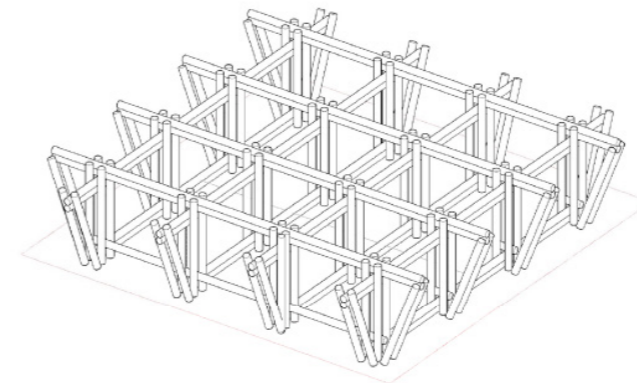


OTROS MATERIALES Vietnam

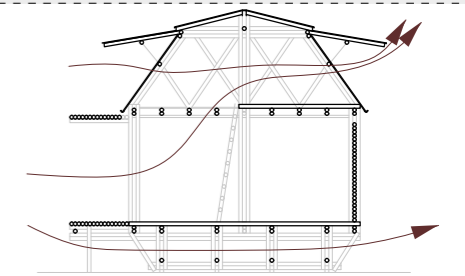
PLANOS



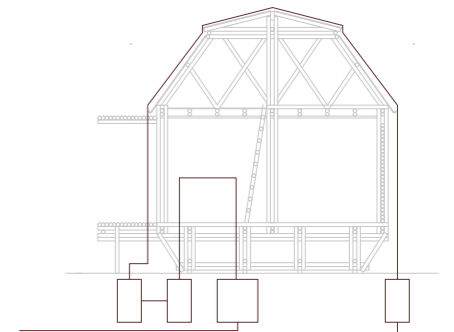
ESTRATEGIAS



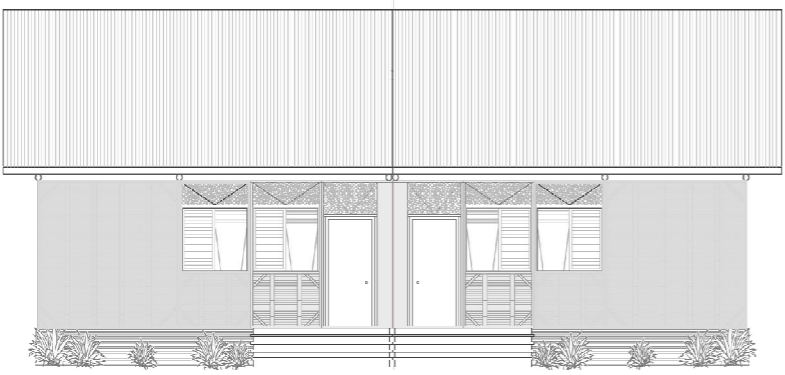
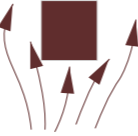







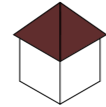



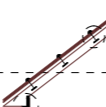
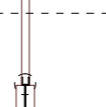
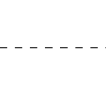
Sistema de elevación

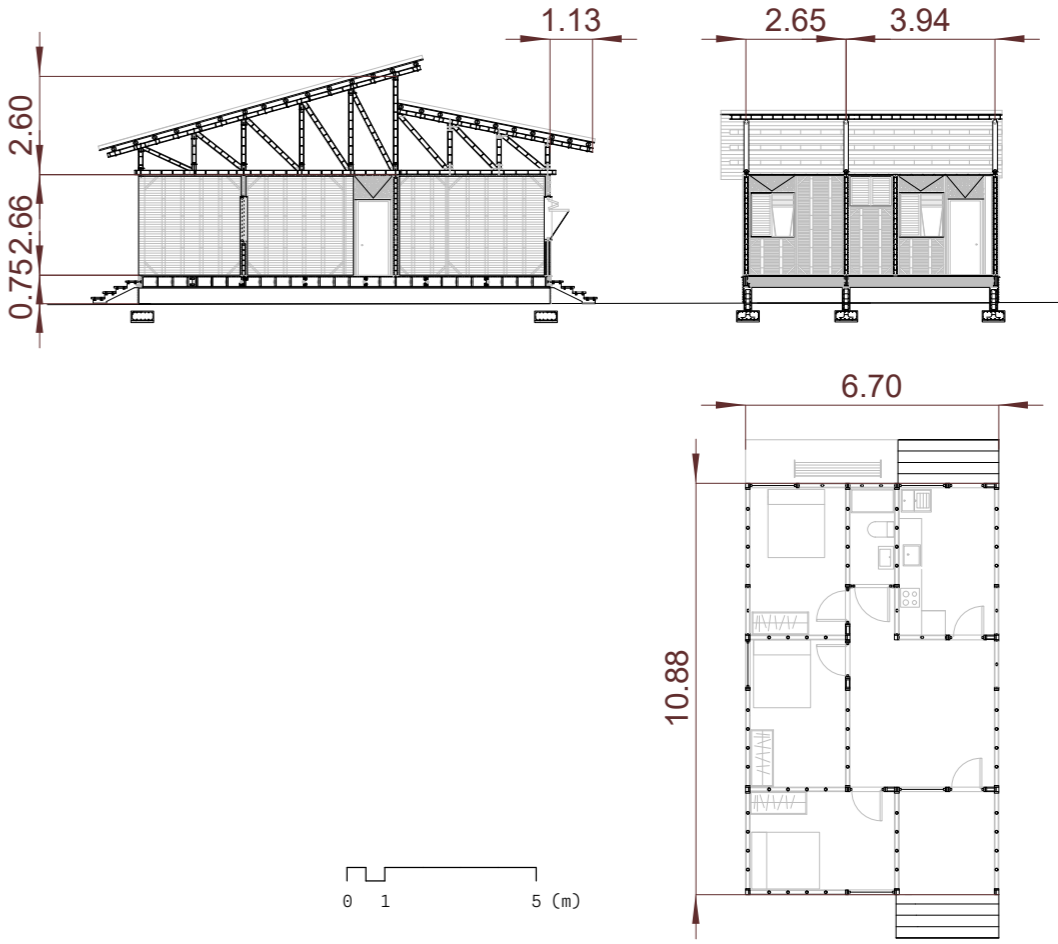
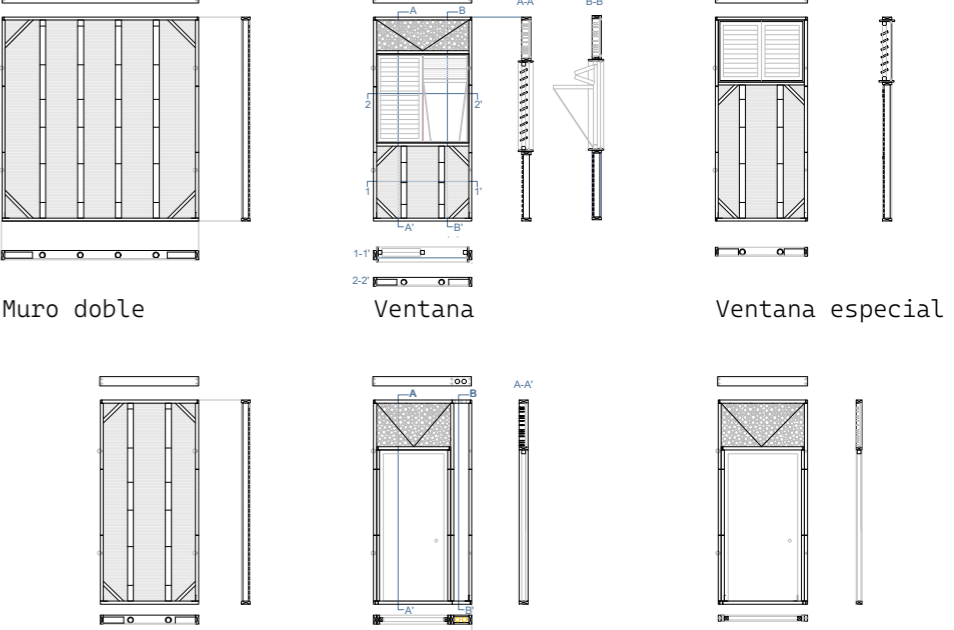


Ventilación cruzada



Recogida de aguas

		EVALUACIÓN RESILIENCIA
	GEOMETRÍA	 <input checked="" type="checkbox"/>
	CIMENTACIÓN	 <input checked="" type="checkbox"/>
	PAREDES	 <input type="checkbox"/>
UBICACIÓN Ecuador AREA 73 m2 COSTE - TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN 2-3 semanas  DURABILIDAD Alta  POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO Moderada  MANO DE OBRA Local  USO DE BAMBÚ Caña Guadua  OTROS MATERIALES Caña Guadua, madera, bahareque encementado, chapas galvanizadas, cemento, tierra armada.	CUBIERTA	 <input checked="" type="checkbox"/>
	UNIONES	 <input checked="" type="checkbox"/>
	 <input type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	
	 <input checked="" type="checkbox"/>	
 <input checked="" type="checkbox"/>		

PLANOS

ESTRATEGIAS

Catálogo de paneles



EVALUACIÓN RESILIENCIA

GEOMETRÍA		✗
CIMENTACIÓN		✓
PAREDES		✗
CUBIERTA		✗
UNIONES		✓
		✓
		✓
		✓

UBICACIÓN Ecuador

AREA 125 m2

COSTE 15000\$

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN 4 meses

DURABILIDAD Permanente

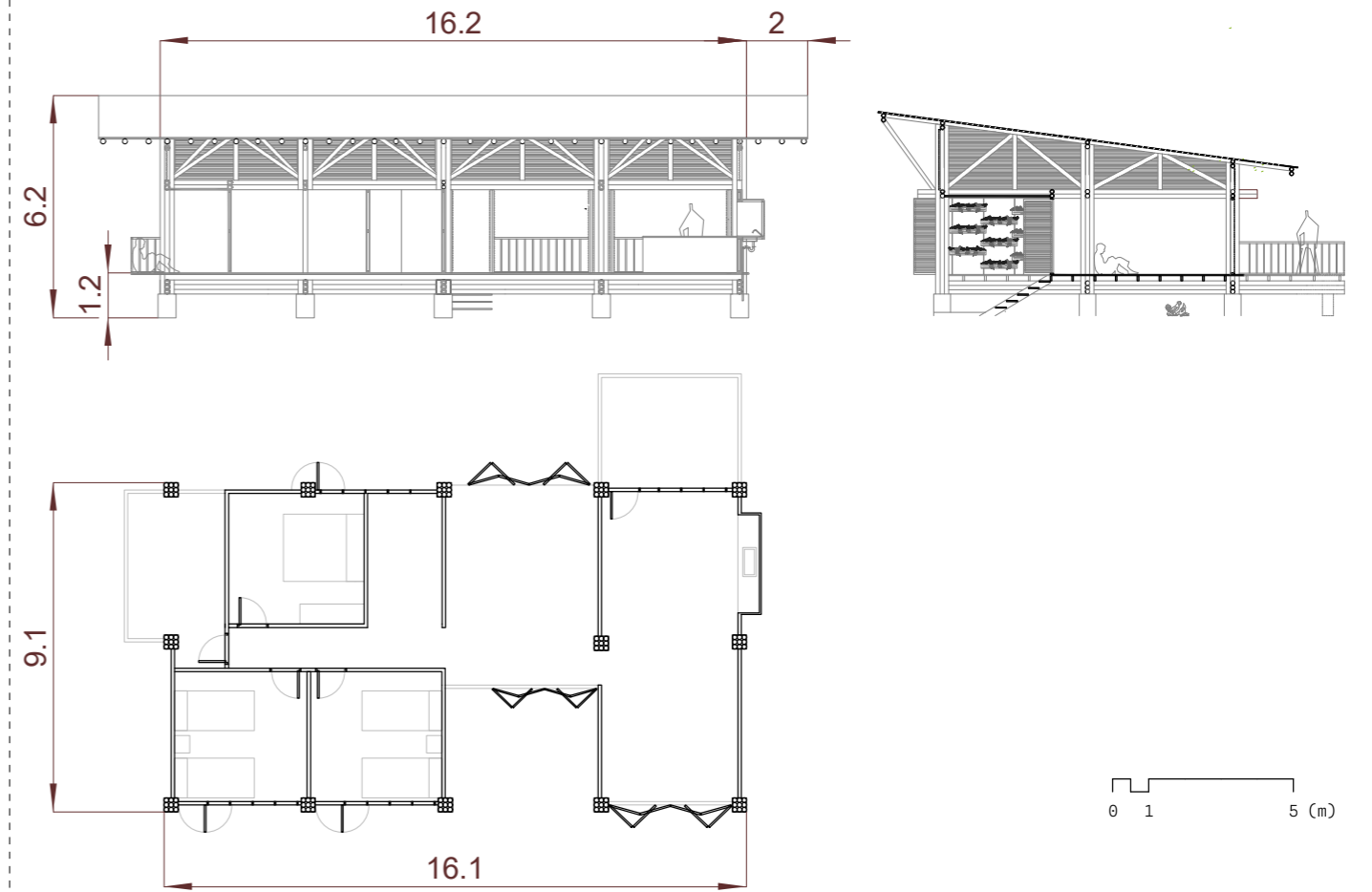
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO -

MANO DE OBRA Autoconstrucción + mano local capacitada

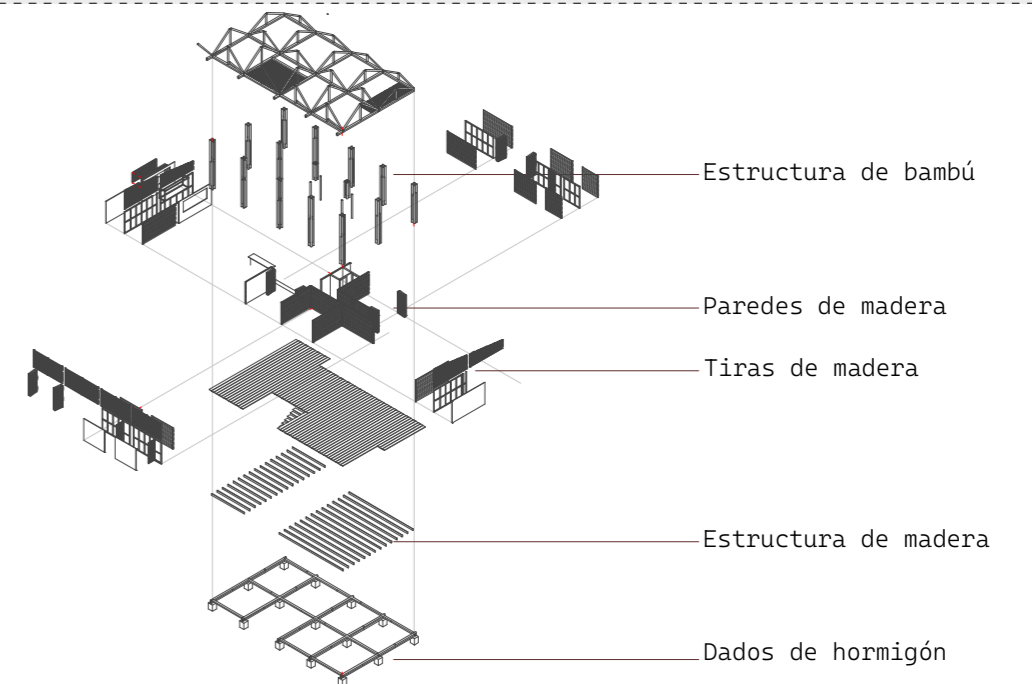
USO DE BAMBÚ Principal

OTROS MATERIALES Laurel

PLANOS



ESTRATEGIAS





EVALUACIÓN RESILIENCIA

GEOMETRÍA		✓
CIMENTACIÓN		✓
		✓
PAREDES		✓
		✗
CUBIERTA		✗
		✓
UNIONES		✗
		✗
		✗
		✗

UBICACIÓN India

AREA 30-40 m2

COSTE 5952.43 \$

TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN 6-8 meses

DURABILIDAD -

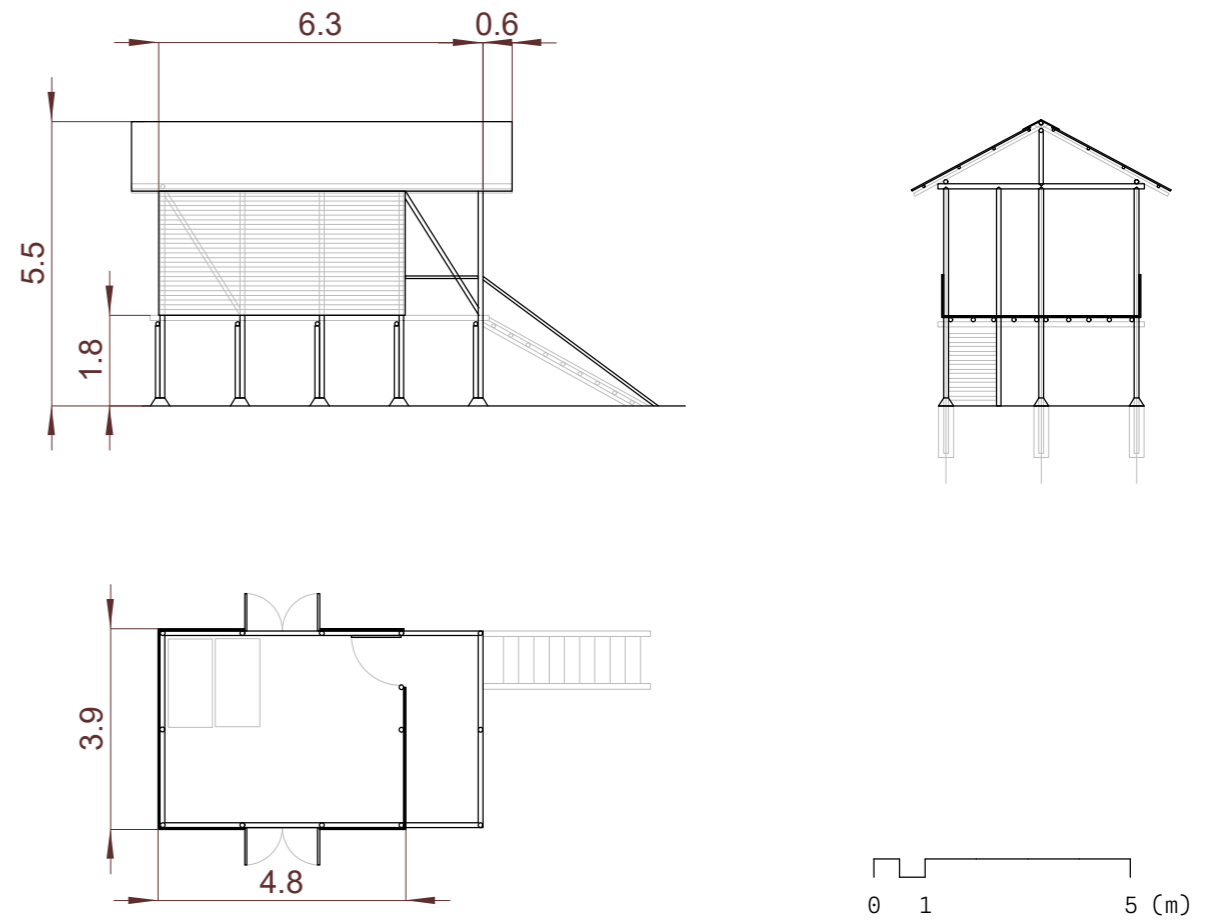
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO Sí

MANO DE OBRA No cualificada

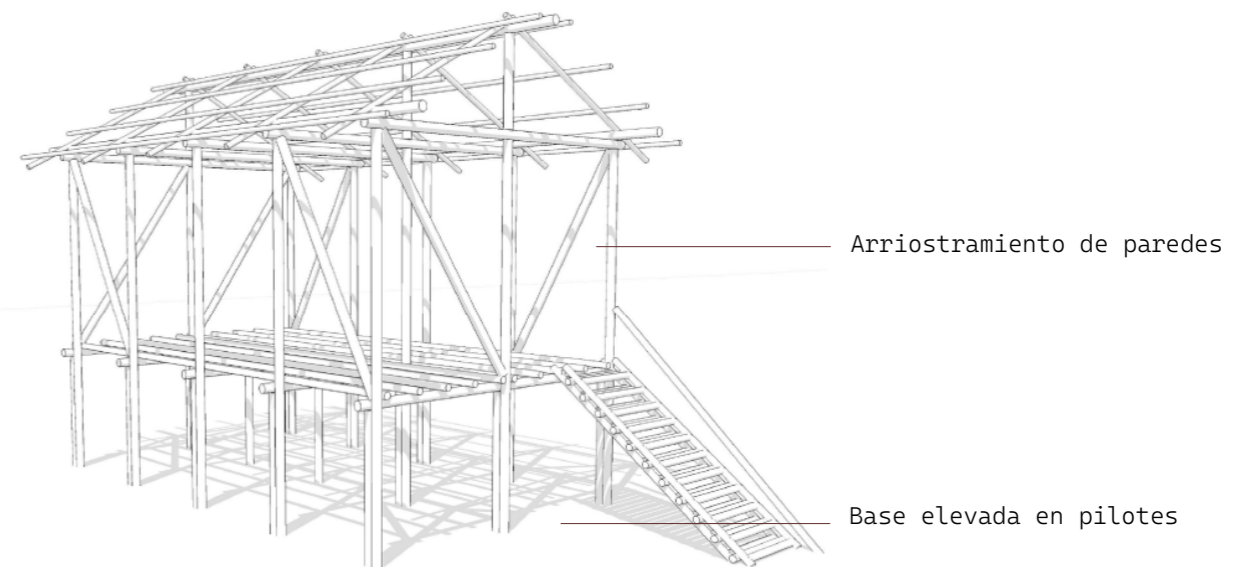
USO DE BAMBÚ Caña Guadua

OTROS MATERIALES Bambú, cemento, cuerda, ladrillo, metal.

PLANOS



ESTRATEGIAS



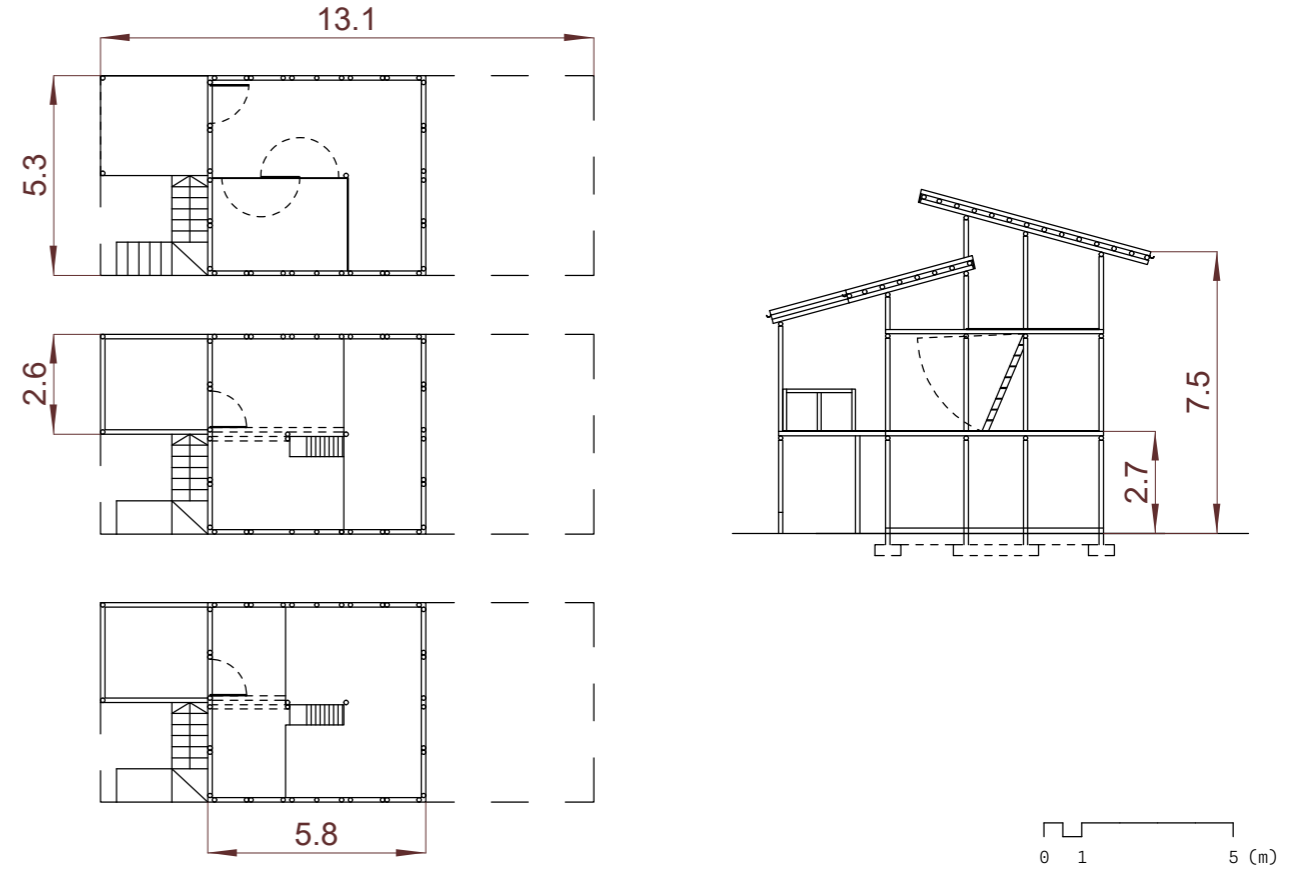


EVALUACIÓN RESILIENCIA

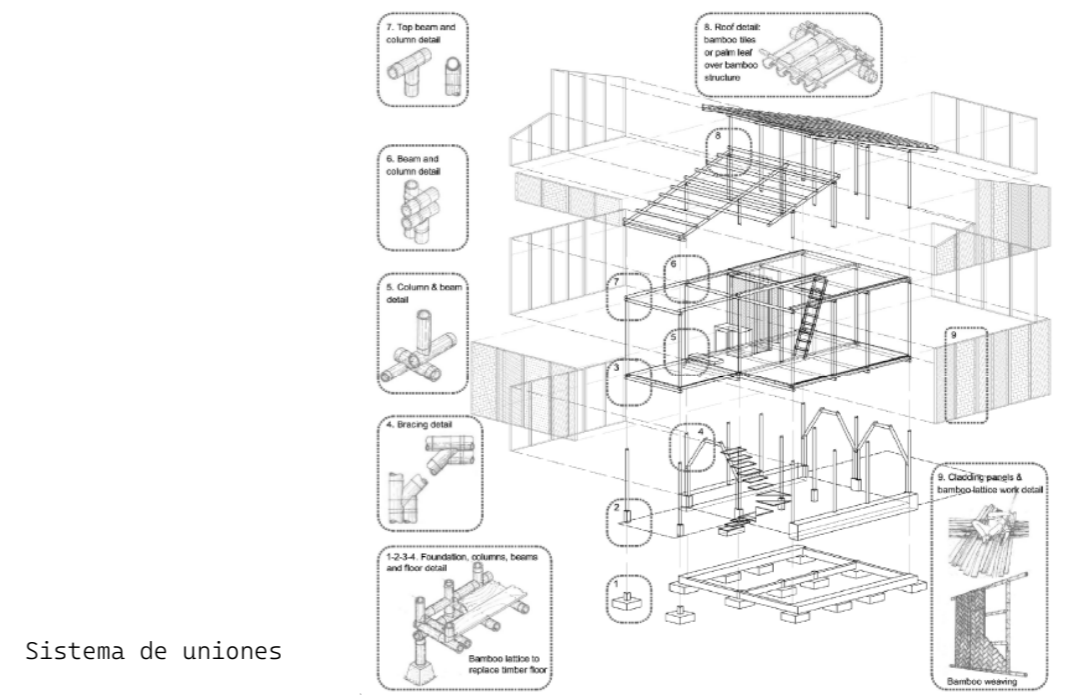
GEOMETRÍA		✓
CIMENTACIÓN		✓
		✓
PAREDES		✗
		✗
CUBIERTA		✗
		✗
		✗
UNIONES		✓
		✓
		✓
		✓

UBICACIÓN	Ecuador
AREA	36.30/88.3 m2
COSTE	5952.43 \$
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	7 meses
DURABILIDAD	-
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Sí
MANO DE OBRA	No cualificada
USO DE BAMBÚ	Caña Guadua
OTROS MATERIALES	Bambú, cemento, cuerda, ladrillo, metal.

PLANOS



ESTRATEGIAS



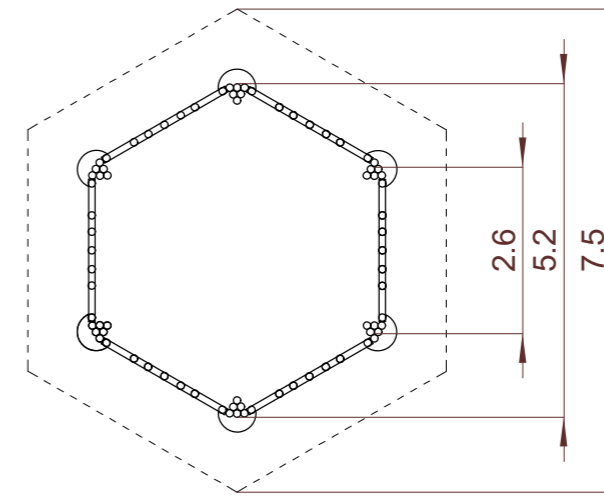
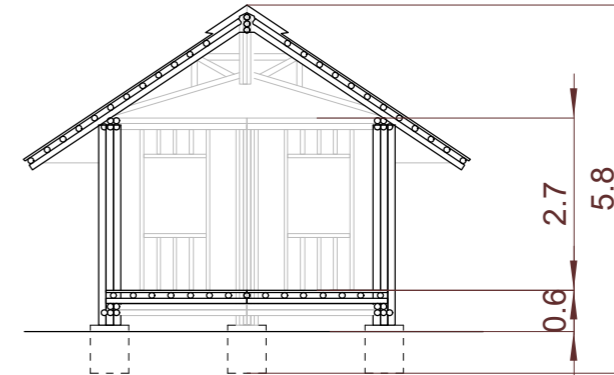


EVALUACIÓN RESILIENCIA

GEOMETRÍA		✓
CIMENTACIÓN		✓
		✓
PAREDES		✗
		✓
CUBIERTA		✗
		✓
		✗
		✓
UNIONES		✓
		✓
		✓
		✓

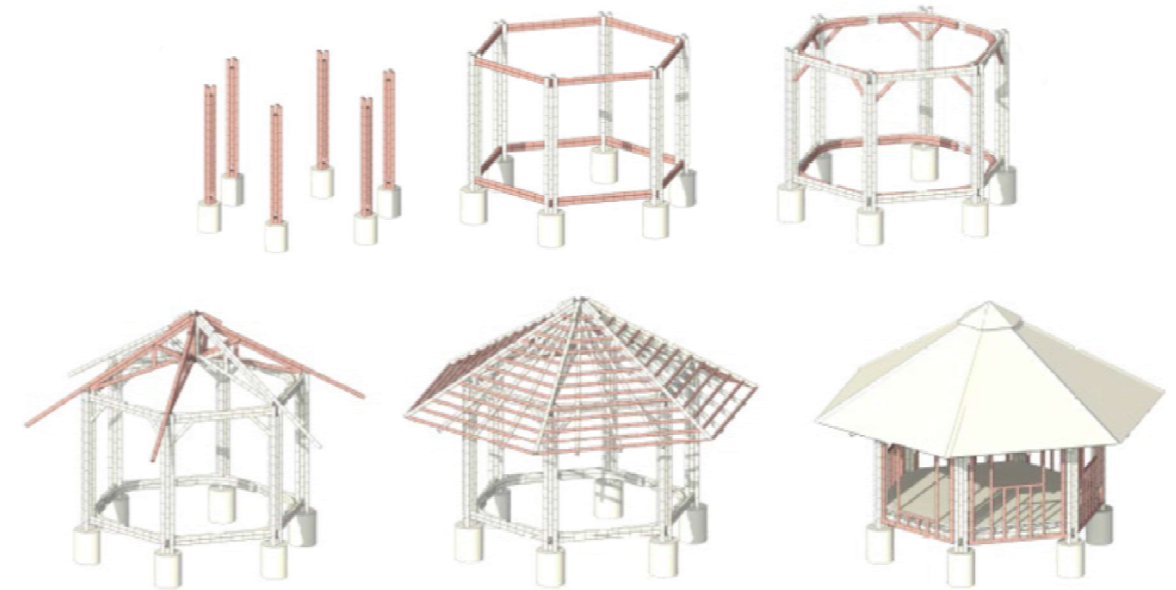
UBICACIÓN	Mozambique
AREA	18.6 m ²
COSTE	-
TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN	2 semanas
DURABILIDAD	-
POSIBILIDAD DE CRECIMIENTO	Sí
MANO DE OBRA	Necesaria formación
USO DE BAMBÚ	Principal
OTROS MATERIALES	Bambú, acero, cuerda.

PLANOS



ESTRATEGIAS

Proceso de desarrollo



04. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

FASE DE ACTUACIÓN ANTE LA EMERGENCIA

El *Proyecto Esfera*¹⁶ describe la acción humanitaria como un proceso continuo que abarca distintos momentos del desastre, desde la preparación hasta la recuperación inicial. Aunque sus normas se centran en la respuesta humanitaria, el manual especifica que esta fase está “encuadrada” entre la preparación y la recuperación inicial, las cuales deben considerarse de forma simultánea durante toda la intervención. A partir de esta estructura, distingo las siguientes fases operativas:

a) Ayuda de emergencia o socorro inmediato

Su prioridad es la supervivencia: refugios temporales, agua, saneamiento y protección. Corresponde a las primeras horas o días tras el desastre.

b) Ayuda humanitaria prolongada

Esfera señala que la respuesta puede extenderse “varios meses o incluso años” en contextos de desplazamiento prolongado. En esta etapa se estabilizan las condiciones de vida mediante soluciones habitacionales más robustas que los refugios de emergencia.

c) Recuperación inicial

Definida como el proceso que “conduce a la recuperación a largo plazo”. Aquí se introducen mejoras constructivas, se fortalecen capacidades locales y se inician procesos de reconstrucción progresiva.

d) Reconstrucción

Fase que excede el ámbito de Esfera, orientada a viviendas permanentes e infraestructura duradera.

En el contexto mozambiqueño, donde los desastres climáticos generan desplazamientos recurrentes, las soluciones habitacionales de emergencia se han centrado históricamente en refugios temporales que cumplen los requisitos mínimos de protección, pero que no abordan las vulnerabilidades de fondo ni facilitan procesos de autonomía a largo plazo. Aunque estas intervenciones resultan esenciales en la fase

inicial, presentan limitaciones significativas: no fortalecen capacidades locales, no generan economías circulares, y no incorporan los valores culturales ni el conocimiento constructivo tradicional. Por ello, se considera necesario reorientar el enfoque hacia modelos que introduzcan resiliencia, participación y apropiación comunitaria en las etapas posteriores a la emergencia.

La propuesta se sitúa inicialmente entre la ayuda humanitaria prolongada y la recuperación inicial, pero con la particularidad de que puede desplazarse a lo largo de varias fases del ciclo, en función del grado de mejora que cada familia decida realizar.

El prototipo se concibe como un núcleo mínimo habitacional, compuesto por paneles prefabricados de bambú y un kit de ensamblaje accesible. Este núcleo es suficiente para cubrir las necesidades de habitabilidad y protección en la etapa posterior al socorro inmediato, donde se requieren soluciones más estables que las tiendas o refugios temporales, pero aún no se dispone de los medios para una reconstrucción definitiva.

Esta fase inicial responde plenamente al principio de Esfera según el cual las personas afectadas deben poder “sobrevivir y recuperar condiciones de vida estables con dignidad”. La principal aportación de mi propuesta es su carácter evolutivo, coherente con las formas tradicionales de crecimiento de la vivienda mozambiqueña, documentadas ampliamente en la bibliografía. El sistema de paneles permite:

- Partir de un núcleo básico, apto para la ayuda prolongada y la recuperación inicial.
- Incorporar mejoras estructurales, como refuerzos contra vientos ciclónicos o cambios en la cubierta.
- Añadir módulos o paneles, permitiendo la ampliación según las necesidades familiares.
- Evolucionar hacia un modelo permanente, situado ya en la fase de reconstrucción.

Esta progresividad hace que el prototipo no quede restringido a una única fase del ciclo humanitario, sino que acompaña a la familia en su proceso de recuperación económica y social, permitiendo que cada hogar decida cuándo y cómo invertir en nuevas mejoras. De este modo, la vivienda deja de ser una solución asistencial para convertirse en un instrumento de autonomía, alineado con los principios de participación y dignidad formulados en la Carta Humanitaria.

¹⁶ El Proyecto Esfera, Carta Humanitaria y Normas Mínimas de respuesta Humanitaria en casos de desastre (Sphere Project, 2011).

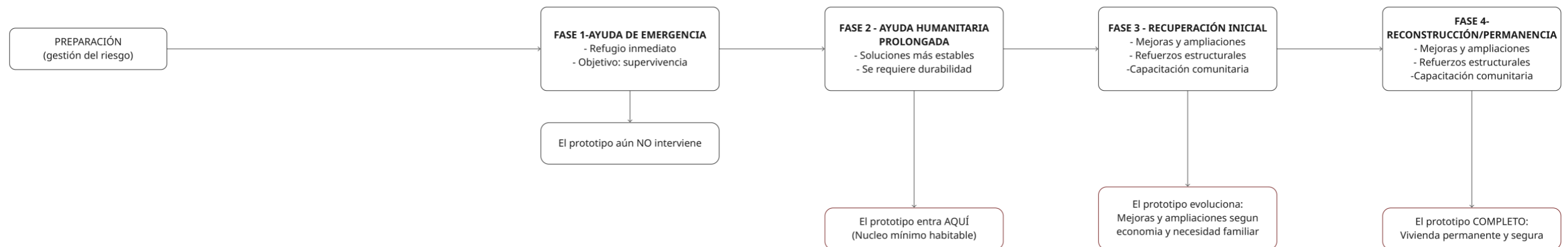


Fig 19. Fases de actuación ante la emergencia. *Elaboración propia.*

ESTUDIO DE QUE BAMBÚ HAY Y SUS CARACTERÍSTICAS

A partir del estudio de disponibilidad realizado previamente, y teniendo en cuenta tanto la abundancia real del recurso en el norte de Mozambique como el potencial de consolidar un ciclo productivo sostenible, la propuesta constructiva se apoya en dos tipologías de bambú diferenciadas.

En primer lugar, se incorpora la especie nativa más común en la región, caracterizada por diámetros aproximados de 5 cm. Este bambú suele presentar longitudes útiles de entre 4 y 6 metros y una separación entre nudos de 20 a 30 cm¹⁷, dimensiones que refuerzan su idoneidad para piezas cortas, entramados y elementos secundarios cuya rigidez depende en gran medida de la frecuencia de los nudos. Este bambú, ampliamente disponible y culturalmente familiar, constituye el material base de numerosos elementos tradicionales y contemporáneos. Sus dimensiones lo hacen adecuado para entramados, diagonales, arriostramientos y cerramientos, favoreciendo soluciones ligeras y fácilmente reemplazables. Además, al provenir directamente del entorno inmediato, su uso reduce la dependencia de materiales externos y refuerza el vínculo entre el prototipo y la práctica constructiva local.

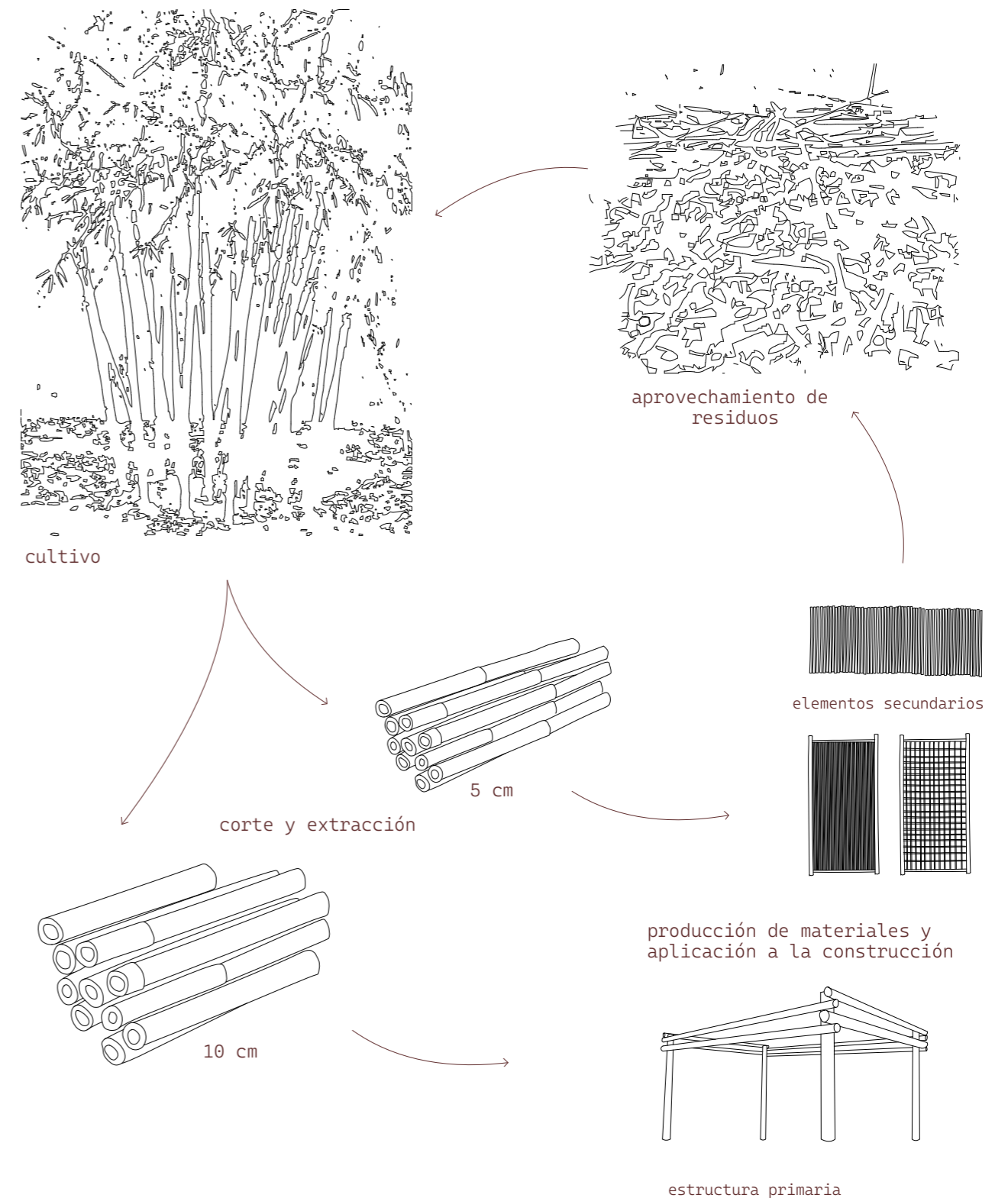
En segundo lugar, se selecciona una especie introducida ya naturalizada, con diámetros cercanos a 10 cm. Esta tipología alcanza habitualmente longitudes útiles de 8 a 12 metros¹⁸, con distancias internodales de 25 a 40 cm, lo que permite obtener piezas más continuas y resistentes adecuadas para elementos portantes. Este grupo (*Bambusa vulgaris*) presenta un comportamiento estructural más robusto y, por tanto, se reserva para componentes que requieren mayor capacidad portante, como pilares, vigas principales y apoyos del sistema modular. Aunque su disponibilidad actual es menor, su cultivo está recomendado por iniciativas nacionales como *ASSAMBA*, ya que contribuye de forma directa a la creación de un ciclo de bambú sostenible, capaz de aumentar la oferta, mejorar la gestión del recurso y generar valor económico local.

El uso combinado de ambas tipologías no solo responde a sus características físicas, sino que permite establecer una jerarquía clara dentro del sistema constructivo:

El bambú de mayor diámetro define la estructura primaria.

El de menor diámetro configura los paneles, refuerzos y elementos secundarios.

La selección de estas dos tipologías de bambú establece un equilibrio entre lo que ya existe y lo que conviene introducir: por un lado, se aprovecha la abundancia del bambú nativo; por otro, se fomenta la naturalización de especies de mayor sección que permitan alcanzar estándares estructurales adecuados para viviendas seguras y duraderas.



17 ASSAMBA- Associação dos Amigos do Bambu, ASSAMBA PROFILE PRESENTATION (s. f.).

18 ASSAMBA- Associação dos Amigos do Bambu, ASSAMBA PROFILE PRESENTATION.

Fig 20. Cadena de valor del bambú *Elaboración propia.*

SÍNTESIS DE PRIORIDADES DEL MODELO:

Se establecen a continuación los requisitos fundamentales que debe cumplir el prototipo desarrollado en este trabajo.

1. Alineación con la vivienda tradicional y lógica evolutiva

El prototipo debe alinearse con la vivienda tradicional en cuanto a forma, organización espacial y relación con el exterior, incorporando una lógica de crecimiento progresivo que permita ampliaciones y mejoras sucesivas sin alterar el funcionamiento del conjunto. Esta condición permite que la vivienda evolucione de acuerdo con las necesidades familiares y las posibilidades económicas.

2. Uso del bambú como estructura principal

El sistema constructivo debe emplear el bambú como material estructural principal, y no únicamente como elemento secundario o temporal. Esta elección se fundamenta en los anteriores apartados. Debe cumplir también con la jerarquización establecida anteriormente: el uso de diámetros de 5 y 10 cm según la función del elemento.

3. Adaptación a las condiciones climáticas locales

El prototipo debe responder de manera integral a las condiciones climáticas del norte de Mozambique, caracterizadas por temperaturas elevadas y constantes, una estación lluviosa intensa y un periodo seco prolongado. En particular, la vivienda debe favorecer la ventilación natural continua y el control solar mediante la configuración espacial, la disposición de las aberturas y la incorporación de espacios intermedios y elementos de sombra. Asimismo, debe ofrecer una protección eficaz frente a la lluvia intensa y la humedad persistente durante la estación húmeda, mediante soluciones que faciliten la evacuación del agua y reduzcan la exposición directa de los elementos constructivos.

4. Resiliencia frente a ciclones y eventos extremos

El diseño del prototipo debe incorporar de forma directa los principios de resiliencia frente a ciclones identificados en el apartado de vulnerabilidades. Estas medidas permiten adaptar el prototipo a los riesgos climáticos extremos propios del territorio sin recurrir a soluciones complejas o de alto coste.

5. Economía, uso de recursos locales y rapidez de montaje

El prototipo debe ser económicamente accesible y reducir al máximo la dependencia de recursos externos, priorizando el uso de materiales locales, renovables y culturalmente conocidos. Este enfoque permite disminuir costes, simplificar la logística y reforzar economías locales, en coherencia con el contexto socioeconómico analizado. El sistema se basa en la prefabricación de elementos de dimensiones controladas, pensadas para facilitar su transporte manual y reducir la complejidad logística y el tiempo de ejecución. La repetición de piezas y un sistema de ensamblaje sencillo permiten minimizar el empleo de herramientas eléctricas y favorecer la construcción in situ con medios básicos y mano de obra con formación limitada.

ADAPTACIÓN DEL MODELO AL BAMBÚ: PROCESO DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Previamente al desarrollo del prototipo y a la definición del sistema constructivo, se llevó a cabo una fase experimental basada en la realización de uniones físicas con bambú de procedencia local y cuerda adquirida en comercios locales, todas las pruebas las realicé aprendiendo de la población local. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de comprobar el comportamiento mecánico básico de distintas tipologías de unión, así como su viabilidad constructiva en un contexto de recursos limitados.

A partir de la fabricación manual de diferentes configuraciones (ensayadas mediante la aplicación de tracción en ambos extremos hasta alcanzar una fuerza significativa) se fueron descartando aquellas soluciones que presentaban deslizamientos o fallos, consolidando progresivamente un conjunto reducido de uniones que demostraron un comportamiento resistente satisfactorio. Este proceso experimental permitió establecer un catálogo inicial de uniones estandarizadas, documentado mediante fotografías y esquemas, que sirve de base para el desarrollo posterior del sistema modular y prefabricado del prototipo.

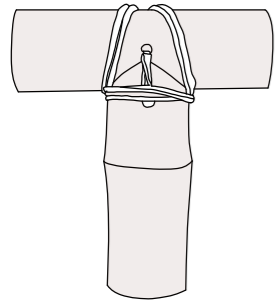


Fig 21. Proceso de elaboración de uniones de bambú. *Elaboración propia.*

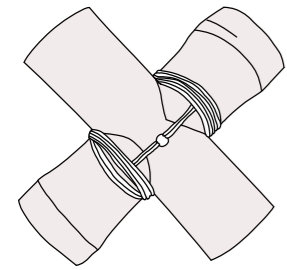


Fig 22. Catálogo de uniones. *Elaboración propia.*

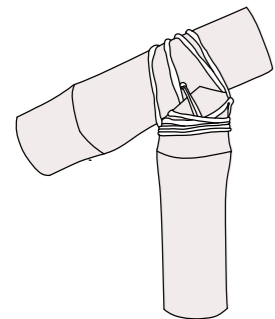
CATÁLOGO DE UNIONES



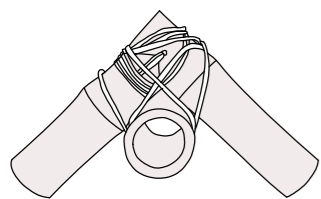
Tipo de unión: T
 Uso recomendado: Unión pilar - viga
 Ventajas: Muy estable a carga vertical
 Fácil de tensar y reforzar
 Buena transmisión de carga
 Desventajas: Deslizamiento (reforzar con muesca)



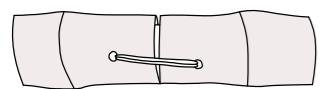
Tipo de unión: X
 Uso recomendado: Arriostramiento / contraviento
 Ventajas: Aporta rigidez lateral
 Se refuerza muy fácilmente con más cuerda
 Buena transmisión de carga
 Desventajas: Requiere tensión fuerte en las diagonales
 No soporta mucha carga vertical



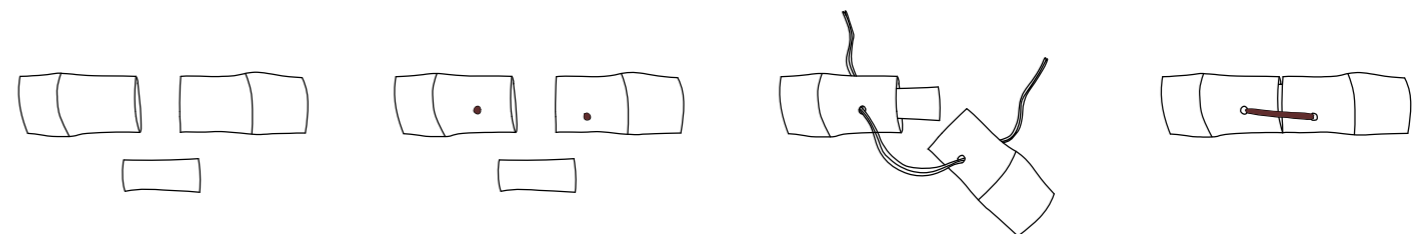
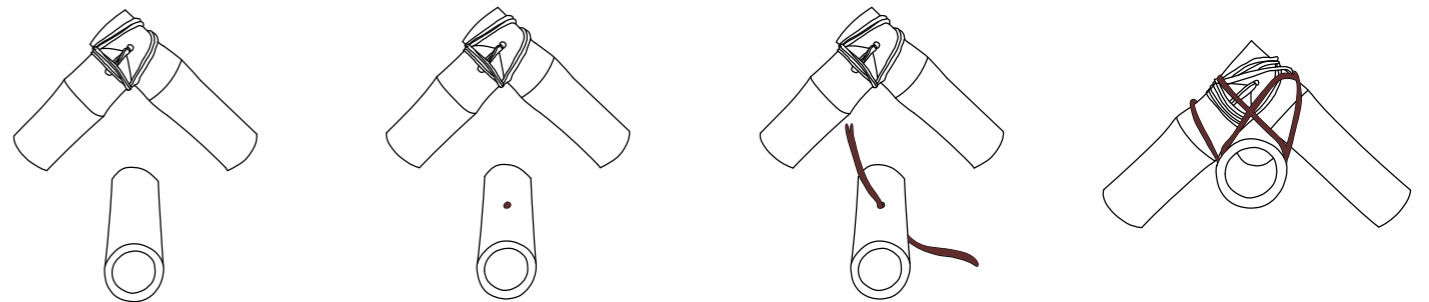
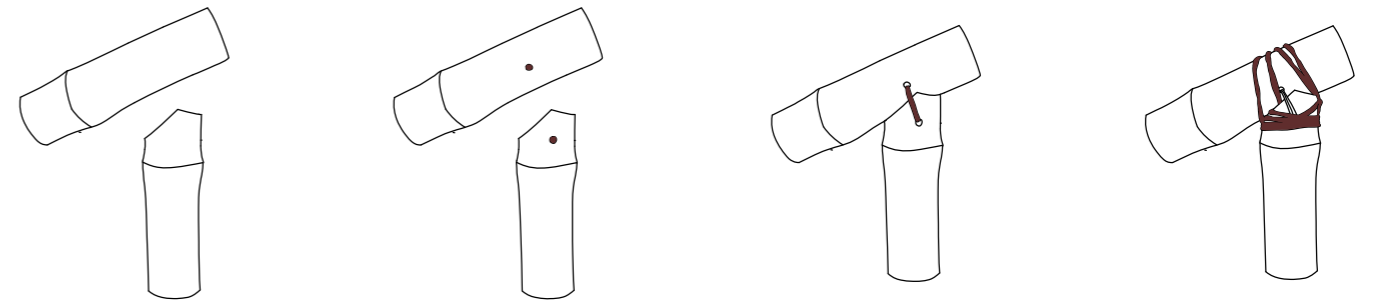
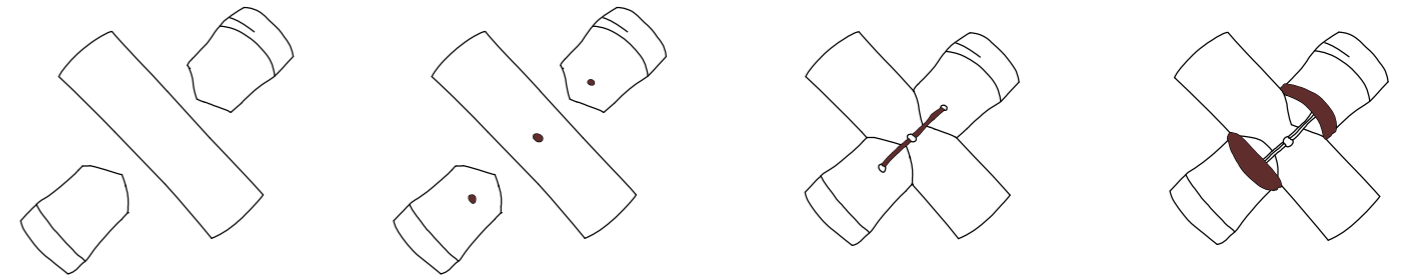
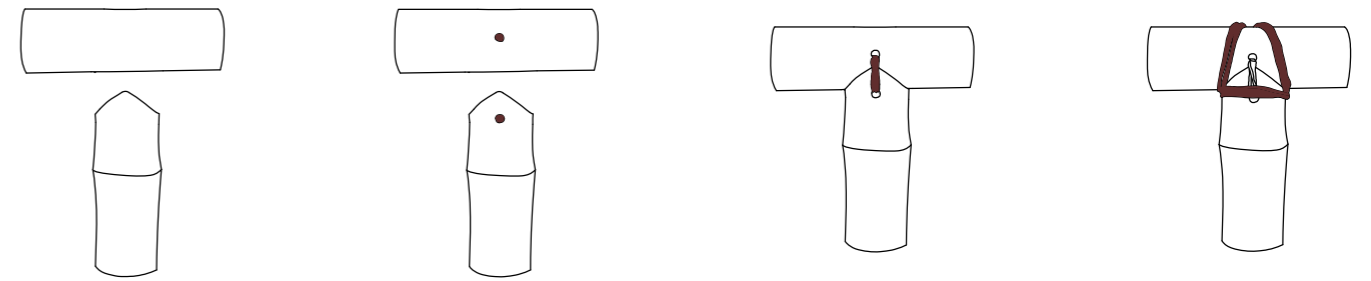
Tipo de unión: Pilar-viga inclinada (unión de cubierta)
 Uso recomendado: Inicio de la cubierta
 Ventajas: Transmisión de carga: viga inclinada - pilar
 Reduce deslizamiento con una pequeña muesca
 Desventajas: Tiende a deslizar si el ángulo es muy pronunciado



Tipo de unión: Cumbre
 Uso recomendado: Unión de vigas en ángulo para cubiertas
 Ventajas: Buena estabilidad en cubiertas inclinadas
 Reparte cargas del techo simétricamente
 Buena transmisión de carga
 Desventajas: Necesita tensión



Tipo de unión: Longitudinal
 Uso recomendado: Prolongar cañas, crear piezas largas, unión de piezas
 Ventajas: Permite usar bambú más corto
 Muy útil para vigas y largueros
 Sencilla de ejecutar
 Desventajas: No soporta tanta carga como una pieza continua



PROCESO DE DESARROLLO DEL PROTOTIPO

La adaptación del modelo al bambú se plantea como la transformación del prototipo en un sistema constructivo modular y prefabricado, en el que la mayor parte de los elementos se producen fuera de obra y se ensamblan posteriormente mediante uniones estandarizadas. Esta estrategia permite cumplir con las prioridades del modelo establecidas en el apartado anterior.

El proceso de diseño se apoya en una modulación base de 1,20 m, que estructura el conjunto del sistema: forjado, paneles verticales, estructura principal y cubierta.

Cimentación in situ y separación del bambú del terreno

A diferencia del resto del sistema, la cimentación se ejecuta íntegramente in situ mediante hormigón, siguiendo los esquemas definidos en los planos del prototipo. Esta decisión responde a dos criterios fundamentales: garantizar la estabilidad estructural y evitar el contacto directo del bambú con el terreno, condición esencial para mejorar su durabilidad.

La vivienda se eleva del suelo mediante elementos de hormigón que continúan la cimentación bajo raso, de modo que toda la estructura de bambú queda separada de la humedad del terreno. Sobre esta cimentación se apoya una estructura principal elevada, que actúa como base resistente sobre la que se ensamblan posteriormente los elementos prefabricados.

Estructura principal: soporte del sistema modular

Sobre la cimentación se dispone una estructura principal de bambú formada por pilares y vigas, con una separación regular de 2,40 m, directamente vinculada a la modulación general del proyecto. Esta estructura constituye el esqueleto resistente del conjunto.

Los pilares y vigas principales se dimensionan con bambú de Ø10 cm, concentrando en ellos las mayores solicitaciones estructurales. Esta jerarquía dimensional permite diferenciar claramente:

Estructura primaria: pilares y vigas de Ø10 cm.

Sistema prefabricado secundario: forjados, paneles verticales y cerchas realizados con bambú de Ø5 cm.

Sistema de paneles prefabricados: forjado y planos verticales

El prototipo se apoya en un catálogo de paneles constructivos que recoge de forma sistemática toda la información necesaria para su prefabricación: dimensiones, disposición de los elementos, secuencia de montaje y relación entre piezas. Este catálogo no se concibe únicamente como un documento descriptivo, sino como una herramienta operativa, pensada para que los paneles puedan fabricarse de manera repetible siguiendo criterios claros.

Las dimensiones de todos los elementos están restringidas deliberadamente para facilitar: La manipulación manual, el transporte hasta obra sin necesidad de medios especializados, el montaje por fases y la posible sustitución de piezas, cumpliendo así con la prioridad 5 establecida en el apartado anterior. Este catálogo incluye:

Forjado modular y ejecución del plano habitable

El forjado se concibe como un sistema modular prefabricado que se apoya directamente sobre los elementos de hormigón. Los paneles de forjado se fabrican con bambú de Ø5 cm y medias cañas colocadas

perpendicularmente, siguiendo la modulación, que permiten resolver el plano habitable de forma rápida y precisa.

Estas piezas generan una base continua que admite distintos acabados: Esterilla vegetal, como solución ligera o una capa de tierra estabilizada de aproximadamente 3-4 cm, que aporta mayor inercia térmica y continuidad con técnicas constructivas locales.

Esta combinación de estructura y acabado adaptable en obra permite responder a distintas necesidades sin alterar el sistema base.

Sistema de paneles verticales

Los cerramientos se resuelven mediante paneles verticales prefabricados de 1,20 x 2,40 m, fabricados íntegramente con bambú de Ø5 cm. Cada panel está compuesto por: Un marco perimetral, una esterilla exterior fijada al perímetro, que define el plano continuo del cerramiento y una retícula interior de latillas (¼ de caña) dispuestas cada 20 cm, que sirve de soporte para la posible mejora del acabado interior con relleno de tierra.

El sistema distingue varios tipos de paneles (ciego, estructural, ventana y puerta) que se combinan según su posición en el conjunto. Esta diferenciación no introduce variaciones dimensionales, sino funcionales, lo que permite que todos los paneles respondan a una misma lógica de fabricación y montaje.

Cubierta: cerchas y sistema de acabado

La cubierta se resuelve mediante cerchas prefabricadas de bambú de Ø5 cm, coordinadas con la modulación general y diferenciadas según su posición (cerchas principales y cerchas de esquina para resolver la limatesa de la cubierta a cuatro aguas). Estas cerchas se ensamblan sobre la estructura principal, completando el sistema resistente.

Sobre las cerchas se dispone una subestructura secundaria, cuya función es servir de soporte al acabado exterior. Se propone el uso de chapa metálica como capa funcional, por su durabilidad y bajo mantenimiento, fijada a dicha subestructura. Esta chapa se recubre exteriormente con paja, de manera que el sistema combine: Un comportamiento técnico más controlado, y una imagen final vinculada a la estética de la comunidad.

En conjunto, la adaptación del modelo al bambú puede entenderse como un proceso progresivo y coherente:

- Ejecución in situ de la cimentación de hormigón elevada.
- Montaje de una estructura principal de Ø10 cm que define el ritmo estructural.
- Ensamblaje de los elementos prefabricados de Ø5 cm: forjado, paneles verticales y cerchas.
- Finalización en obra la piel de cubierta y acabados interiores.

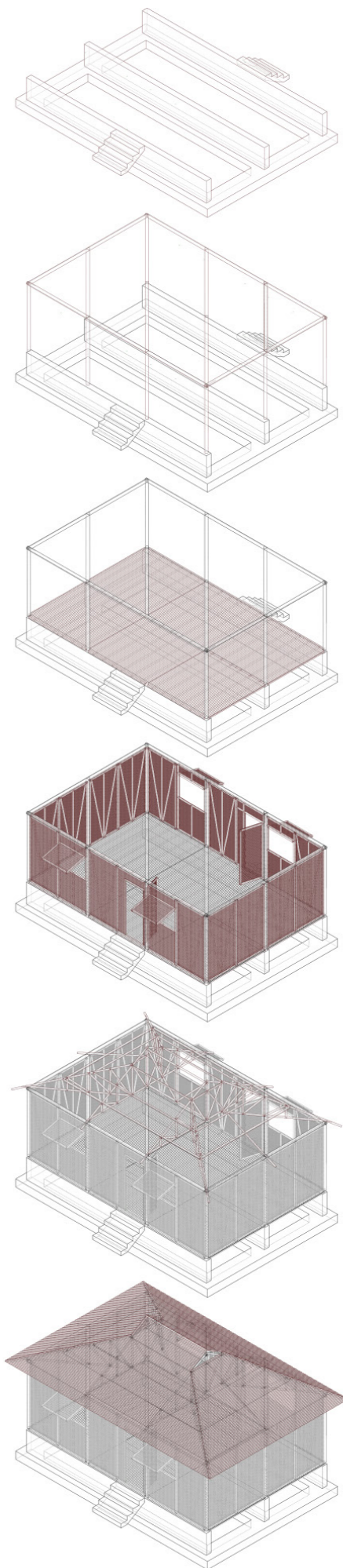


Fig 23. Proceso prototipo. Elaboración propia.

CATÁLOGO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

01_PANEL BASE

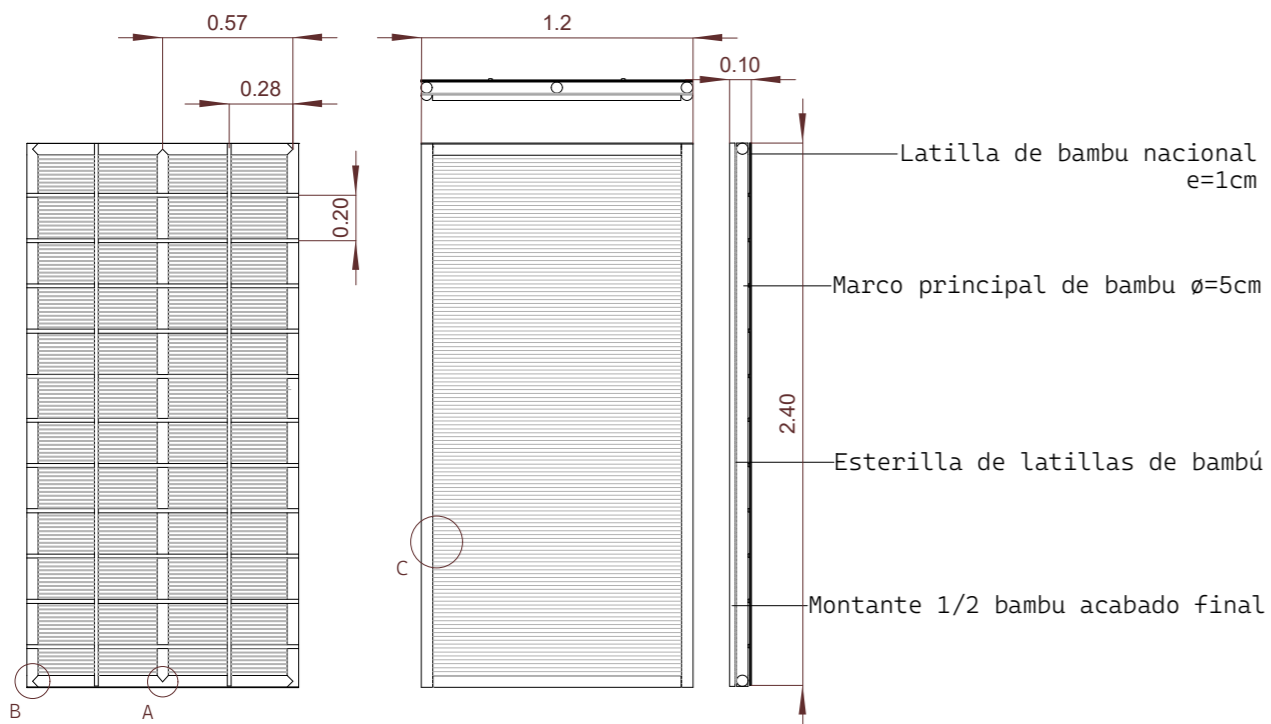
DATOS GENERALES

Código: PB-01
 Tipo: Panel base ciego
 Ubicación prevista: Cerramientos exteriores/interiores no portantes
 Peso aproximado : 30kg
 Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m (estructura 2,4 m → 2 paneles)

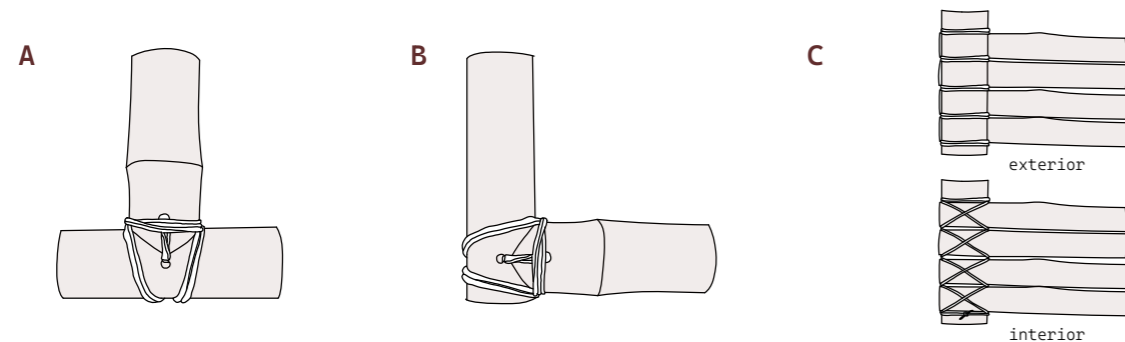
TABLA DE MATERIALES

ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Marco	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,4 m / 1,2 m	3 ud / 2 ud
Esterilla	Latilla bambu e=1/2cm	-	2,88 m ²
Acabado	1/2 bambú	2,4 m / 1,1 m	2 ud / 2 ud
Entramado	Latilla 1/4 bambú	2,4 m / 1,2 m	2 ud / 11 ud

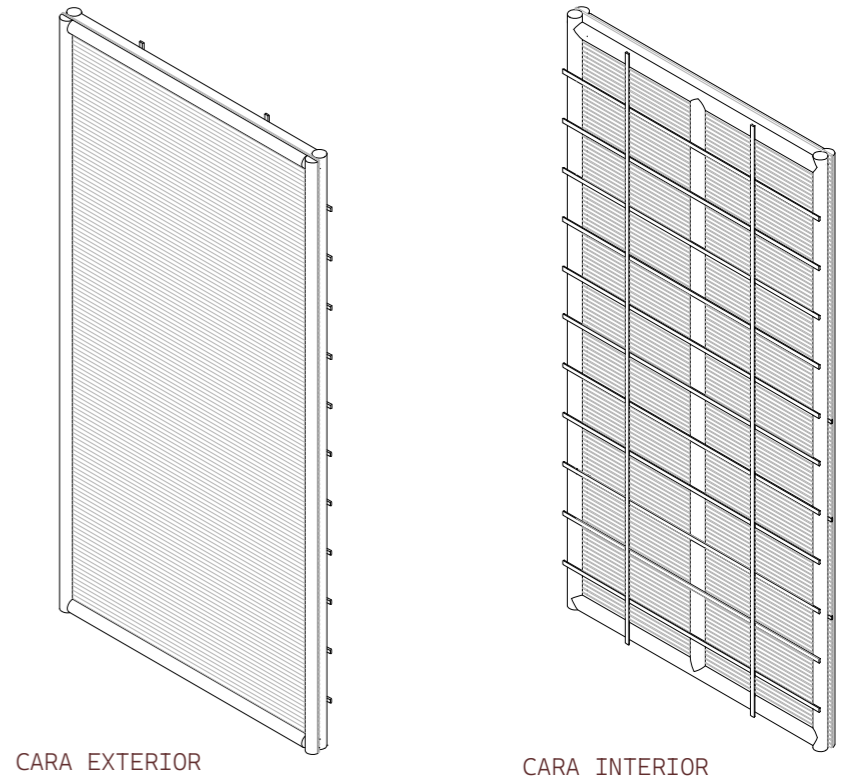
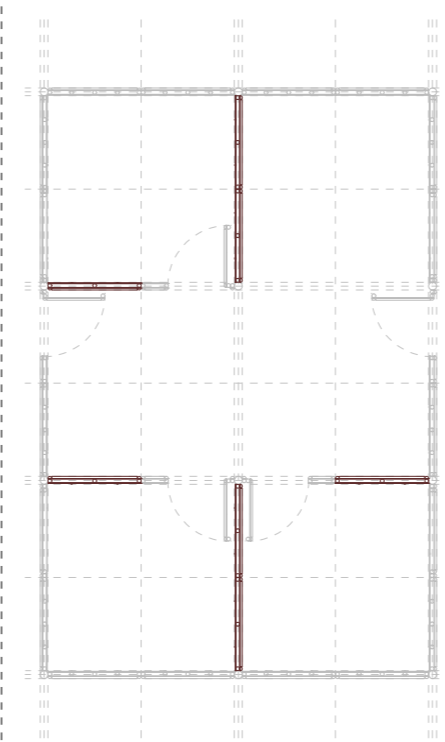
DETALLES



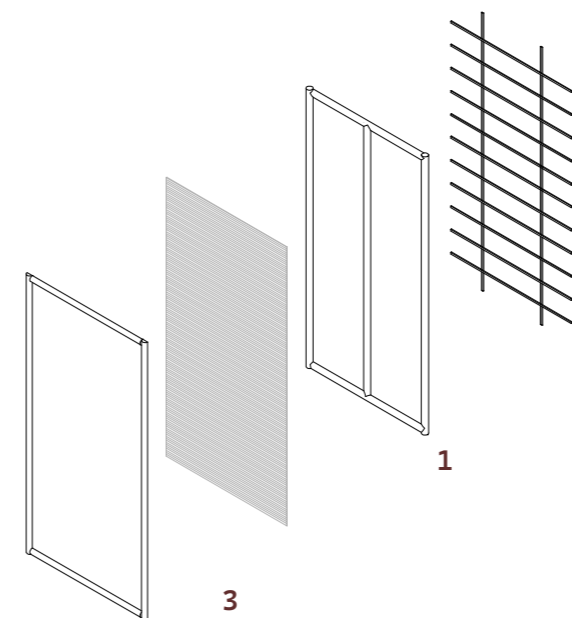
UNIONES



UBICACIÓN EN EL MODELO



MONTAJE



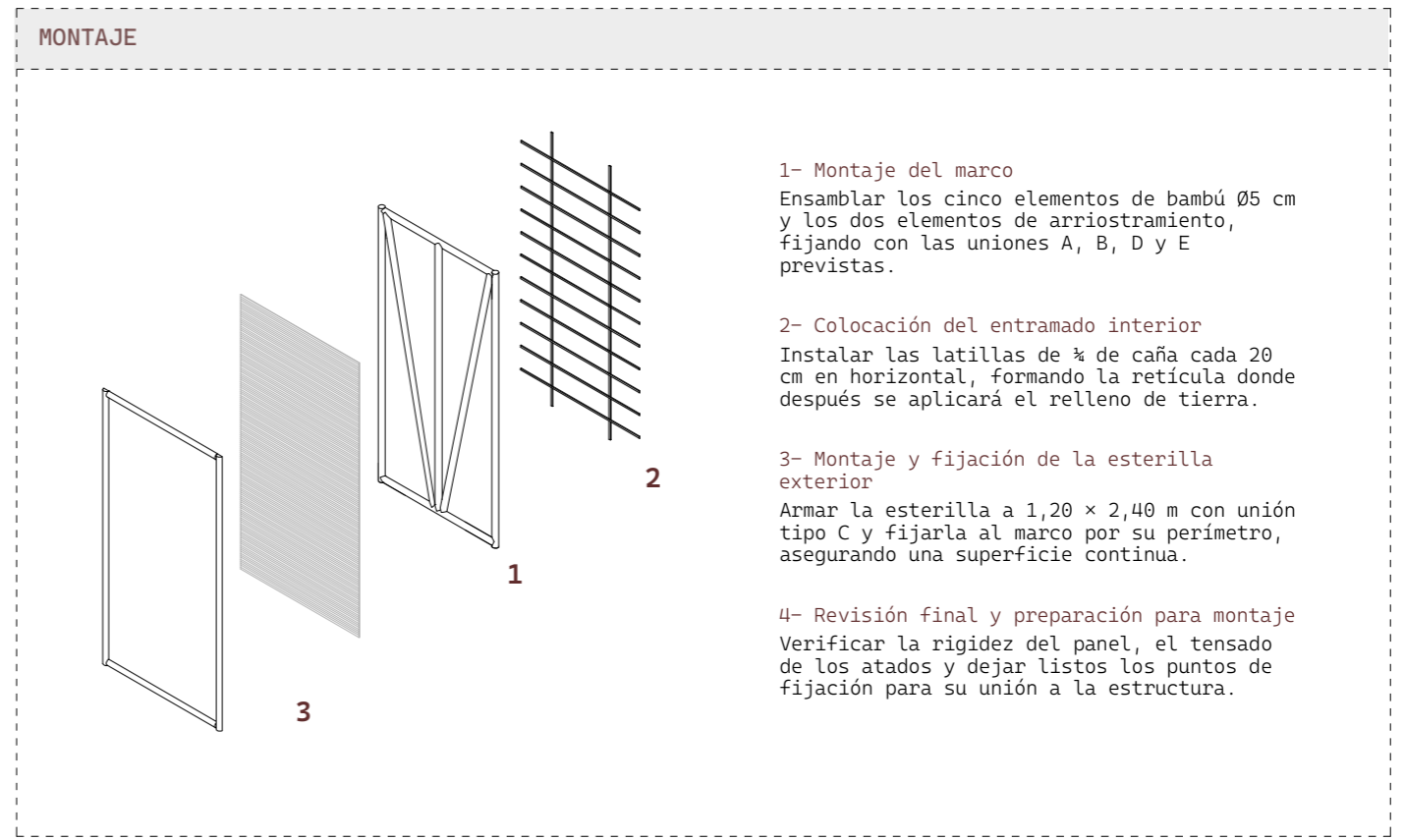
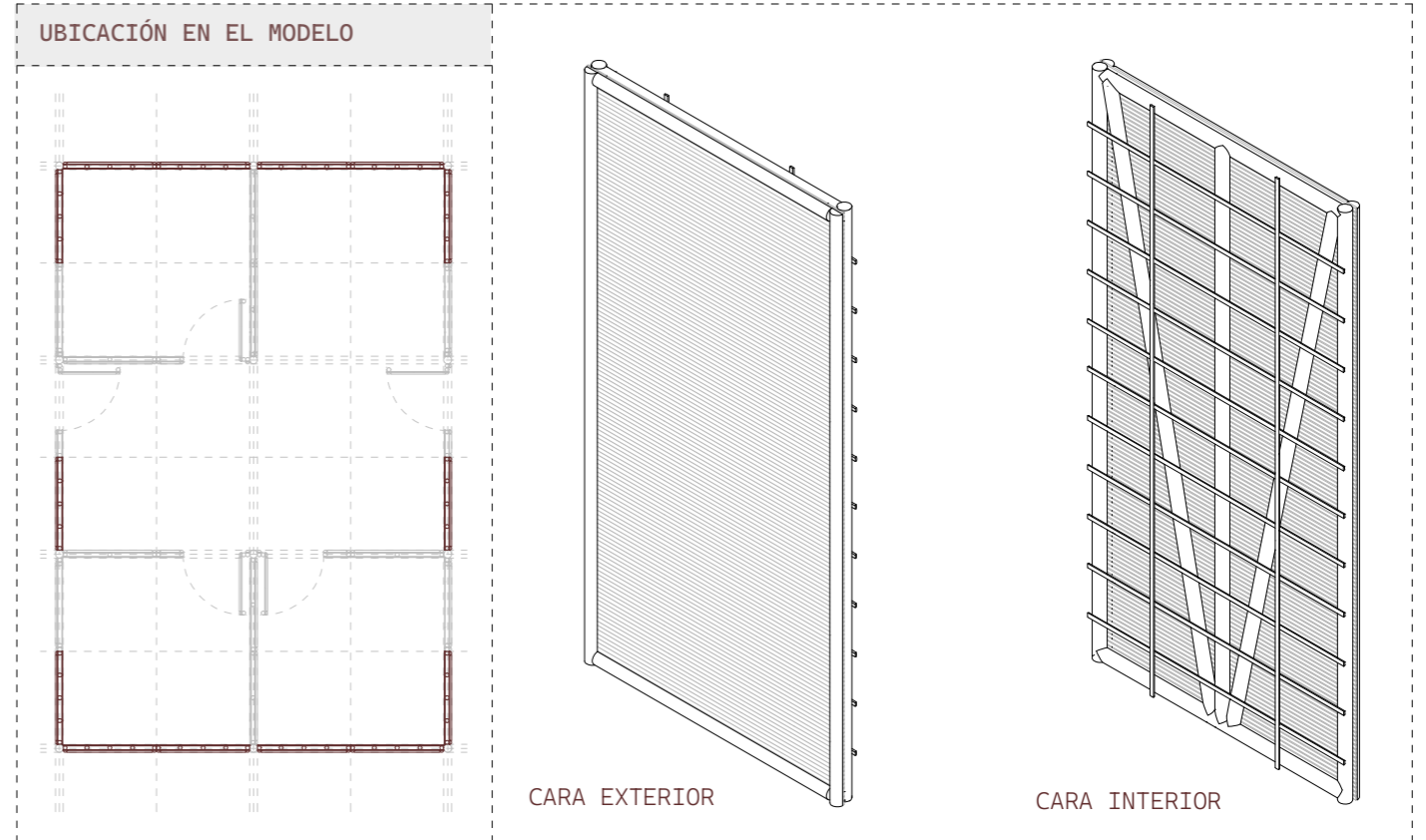
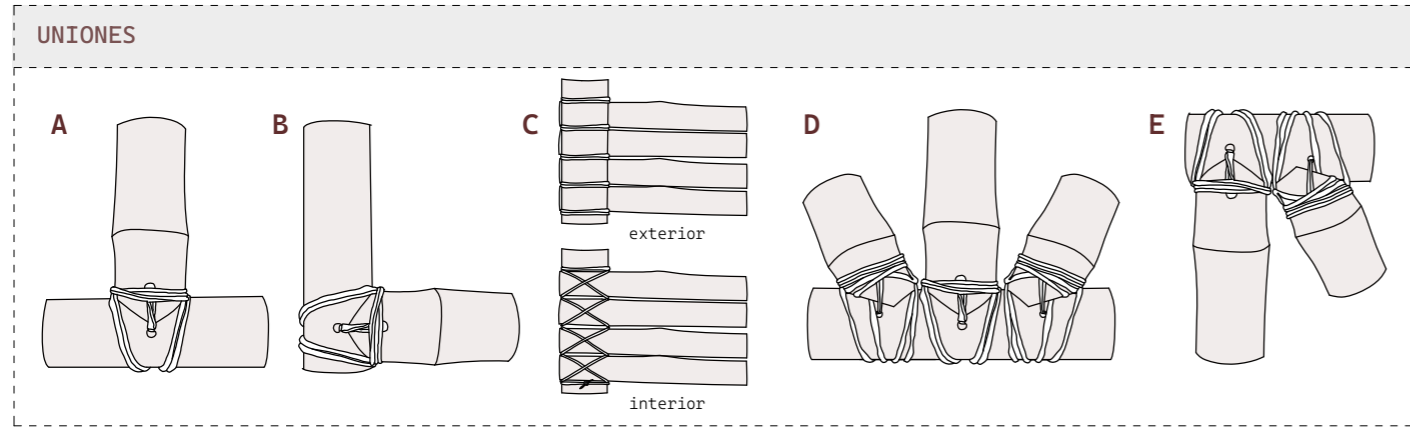
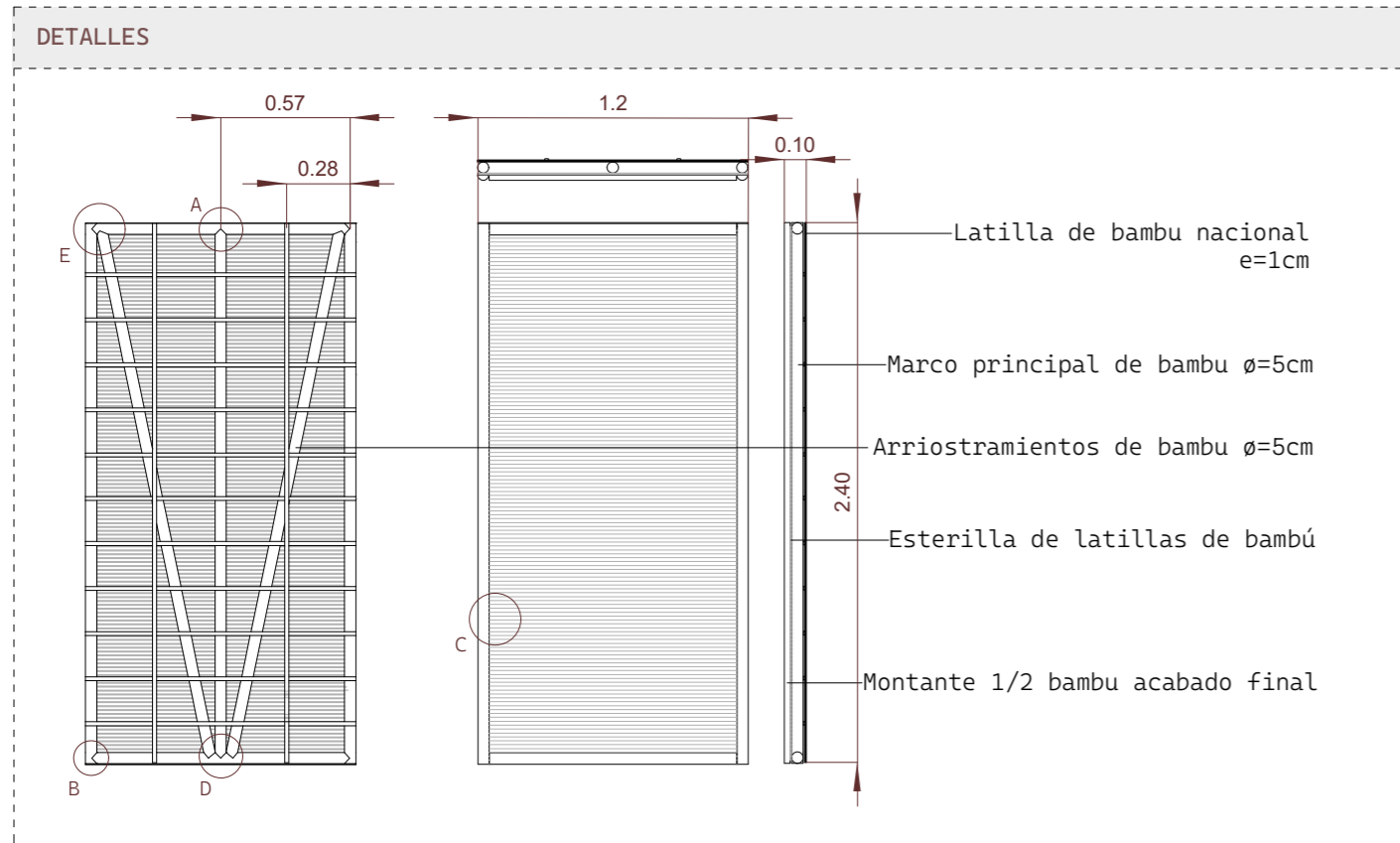
1- Montaje del marco
 Ensamblar los cinco elementos de bambú $\varnothing 5$ cm, fijando las esquinas con las uniones A y B previstas.

2- Colocación del entramado interior
 Instalar las latillas de $\frac{1}{4}$ de caña cada 20 cm en horizontal, formando la retícula donde después se aplicará el relleno de tierra.

3- Montaje y fijación de la esterilla exterior
 Armar la esterilla a $1,20 \times 2,40$ m con unión tipo C y fijarla al marco por su perímetro, asegurando una superficie continua.

4- Revisión final y preparación para montaje
 Verificar la rigidez del panel, el tensado de los atados y dejar listos los puntos de fijación para su unión a la estructura.

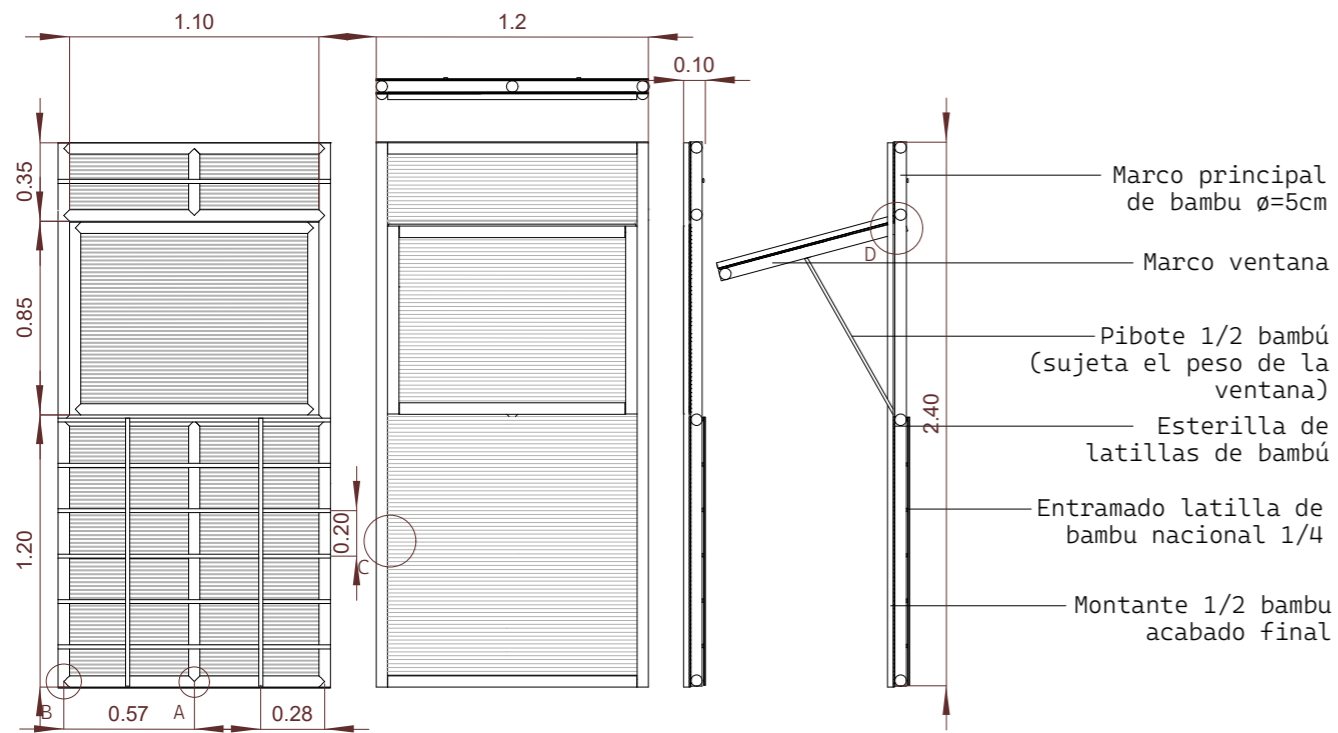
DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES			
Código: PE-02		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Panel estructural ciego		Marco	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,4 m / 1,2 m	3 ud / 2 ud
Ubicación prevista: Cerramientos exteriores con función de arriostramiento		Diagonales	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,6 m	2 ud
Peso aproximado : 33kg		Esterilla	Latilla bambu e=1/2cm	-	2,88 m ²
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m (estructura 2,4 m \rightarrow 2 paneles)		Acabado	1/2 bambú	2,4 m / 1,1 m	2 ud / 2 ud
		Entramado	Latilla 1/4 bambú	2,4 m / 1,2 m	2 ud / 11 ud



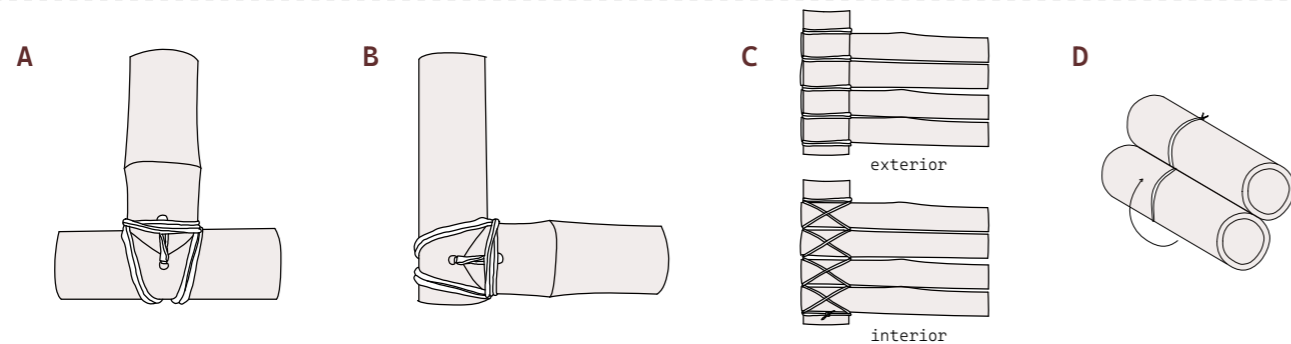
03_PANEL VENTANA

DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES			
Código: PV-03		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Panel ventana		Marco	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,4/1,2/0.35 m	2 ud /5 ud /1 ud
Ubicación prevista: Cerramientos exteriores/interiores no portantes		Ventana	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	0.85 m /1.10 m	2 ud /2 ud
Peso aproximado : 32kg		Esterilla	Latilla bambu e=1/2cm	-	2,88 m2
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m (estructura 2,4 m \rightarrow 2 paneles)		Acabado	1/2 bambú	2,4 m / 1,1 m	2 ud /2 ud
		Acabado ventana	1/2 bambú	0.85 m / 1 m	2 ud /2 ud
		Entramado	Latilla 1/4 bambú	1,20 m / 1,20 m	2 ud /7 ud

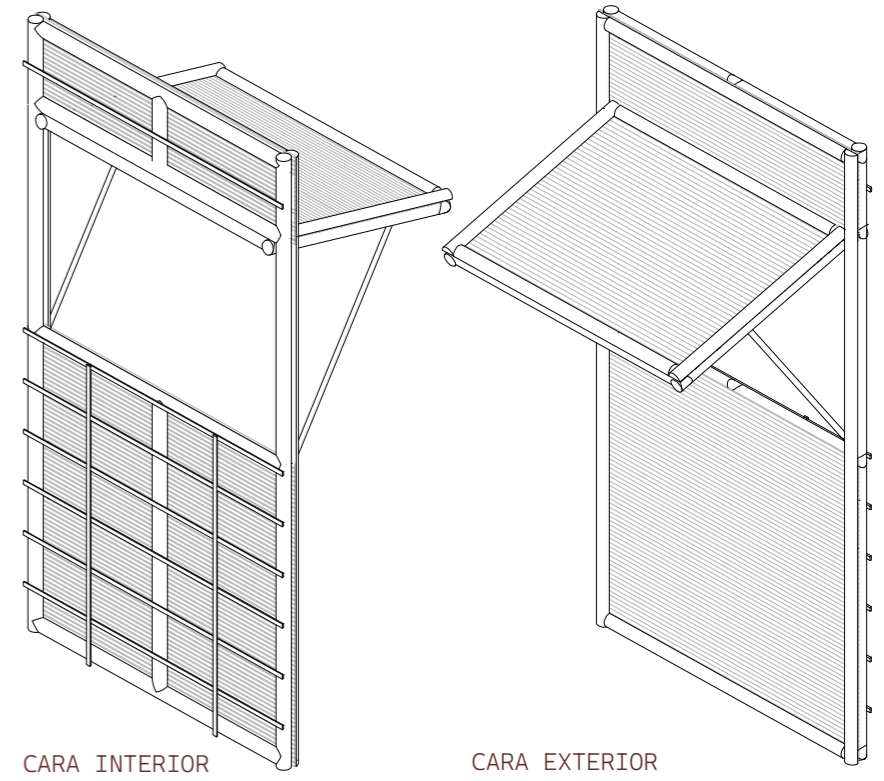
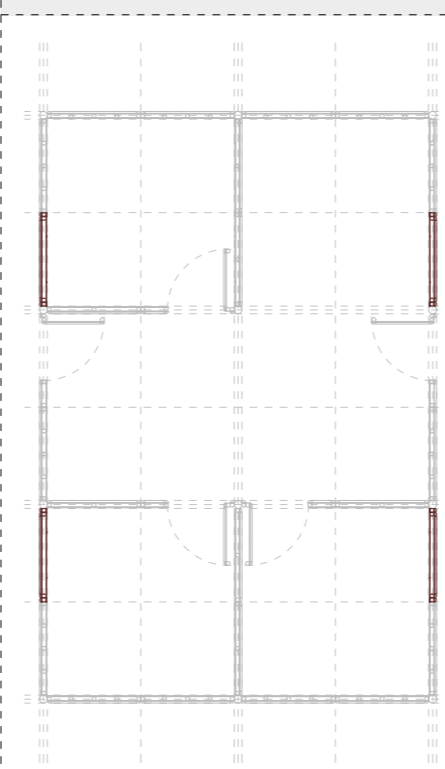
DETALLES



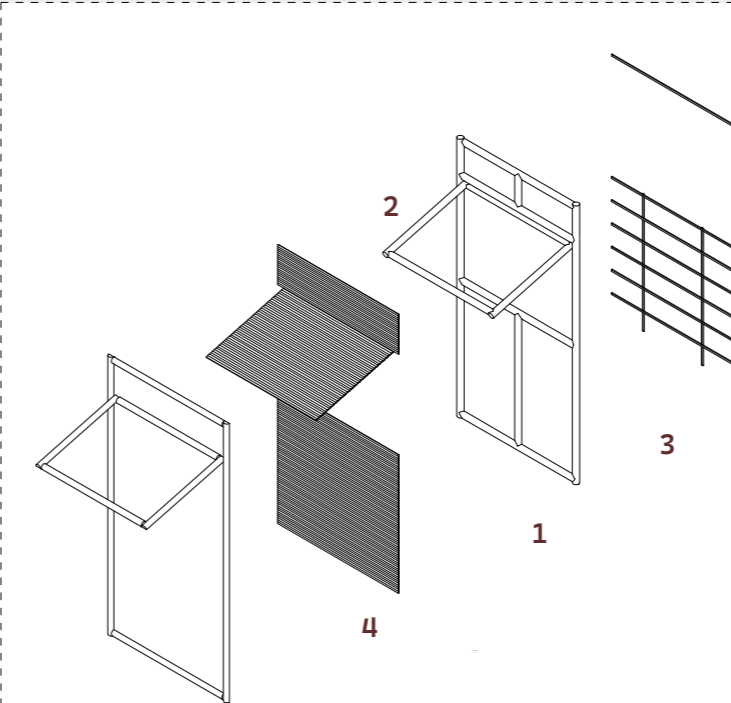
UNIONES



UBICACIÓN EN EL MODELO



MONTAJE

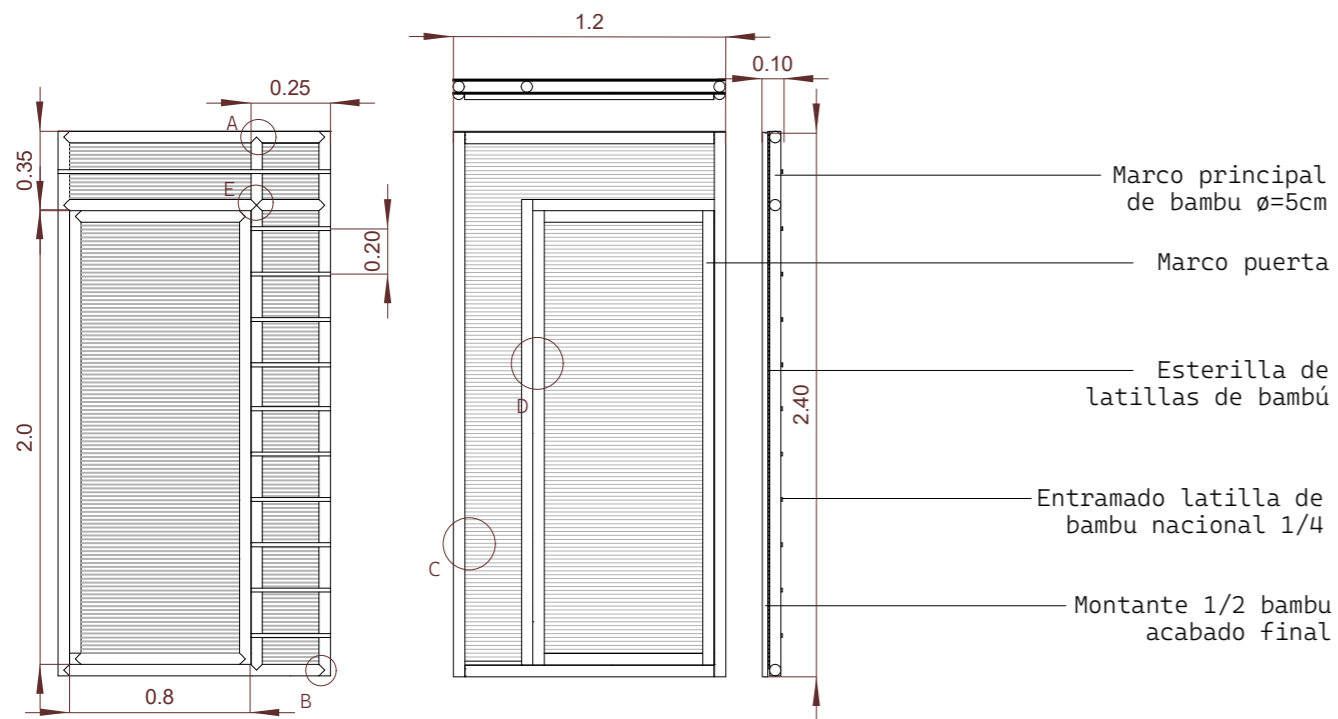


- 1- Montaje del marco principal**
Ensamblar los elementos de bambú $\varnothing 5\text{ cm}$ que conforman el marco exterior, fijando esquinas y uniones según los sistemas A y B.
- 2- Montaje del marco de ventana**
Construir el marco de la hoja con bambú $\varnothing 5\text{ cm}$ y fijarlo al panel mediante los soportes laterales de apertura. Comprobar la alineación y el giro.
- 3- Colocación del entramado interior**
Instalar las latillas de $\frac{1}{4}$ de caña en la parte inferior del panel (zona opaca), colocadas cada 20 cm en horizontal, formando la retícula que recibirá el relleno de tierra.
- 4- Montaje y fijación de la esterilla exterior**
Cortar la esterilla a medida y fijarla al marco exterior del panel y al marco de la ventana, asegurando continuidad en toda la cara exterior.
- 5- Revisión final y preparación para montaje**
Comprobar la rigidez del conjunto, el correcto funcionamiento de la ventana, la tensión de los atados y dejar listos los puntos de anclaje para su unión a la estructura.

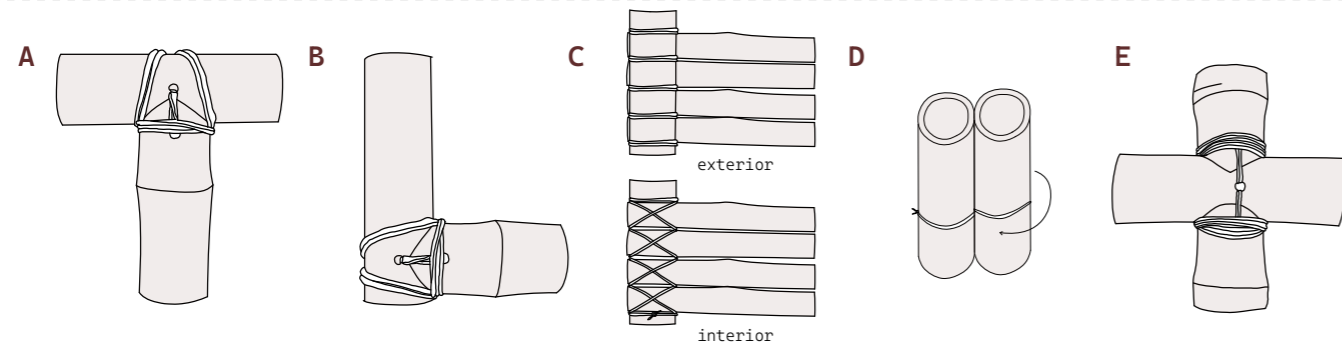
04_PANEL PUERTA

DATOS GENERALES	TABLA DE MATERIALES			
Código: PP-04	ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Panel puerta	Marco	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,4/1,2/0,35/2,1	2 / 3 / 1 / 1 ud
Ubicación prevista: Cerramientos exteriores/interiores no portantes	Puerta	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	0,8 m / 2,0 m	2 ud / 2 ud
Peso aproximado : 34kg	Esterilla	Latilla bambu e=1/2cm	-	2,88 m2
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m (estructura 2,4 m \rightarrow 2 paneles)	Acabado	1/2 bambú	2,4/1,1/0,9/2,0 m	2 / 2 / 2 / 2 ud
	Acabado puerta	1/2 bambú	0,7 m / 2,0 m	2 ud / 2 ud
	Entramado	Latilla 1/4 bambú	1,2 m / 1,2 m	2 ud / 7 ud

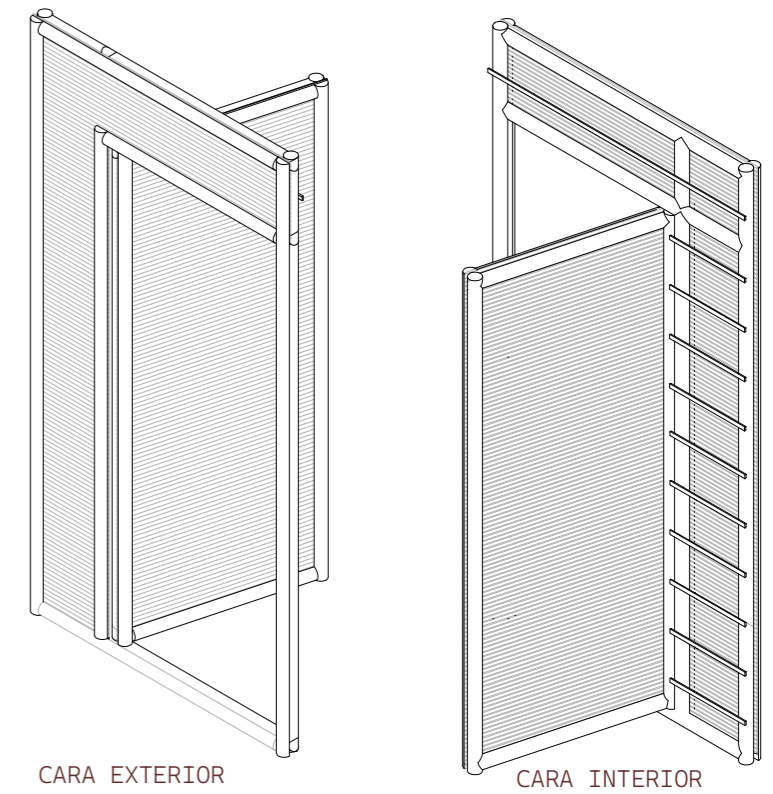
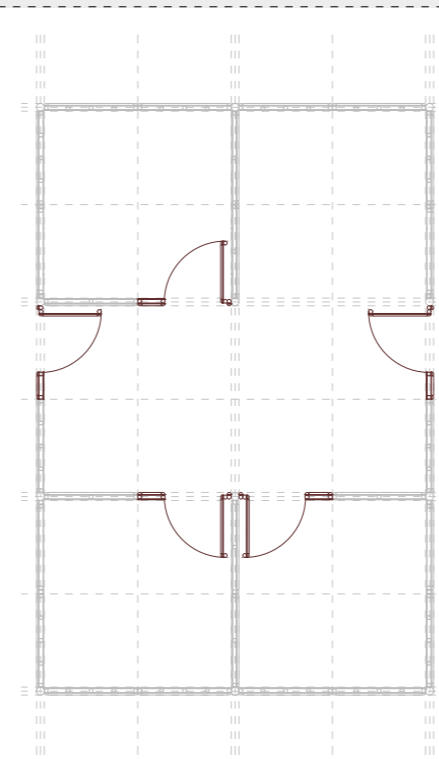
DETALLES



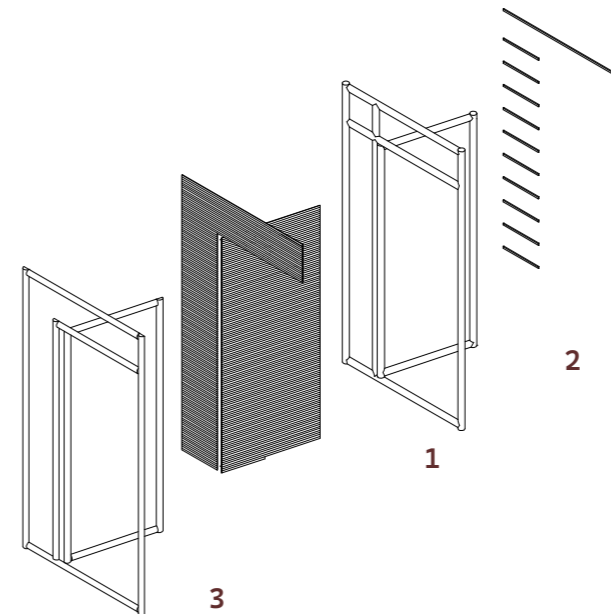
UNIONES



UBICACIÓN EN EL MODELO



MONTAJE

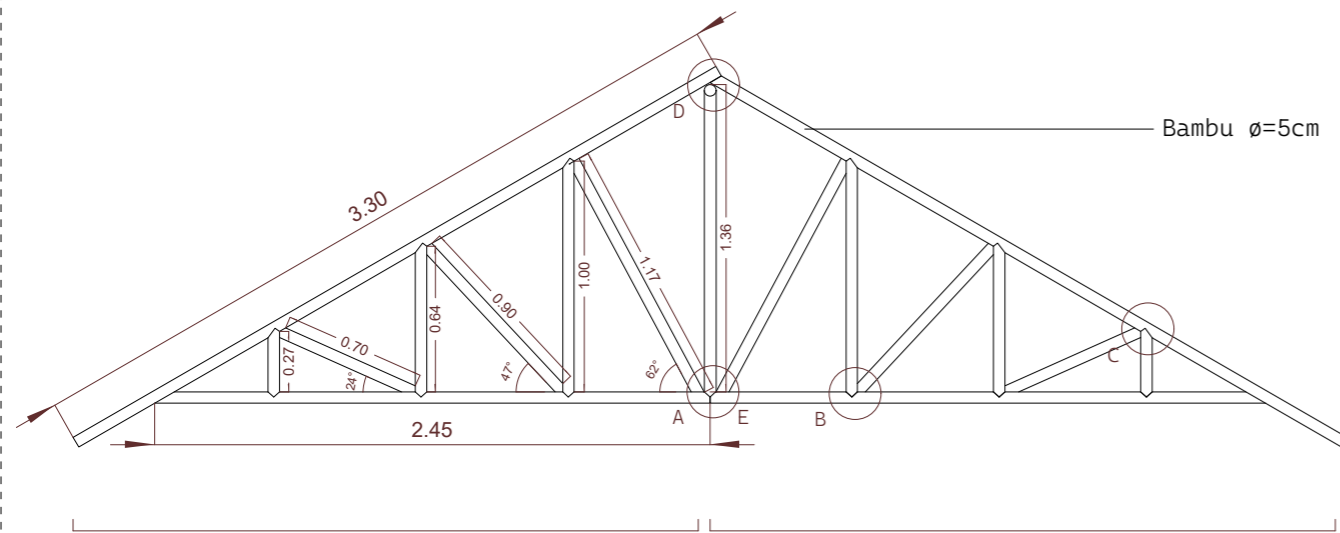


- 1- Montaje del marco principal**
Ensamblar los elementos de bambú $\varnothing 5\text{ cm}$ que conforman el marco exterior, fijando esquinas y uniones según los sistemas A, B y E.
- 2- Montaje del marco de puerta**
Construir el marco de la hoja con bambú $\varnothing 5\text{ cm}$ y fijarlo al panel mediante los soportes laterales de apertura (D). Comprobar la alineación y el giro.
- 3- Colocación del entramado interior**
Instalar las latillas de $\frac{1}{4}$ de caña en la parte inmóvil del panel, colocadas cada 20 cm en horizontal, formando la retícula que recibirá el relleno de tierra.
- 4- Montaje y fijación de la esterilla exterior**
Cortar la esterilla a medida y fijarla al marco exterior del panel y al marco de la puerta, asegurando continuidad en toda la cara exterior.
- 5- Revisión final y preparación para montaje**
Comprobar la rigidez del conjunto, el correcto funcionamiento de la puerta, la tensión de los atados y dejar listos los puntos de anclaje para su unión a la estructura.

05_CERCHA TIPO 1

DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES (DE 1 PIEZA)			
Código: C-01		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Cercha de cubierta prefabricada		Principal	Bambu $\phi=5\text{cm}$	2,45 m / 3,30 m	1 ud / 1 ud
Ubicación prevista: Estructura de cubierta		Verticales	Bambu $\phi=5\text{cm}$	1,00 m / 0,64 m / 0,27 m	1 ud / 1 ud / 1ud
Peso aproximado : 22kg		Diagonales	Bambu $\phi=5\text{cm}$	1,17 m / 0,90 m / 0,70 m	1 ud / 1 ud / 1ud
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m					

DETALLES

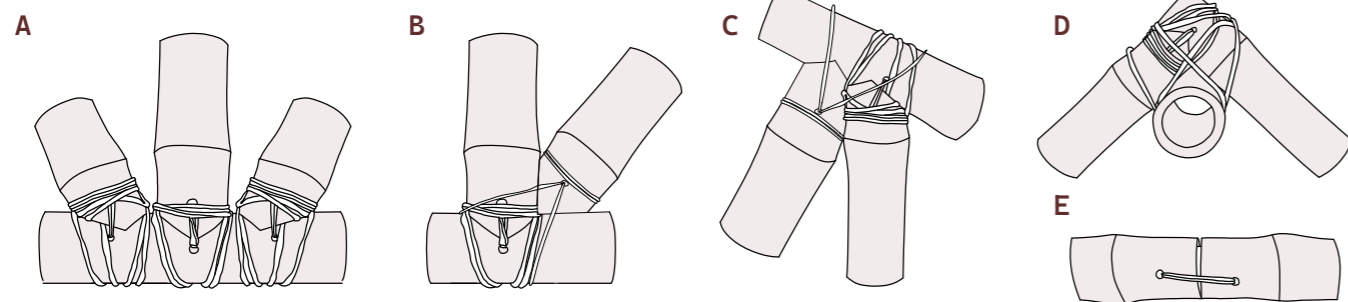


Pieza 1

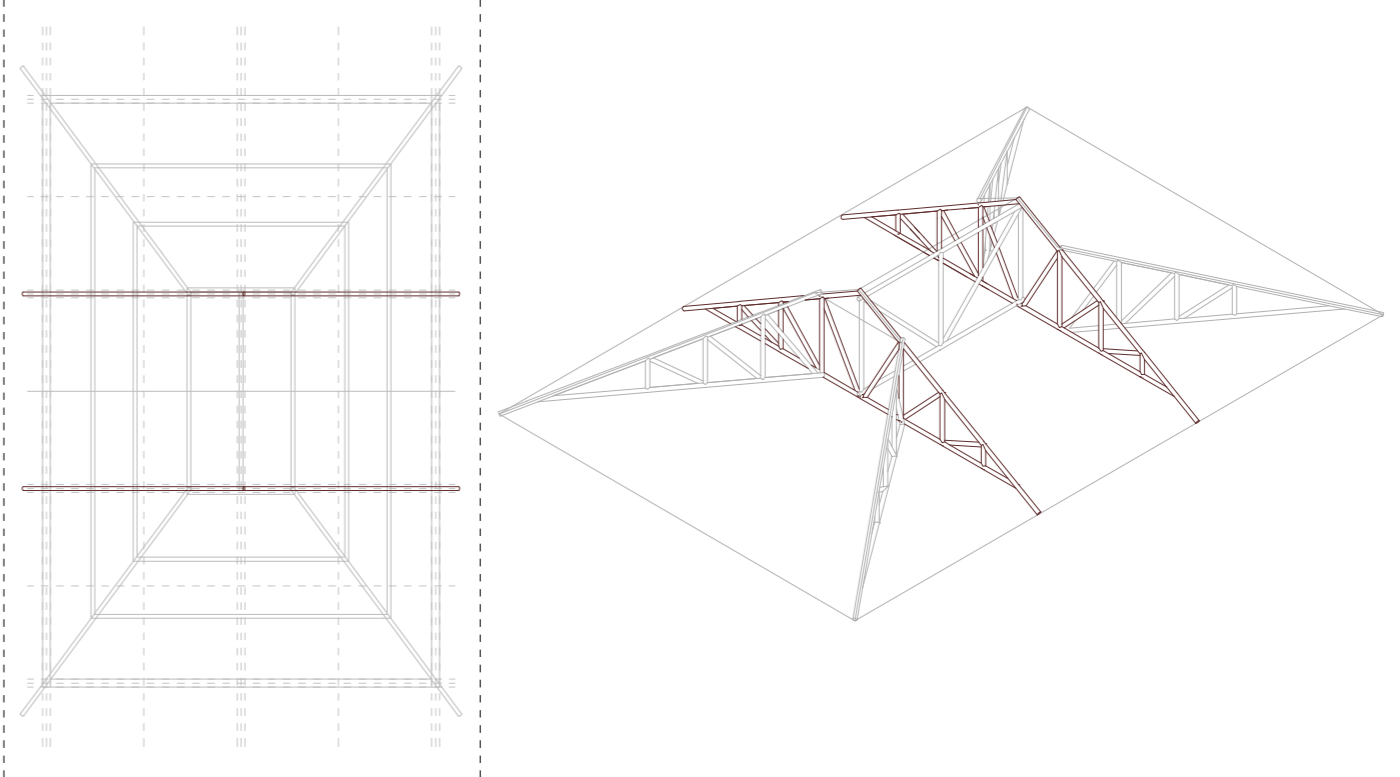
Pieza 2

La cercha se divide en dos piezas para facilitar su transporte, en obra se unen mediante la unión tipo D y E

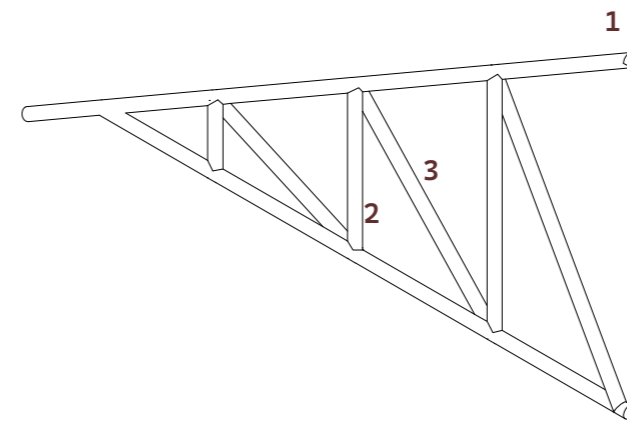
UNIONES



UBICACIÓN EN EL MODELO



MONTAJE



1- Montaje del contorno

Ensamblar primero el triángulo exterior (cordón inferior + cordón superior)

2- Colocación de montantes

Instalar los montantes verticales en las posiciones marcadas, comprobando que mantengan la pendiente del cordón superior.

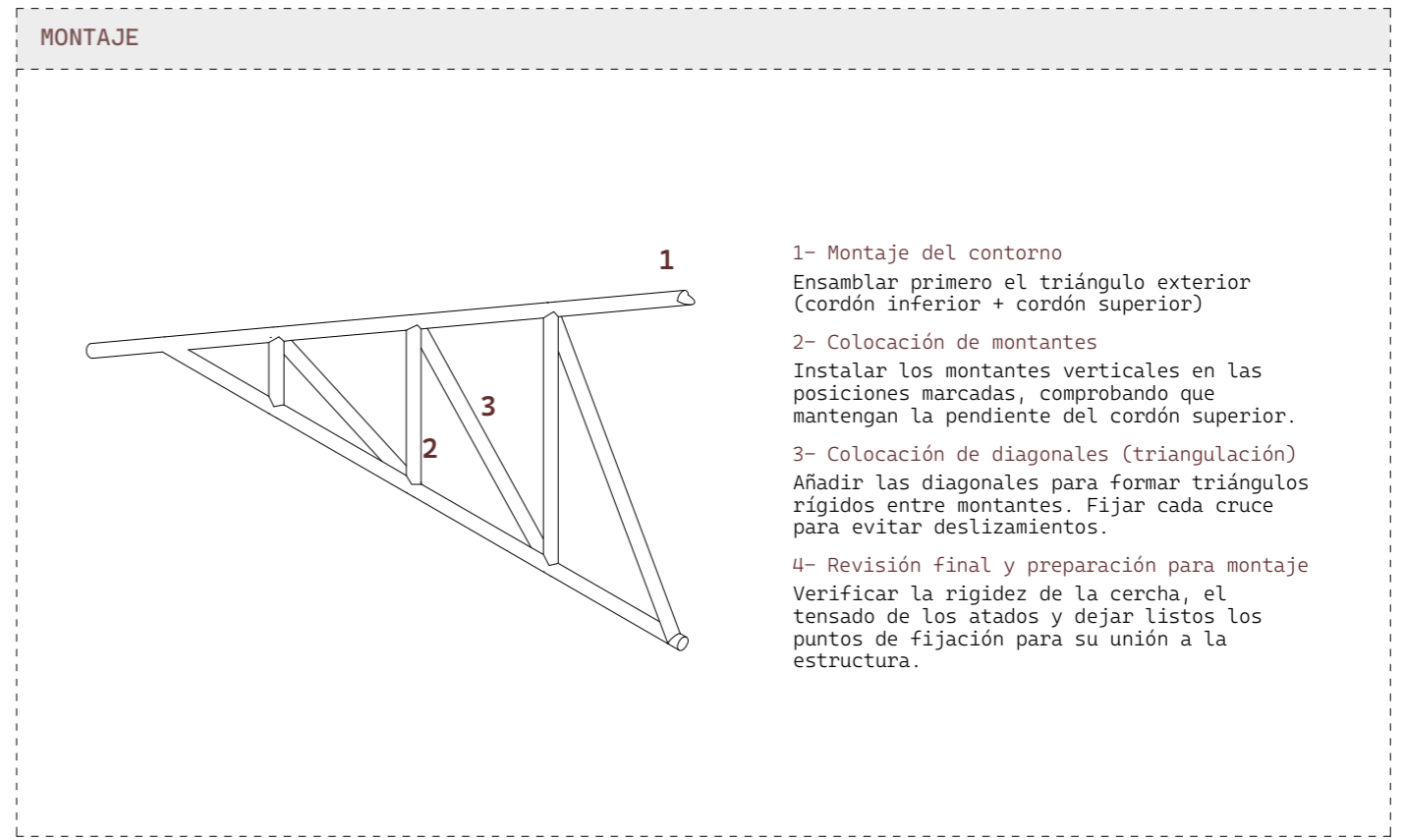
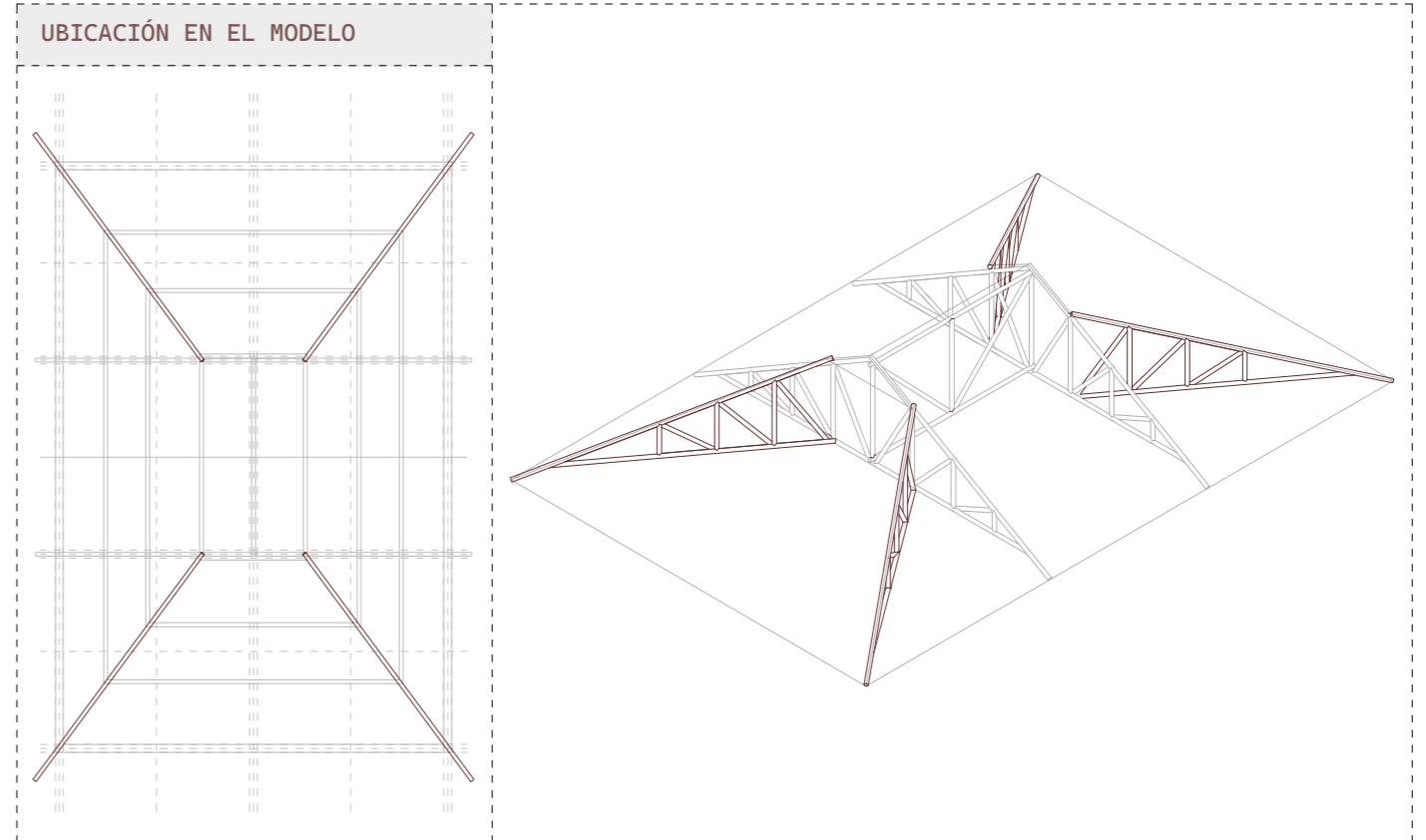
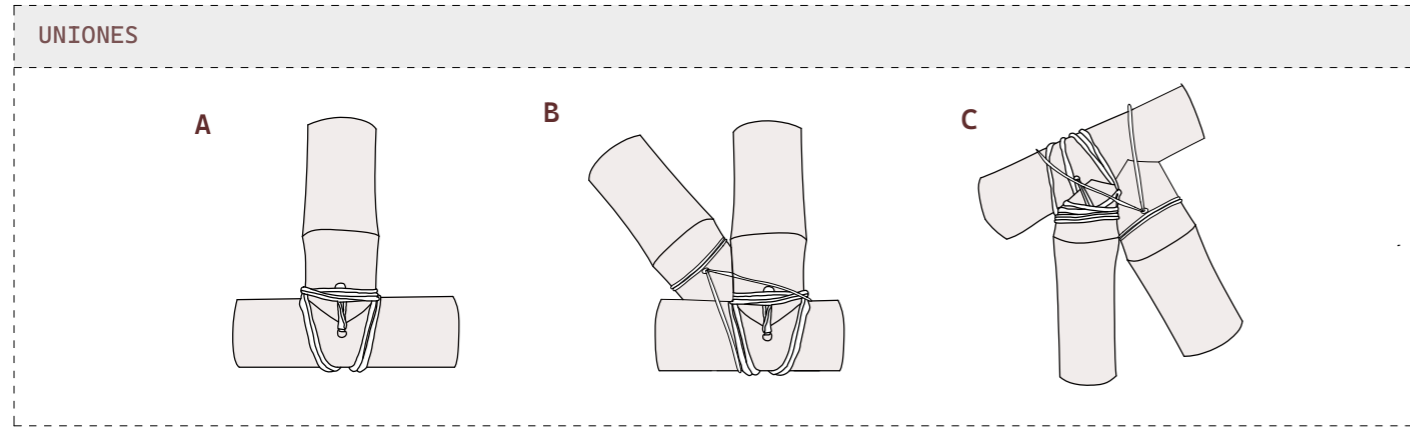
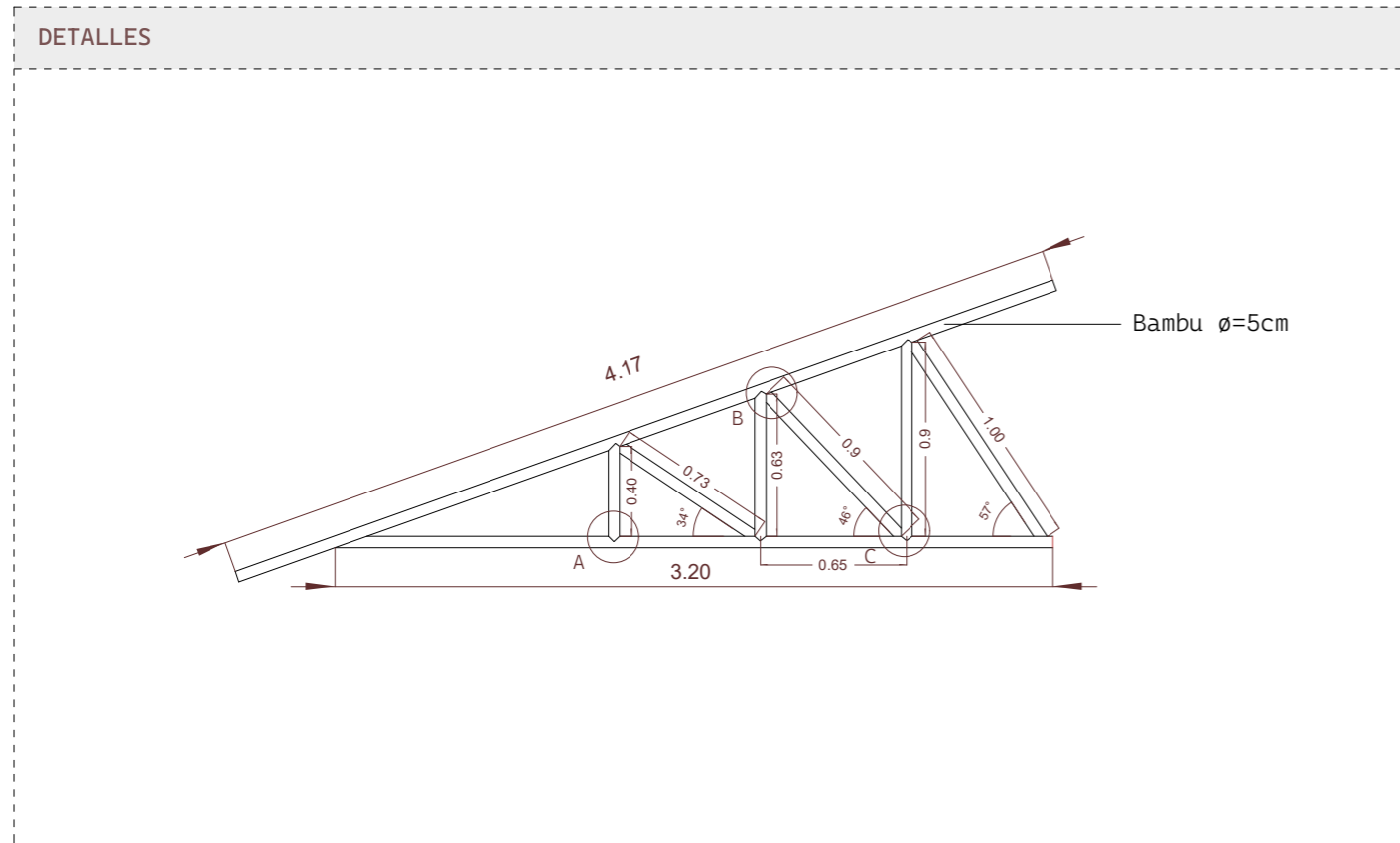
3- Colocación de diagonales (triangulación)

Añadir las diagonales para formar triángulos rígidos entre montantes. Fijar cada cruce para evitar deslizamientos.

4- Revisión final y preparación para montaje

Verificar la rigidez de la cercha, el tensado de los atados y dejar listos los puntos de fijación para su unión a la estructura.

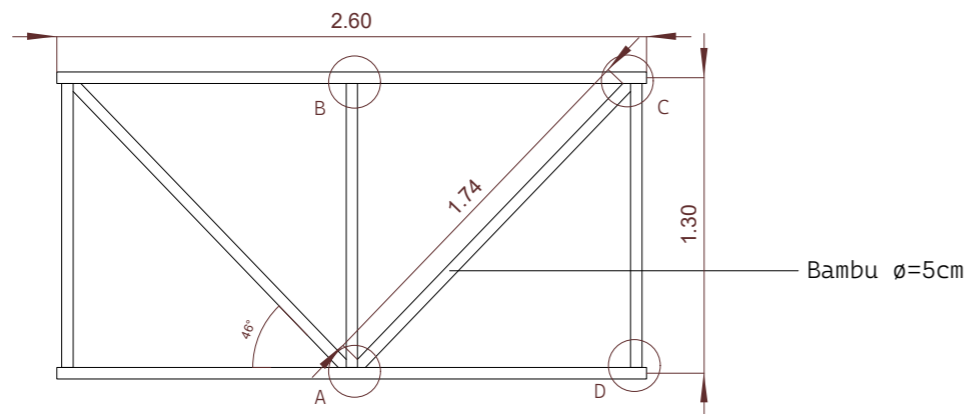
DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES			
Código: C-02		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Cercha de cubierta prefabricada - de esquina		Principal	Bambu $\phi=5\text{cm}$	3,20 m / 4,17 m	1 ud / 1 ud
Ubicación prevista: Esquinas de la estructura de cubierta, formando la limesa de la cubierta a 4 aguas.		Verticales	Bambu $\phi=5\text{cm}$	0,90 m / 0,63 m / 0,40 m	1 ud / 1 ud / 1ud
Peso aproximado : 22kg		Diagonales	Bambu $\phi=5\text{cm}$	1,00 m / 0,90 m / 0,73 m	1 ud / 1 ud / 1ud



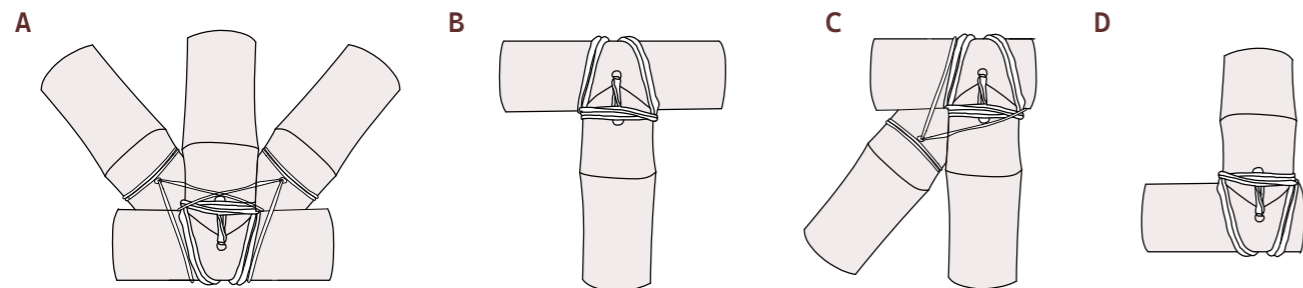
07_CERCHA TIPO

DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES (DE 1 PIEZA)			
Código: C-01		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Cercha de cubierta prefabricada		Principal	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,60 m	2 ud
Ubicación prevista: Estructura de cubierta		Verticales	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	1,30 m	3 ud
Peso aproximado : 22kg		Diagonales	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	1,74 m	2 ud
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m					

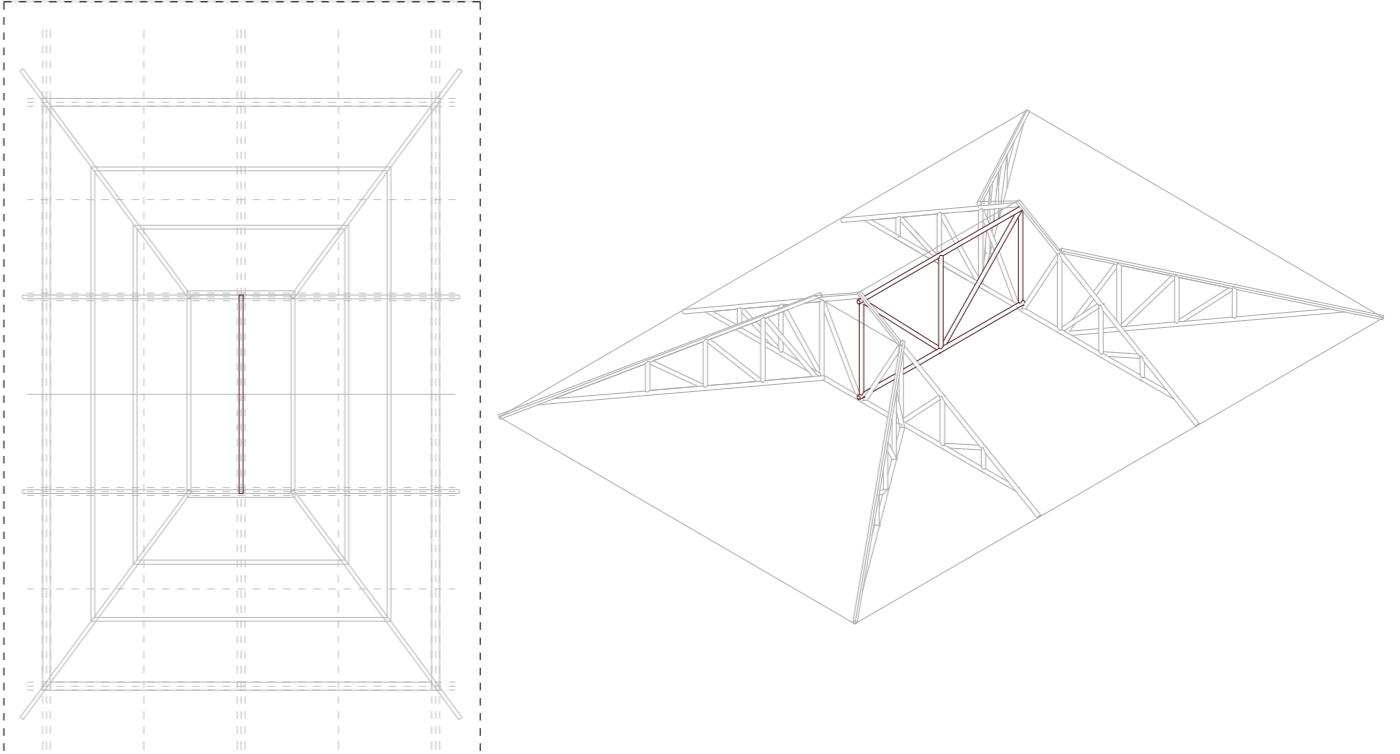
DETALLES



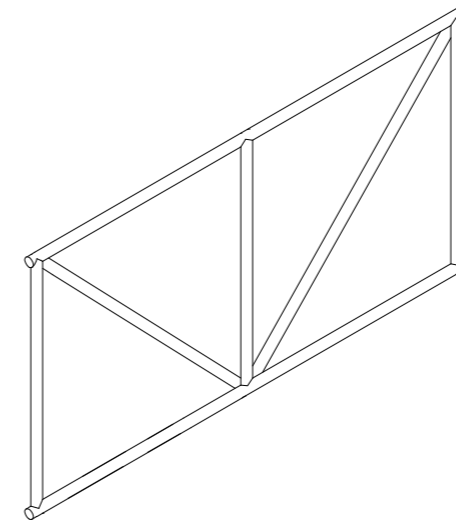
UNIONES



UBICACIÓN EN EL MODELO



MONTAJE



1- Montaje del contorno

Ensamblar primero el marco exterior con la unión D prevista.

2- Colocación de montantes

Instalar el montante vertical con la unión A prevista en la posición marcada, comprobando que mantenga la forma del marco.

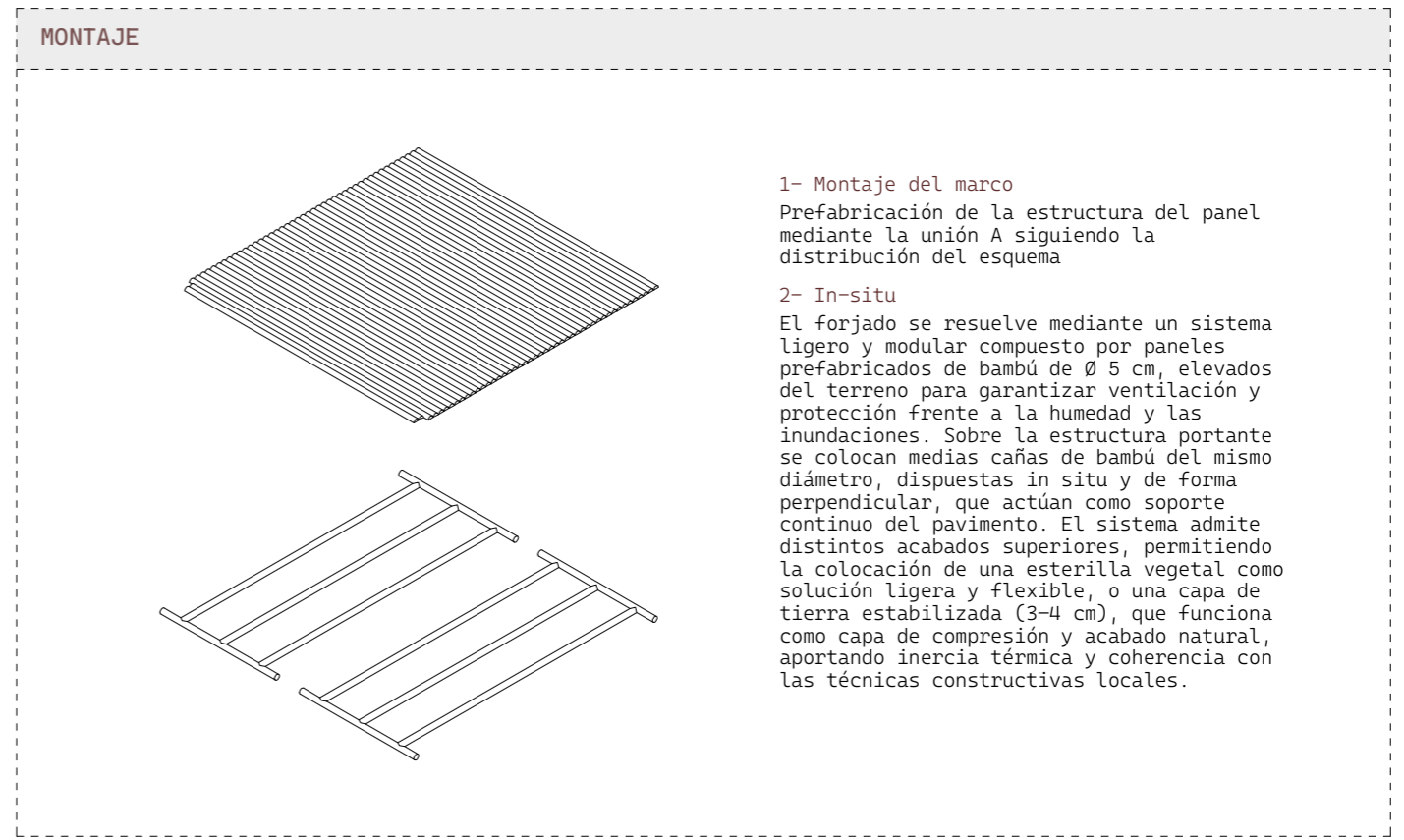
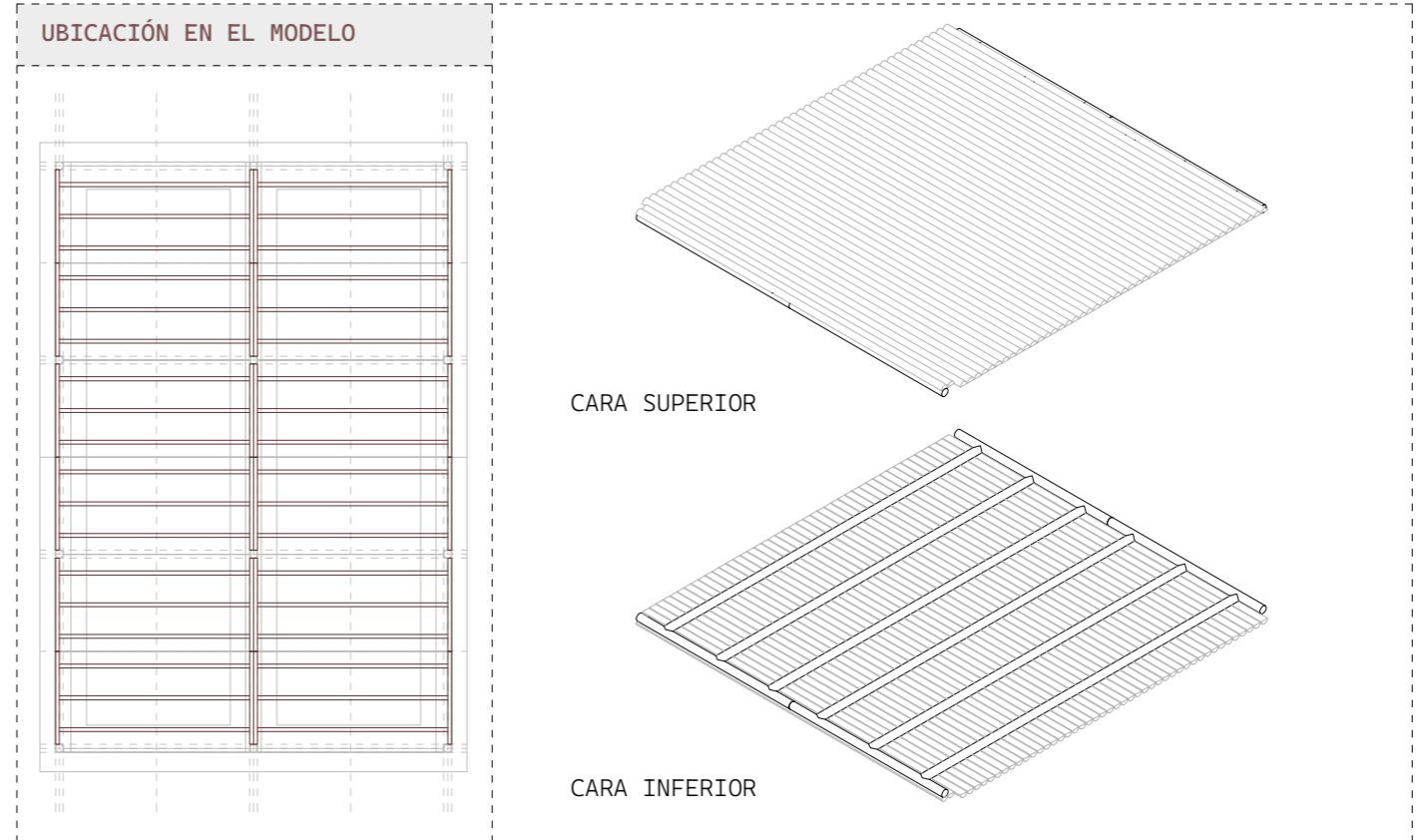
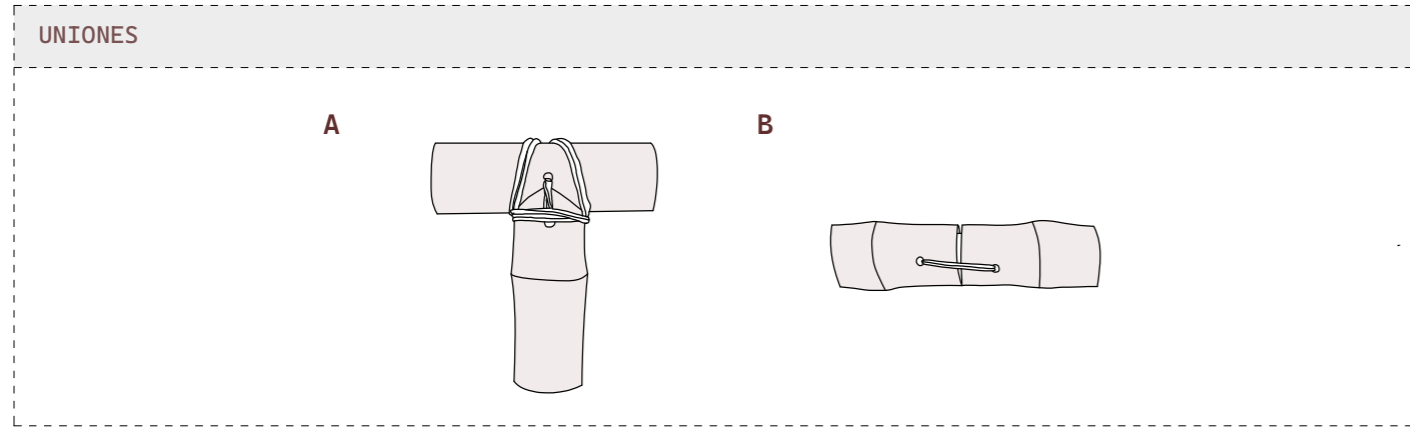
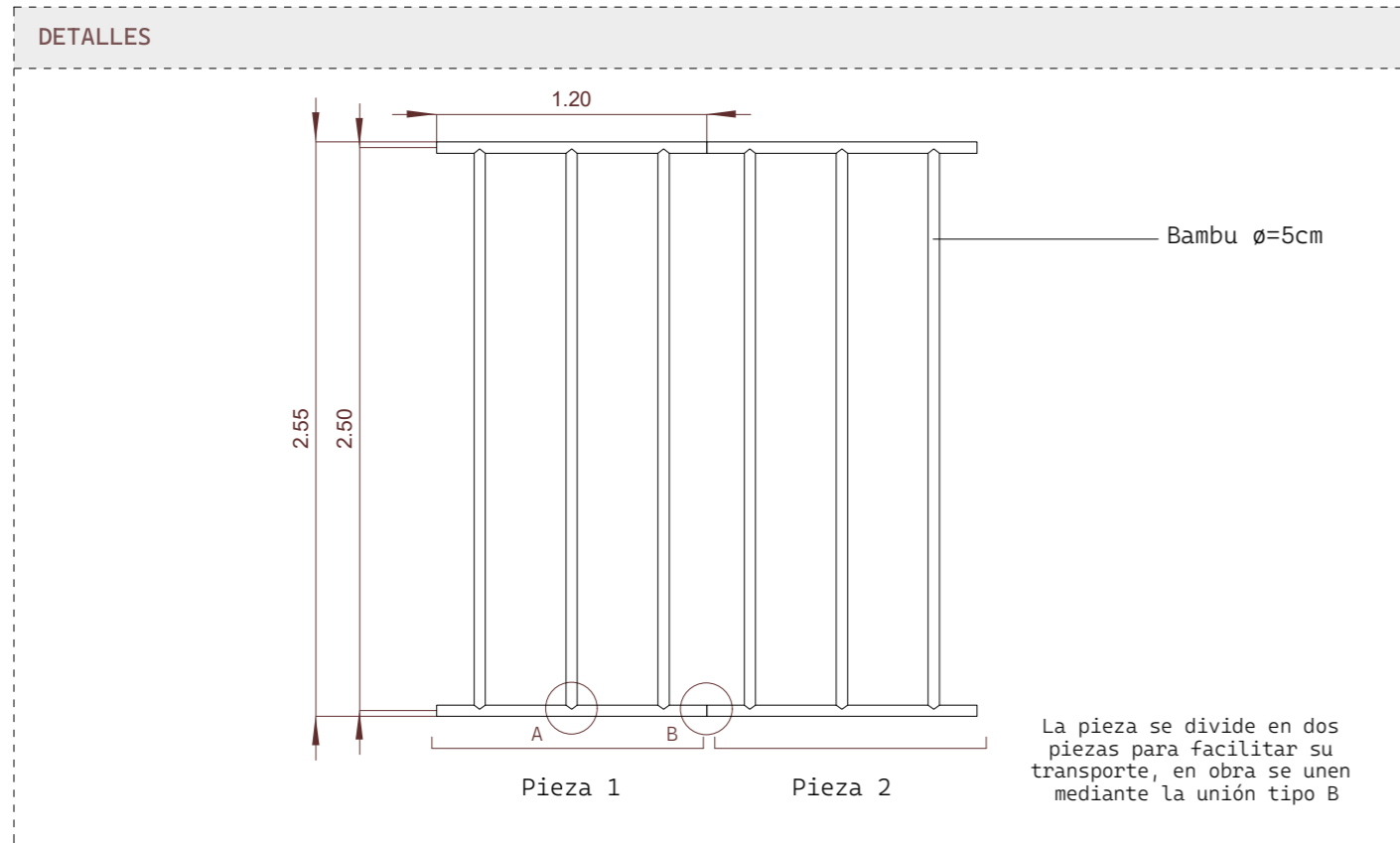
3- Colocación de diagonales (triangulación)

Añadir las diagonales para formar triángulos rígidos entre montantes con las uniones A y C. Fijar cada cruce para evitar deslizamientos.

4- Revisión final y preparación para montaje

Verificar la rigidez de la cercha, el tensado de los atados y dejar listos los puntos de fijación para su unión a la estructura.

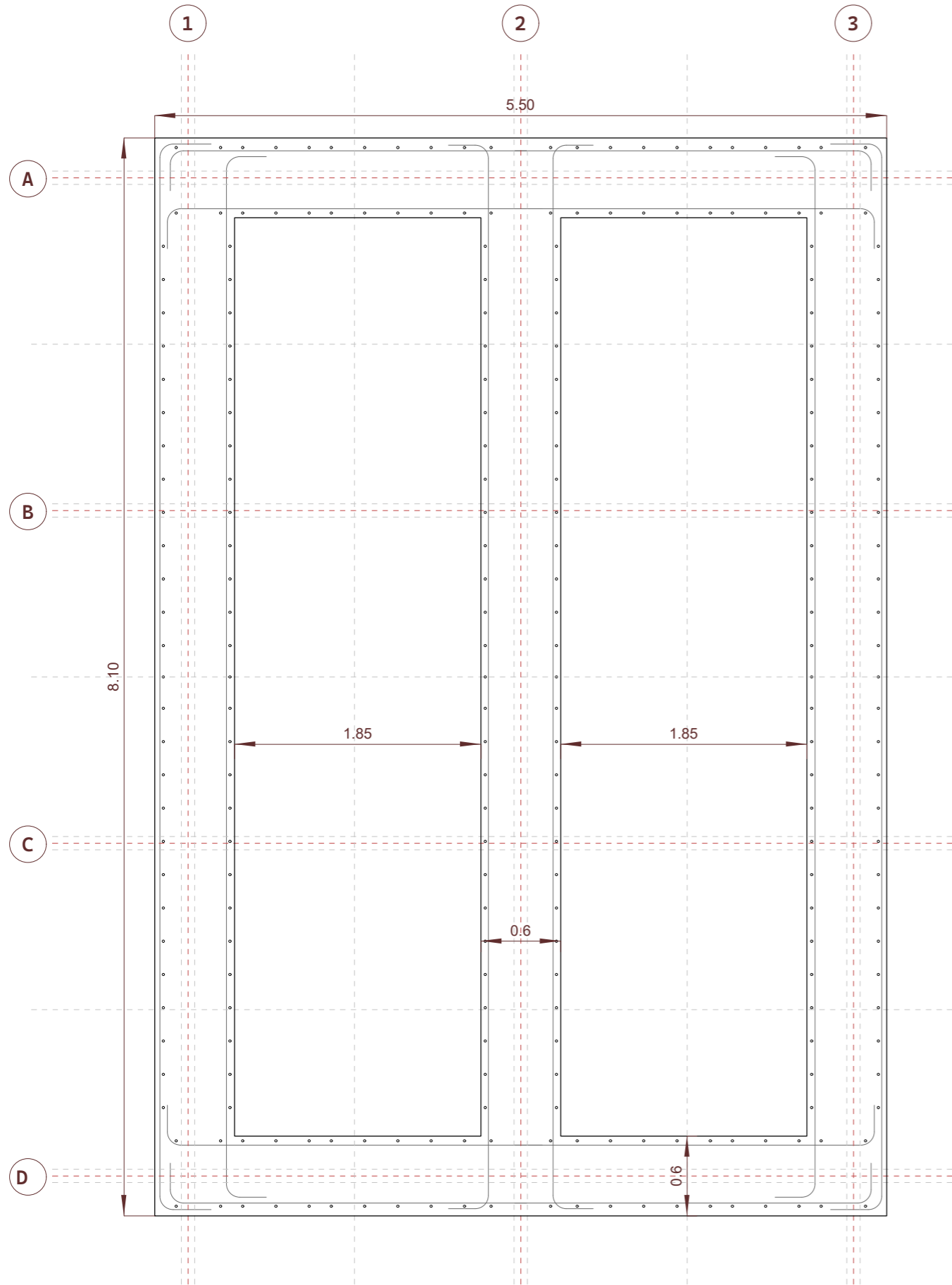
DATOS GENERALES		TABLA DE MATERIALES (DE 1 PIEZA)			
Código: F-01		ELEMENTO	MATERIAL	LONGITUD	CANTIDAD
Tipo: Panel de forjado portante		Principal	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	1,20 m	2 ud
Ubicación prevista: Estructura de forjado		Verticales	Bambu $\varnothing=5\text{cm}$	2,50 m	3 ud
Peso aproximado : 15 kg					
Compatibilidad modular: Módulo 1,2 m					



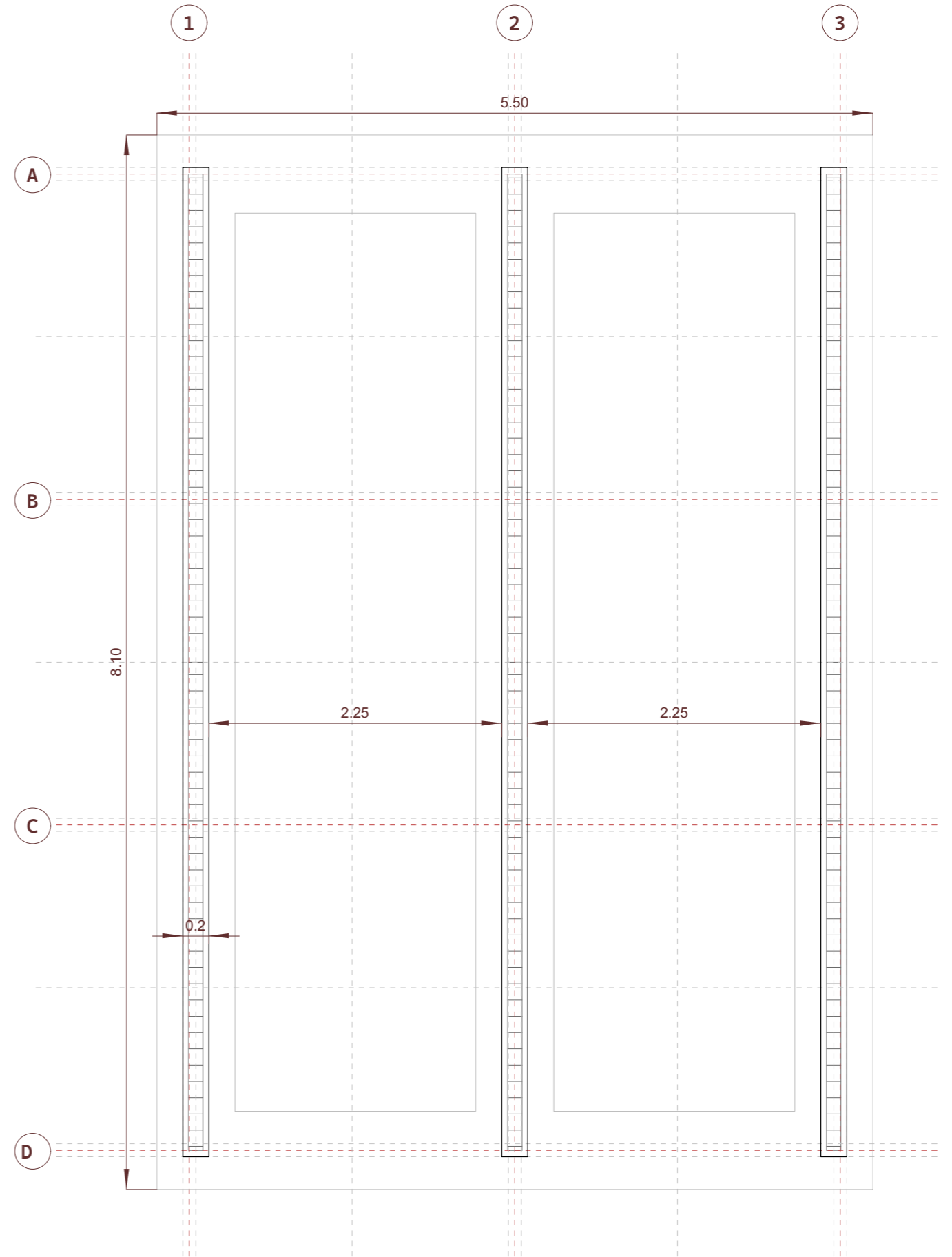
PLANOS PROTOTIPO

P01. CIMENTACIÓN BAJO RASANTE

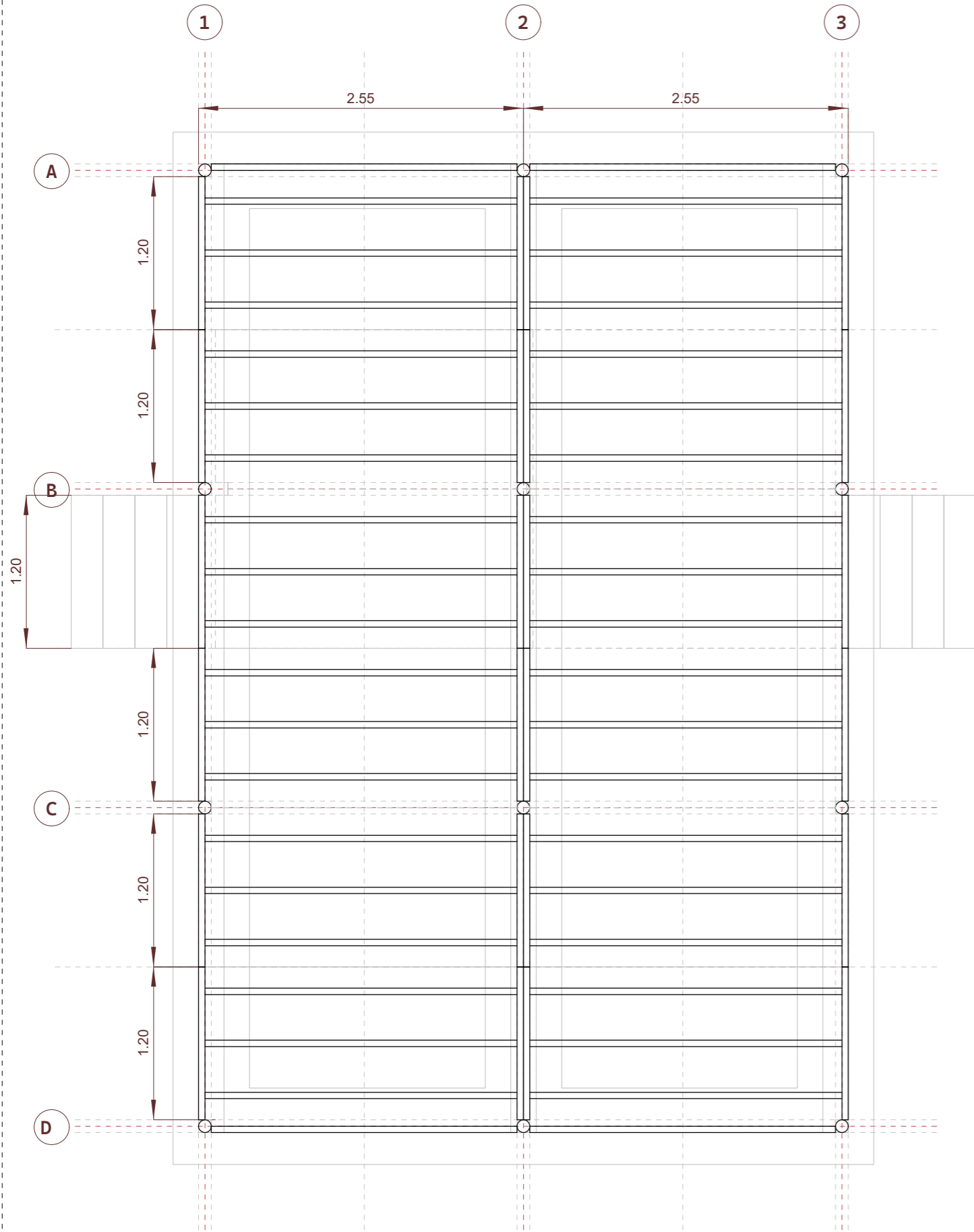
Esquema propuesto para un caso teórico. La definición detallada dependerá de un estudio geotécnico.



P02. CIMENTACIÓN SOBRE RASANTE



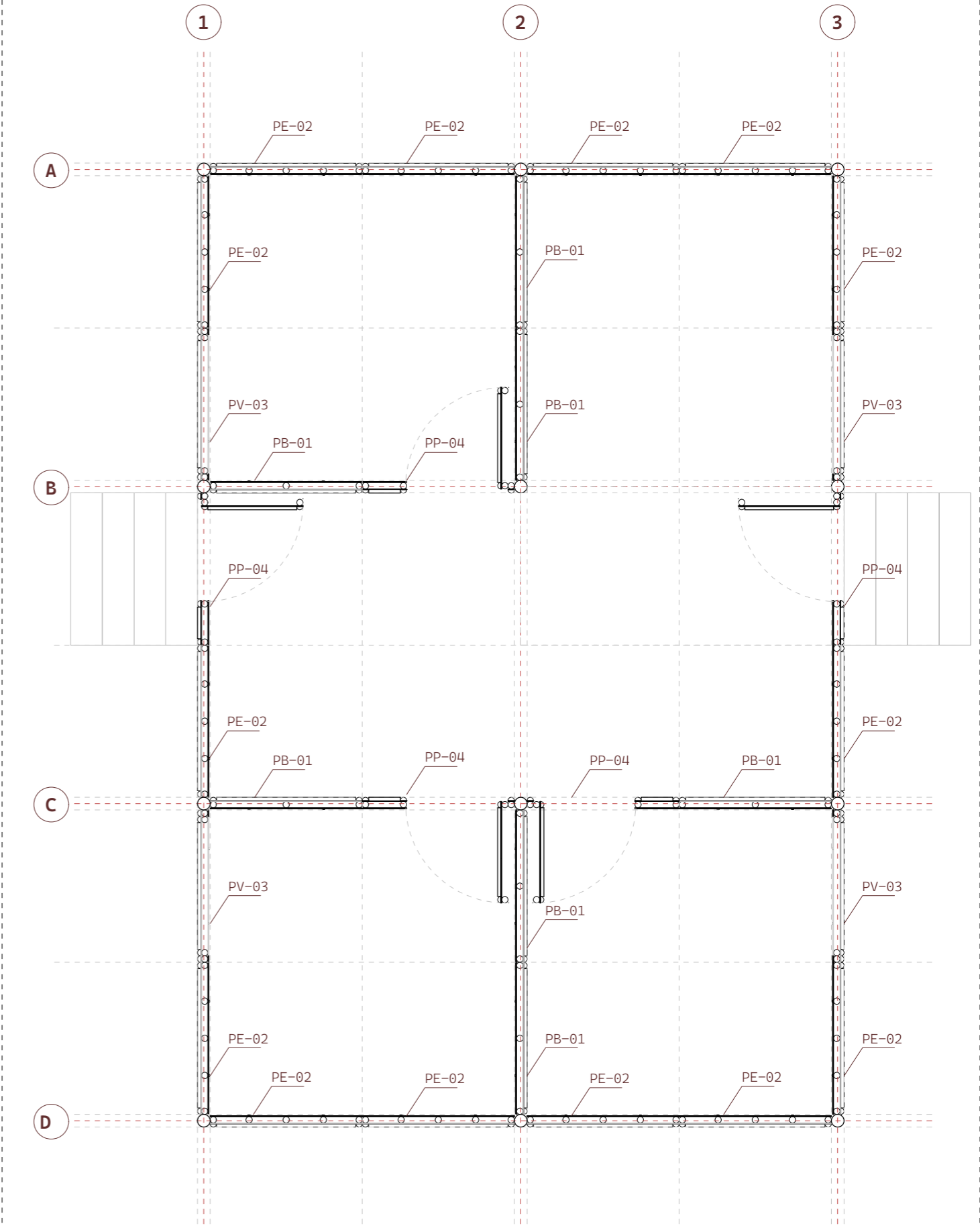
P03. FORJADO INFERIOR CON PANELES PREFABRICADOS



Vicienda crecedera y resiliente en Mozambique: su adaptación al bambú

E 1:40 0 0.5 1 2 (m)

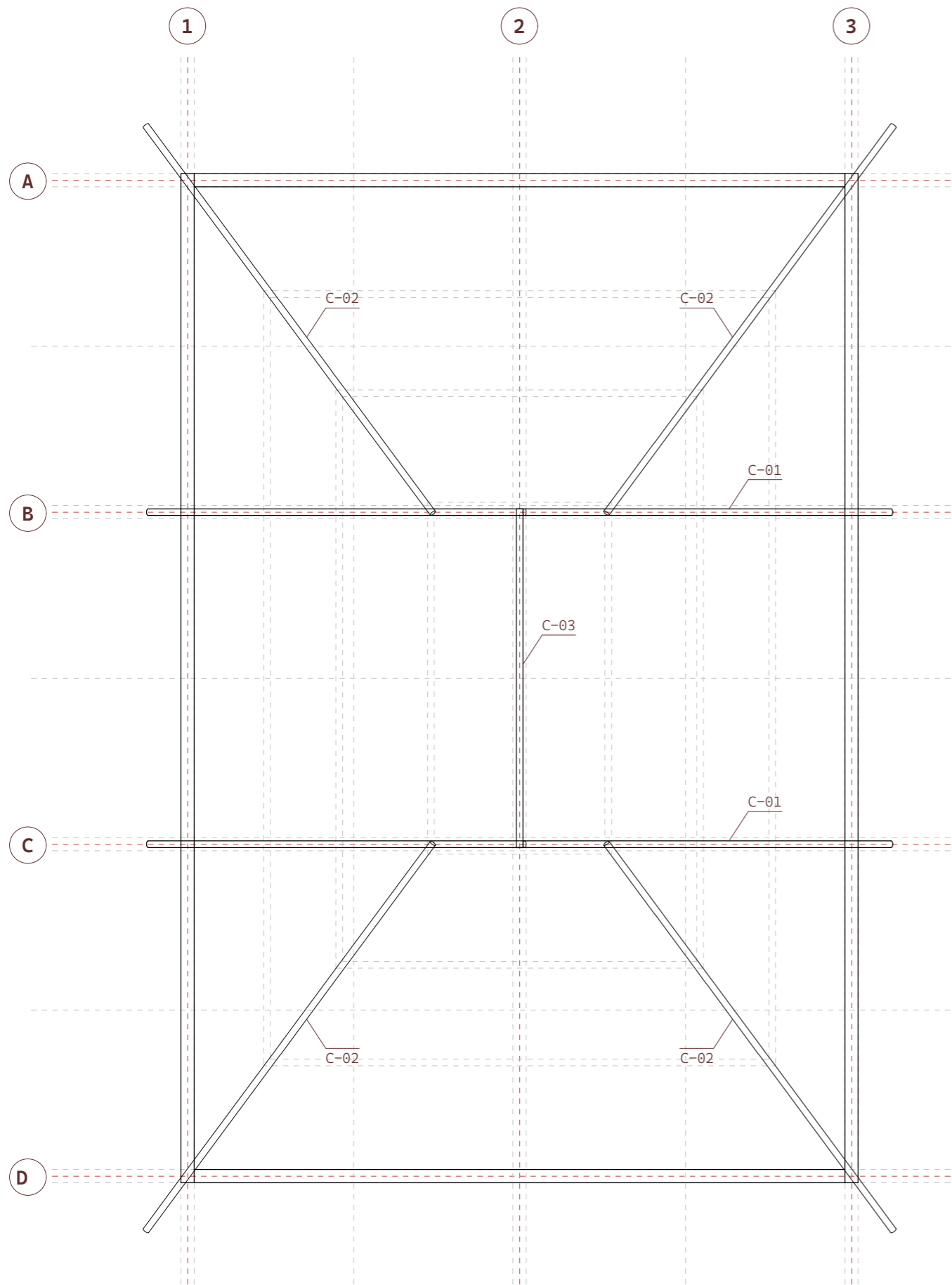
P04. PLANOS VERTICALES CON PANELES PREFABRICADOS



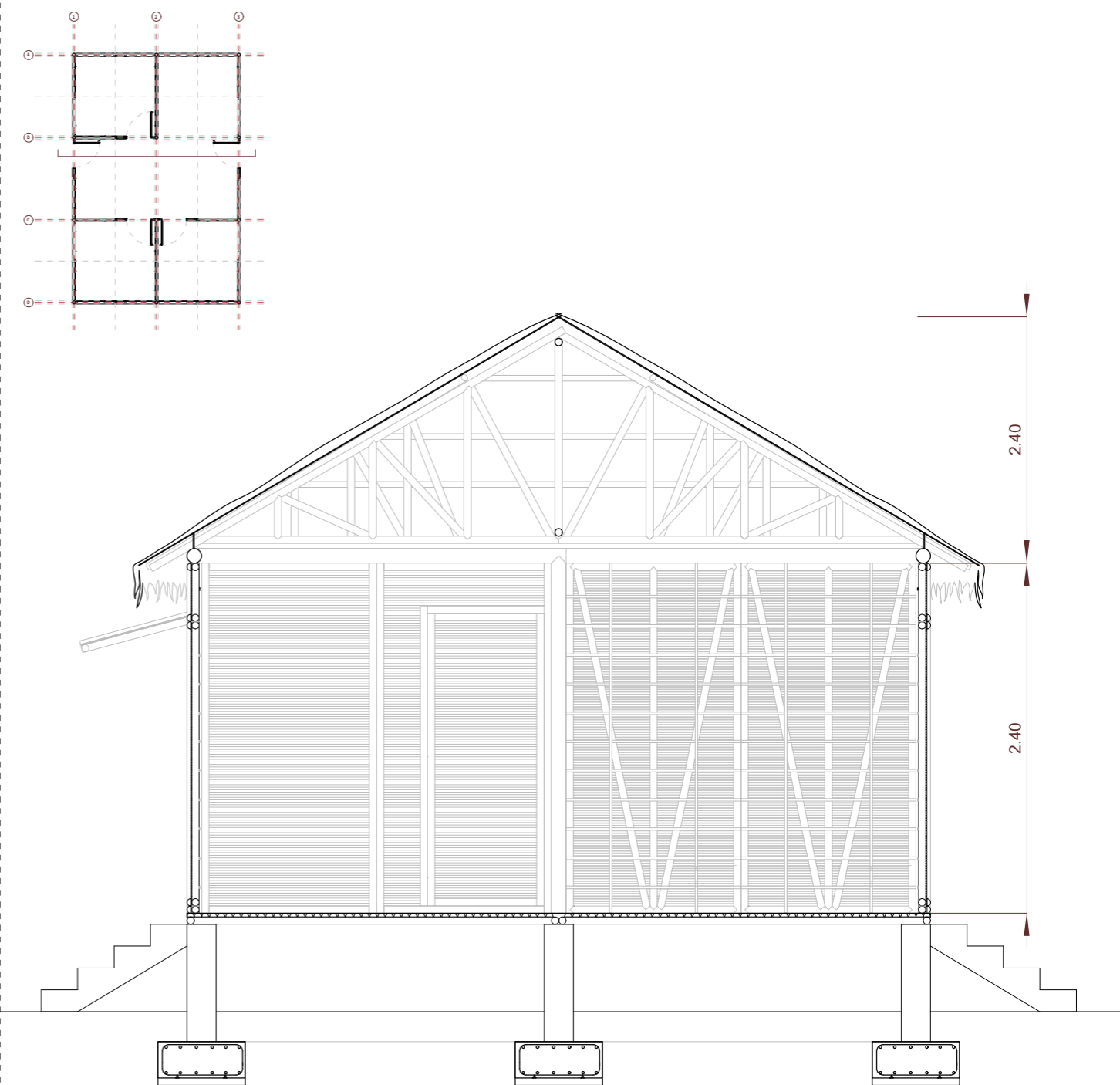
Vicienda crecedera y resiliente en Mozambique: su adaptación al bambú

E 1:40 0 0.5 1 2 (m)

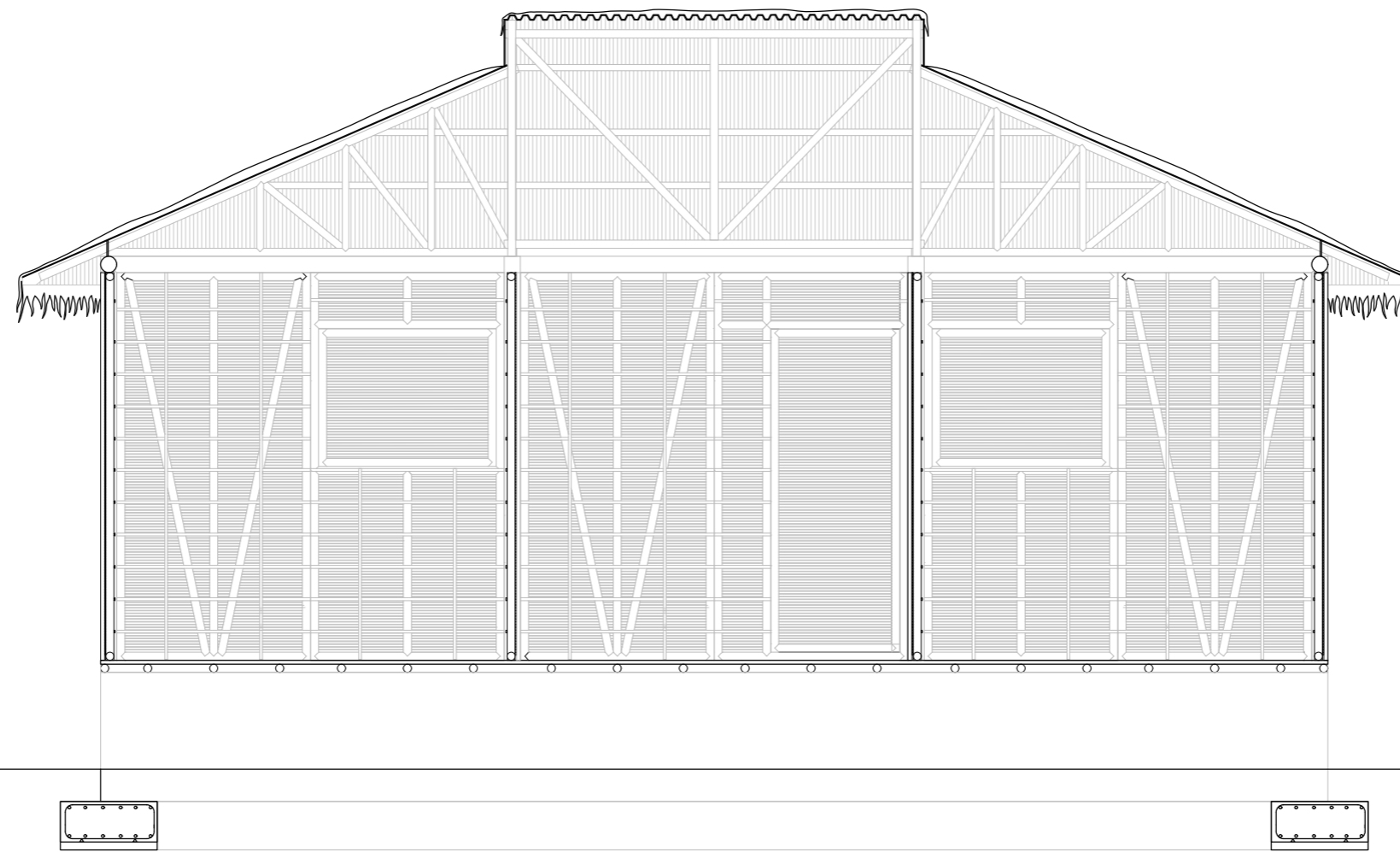
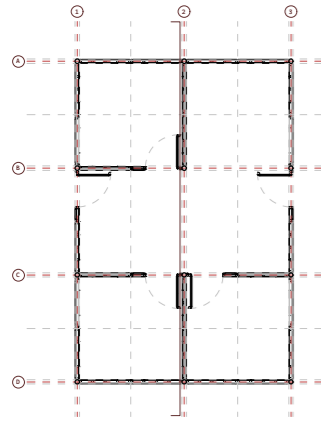
P05. ESTRUCTURA DE CUBIERTA



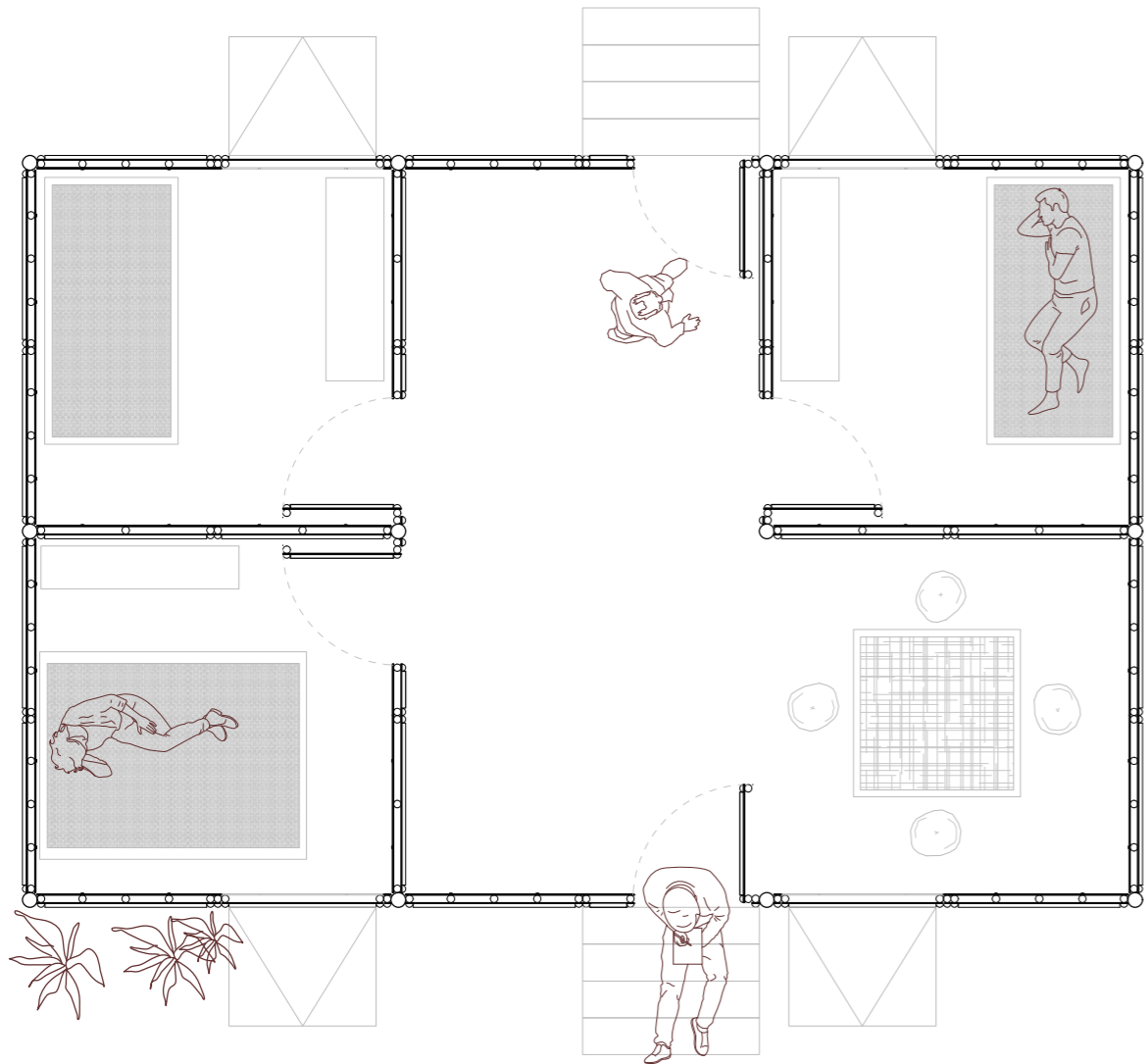
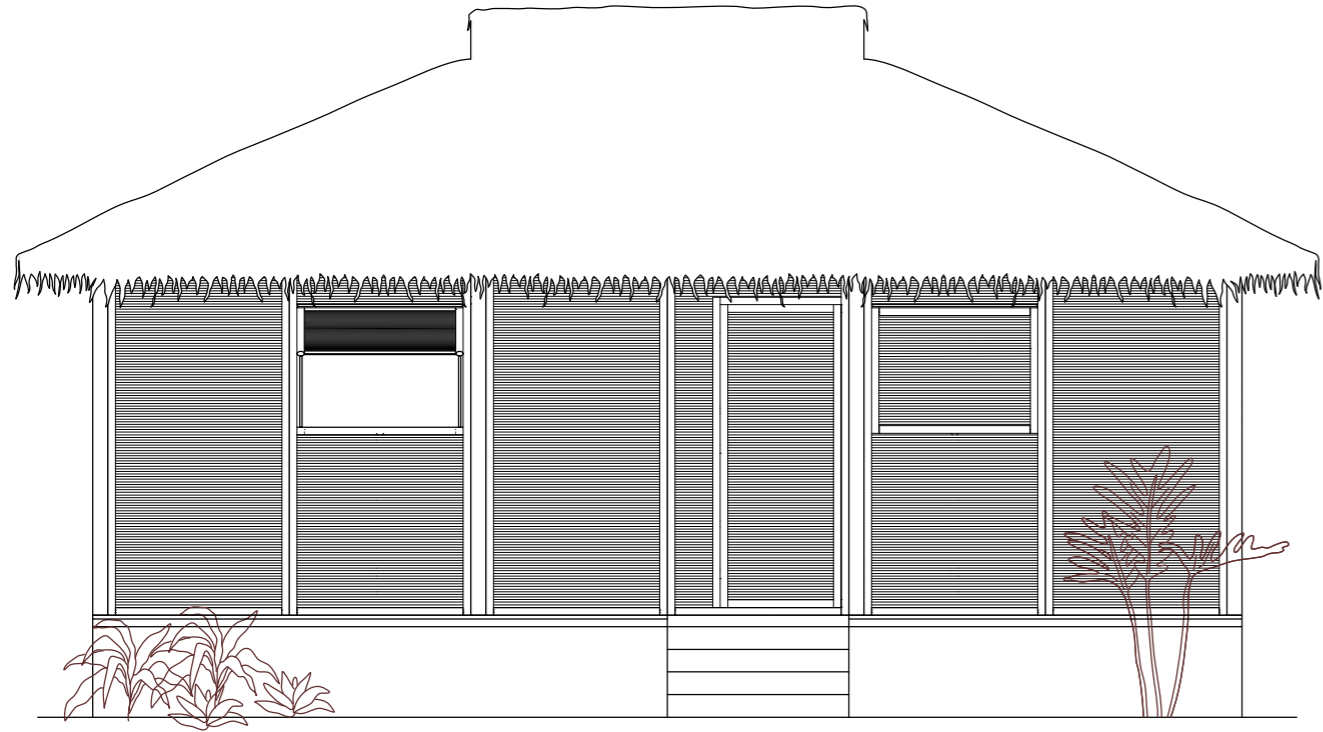
P06. SECCIÓN TRANSVERSAL



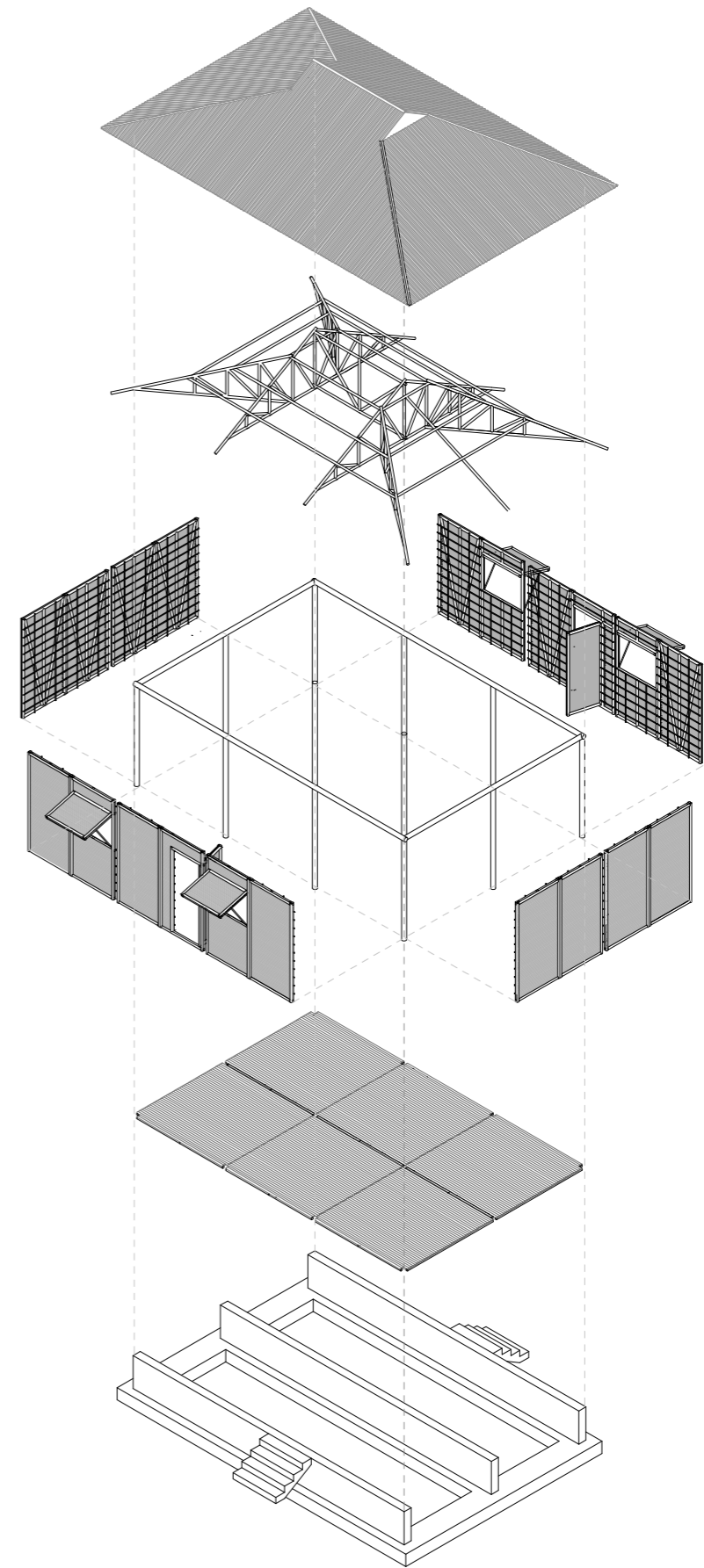
P07. SECCIÓN LONGITUDINAL



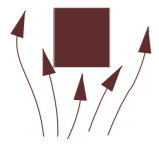

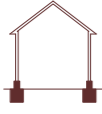

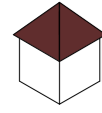



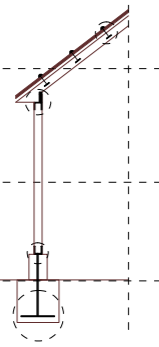
P08. ALZADO Y PLANTA

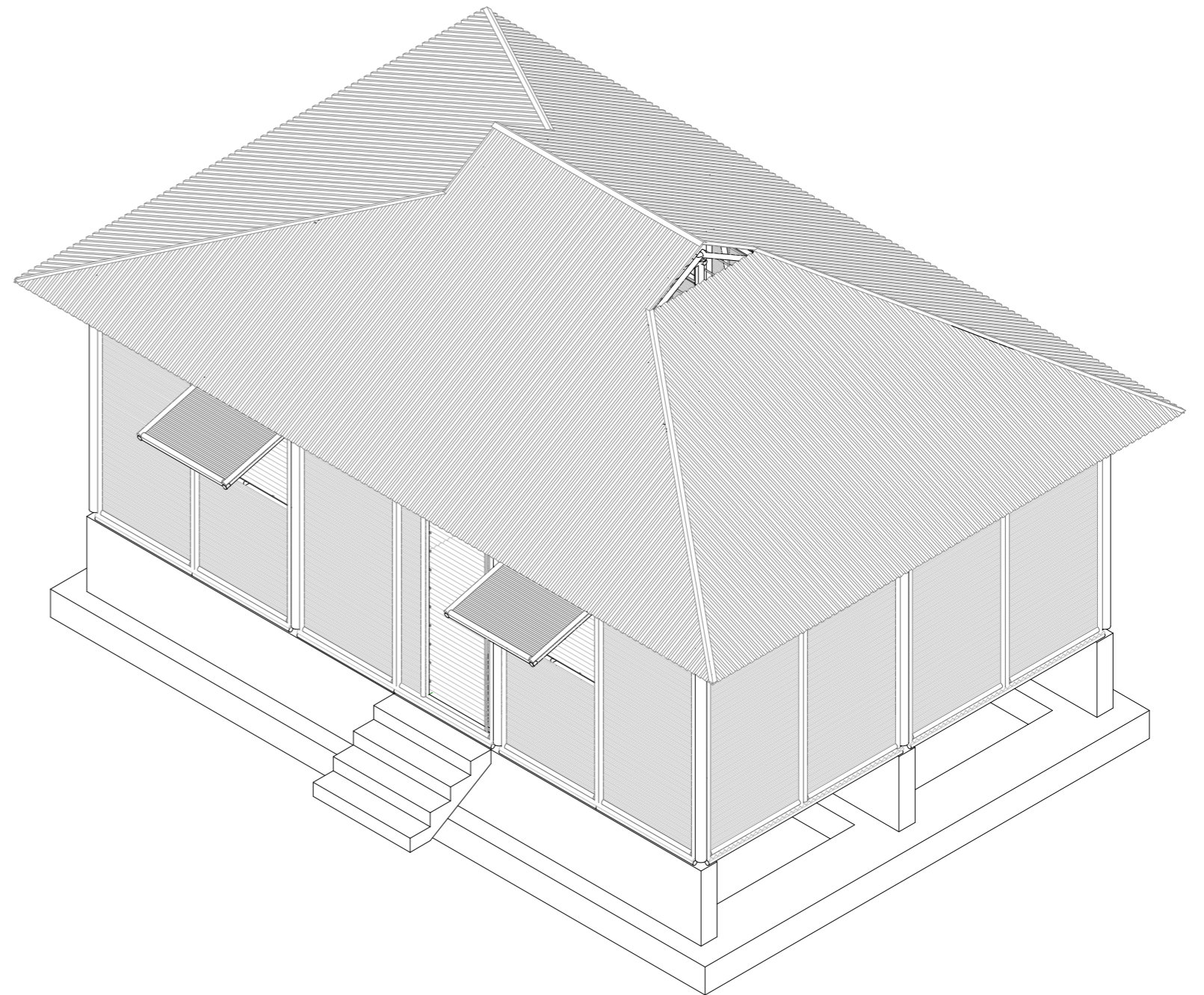


P09. AXONOMETRÍA EXPLOTADA



EVALUACIÓN RESILIENCIA

GEOMETRÍA		✓	Relación entre largo-ancho no supera proporción 3:1.
CIMENTACIÓN		✓	Plataforma o pilotes de 40-60 cm.
		✓	Zapatas de al menos 60 cm de profundidad
PAREDES		✓	Arriostrados.
CUBIERTA		✓	A cuatro aguas.
		✓	Pilares propios y refuerzos adicionales. El prototipo inicial se plantea sin estos pero se añadirían como estructuras adicionales
		✓	Prolongación de 50-60 cm maximo respecto al plano de fachada.
		✓	Comprendida entre 30° y 40°.
UNIONES		✓	Conexiones entre cimientos, paredes, vigas y cubierta continuas.
		✓	
		✓	
		✓	



EL PROTOTIPO COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO ABIERTO Y PROGRESIVO

El sistema constructivo descrito en el apartado anterior define un modelo base, concebido como un núcleo mínimo habitable capaz de responder a las necesidades iniciales de ocupación y protección. No se plantea, como un modelo final, sino como una estructura abierta, preparada para admitir transformaciones, mejoras y ampliaciones a lo largo del tiempo.

Este enfoque se alinea con las lógicas de la vivienda mozambiqueña descritas en apartados anteriores, en las que la casa se construye y consolida por fases, en función de las posibilidades económicas, las necesidades familiares y el acceso a materiales. En este sentido, el prototipo actúa como un soporte evolutivo, que cada familia puede adaptar y completar según su propio proceso.

Mejora progresiva de los cerramientos y el confort térmico

El modelo base admite la mejora gradual de los cerramientos mediante la incorporación de capas adicionales de acabado. Los paneles prefabricados tanto de forjado como los verticales pueden recubrirse con tierra, siguiendo técnicas tradicionales, lo que permite aumentar el confort y la inercia térmica, y reforzar la sensación de permanencia de la vivienda. De manera complementaria, el acabado del forjado puede evolucionar también con soluciones ligeras como esterillas vegetales.

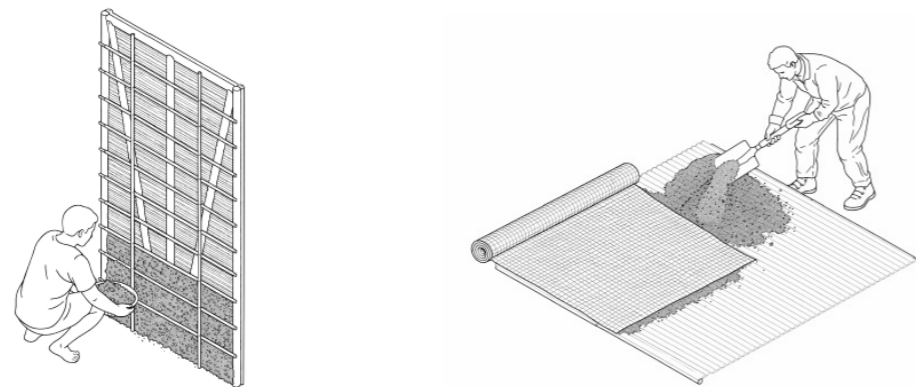


Fig 24. Mejora progresiva de cerramientos y confort térmico. *Elaboración propia.*

Reorganización y subdivisión de los espacios interiores

El sistema permite la incorporación de subdivisiones interiores mediante paneles básicos del catálogo, sin necesidad de alterar la estructura principal. Esta capacidad facilita la adaptación de la vivienda a distintos tamaños de unidad familiar, a la separación de usos diurnos y nocturnos o a cambios en la organización doméstica a lo largo del tiempo.

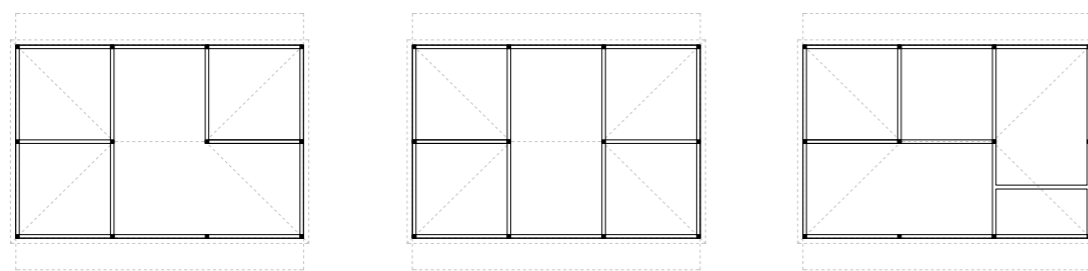


Fig 25. Alternativas de subdivisión de espacios. *Elaboración propia.*

Incremento de la privacidad y control ambiental

La adición de celosías o cubiertas ligeras sobre determinadas estancias permite mejorar la privacidad y regular la ventilación. Estas incorporaciones pueden realizarse de forma selectiva, en función de las necesidades específicas de cada familia y de la orientación de la vivienda.

Incorporación de elementos exteriores de sombra y transición

El prototipo admite la adición de elementos de sombra exteriores, como verandas, galerías o estructuras ligeras asociadas a las fachadas, reinterpretando dispositivos tradicionales de transición entre el interior y el exterior. Estos espacios intermedios refuerzan la habitabilidad, mejoran el comportamiento climático y amplían las áreas de uso cotidiano sin incrementar significativamente la complejidad constructiva.



Fig 26. Incorporación de elementos exteriores de sombra y transición. *Elaboración propia.*

Ampliación modular del conjunto

El sistema está preparado para crecer mediante la adición de nuevos módulos construidos con la misma lógica. Estas ampliaciones pueden destinarse a nuevas habitaciones, espacios de trabajo doméstico, cocinas o almacenaje, manteniendo la coherencia técnica y formal del conjunto. El crecimiento puede producirse extendiendo el módulo inicial o agregando módulos en el exterior, sin comprometer la estabilidad del modelo base.

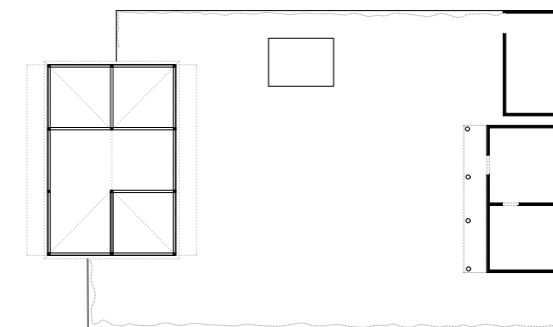


Fig 27. Ampliación modular del conjunto. *Elaboración propia.*

Otras mejoras compatibles con el sistema

Además de las transformaciones anteriores, el prototipo permite incorporar otras mejoras sin alterar su lógica estructural, como:

- la sustitución progresiva de elementos que se deterioren con el uso.
- la incorporación de sistemas sencillos de recogida de aguas pluviales.
- la mejora de las uniones o refuerzos estructurales a medida que se dispone de más recursos.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permite concluir que la adaptación de modelos de vivienda existentes al uso del bambú constituye una estrategia viable para mejorar la resiliencia climática y facilitar procesos de crecimiento progresivo en el contexto de Mozambique. El análisis del marco climático y habitacional evidencia que los modelos actuales, especialmente los de emergencia, resultan insuficientes para responder de forma duradera a la recurrencia de fenómenos extremos y a las dinámicas reales de uso y construcción de la vivienda.

El estudio del modelo de vivienda Swahili (a partir de las investigaciones de la UEM), ampliamente extendido en la zona de trabajo, ha permitido identificar referencias espaciales y formales reconocibles por la población local. Aunque el prototipo desarrollado no reproduce la vivienda tradicional, incorpora y reinterpreta algunos de sus principios y configuraciones, favoreciendo su adaptación al contexto y una mayor aceptación del cambio hacia nuevas soluciones habitacionales.

Asimismo, el análisis crítico de las soluciones habitacionales de emergencia pone de manifiesto sus limitaciones a medio y largo plazo, al centrarse en refugios temporales que no abordan las vulnerabilidades de fondo ni favorecen procesos de autonomía, participación comunitaria o fortalecimiento de capacidades locales. En este sentido, el trabajo refuerza la necesidad de avanzar hacia modelos que, más allá de la respuesta inmediata, integren resiliencia, apropiación y continuidad en el tiempo.

En este marco, el bambú se confirma como una oportunidad relevante por su disponibilidad local, su bajo coste y su compatibilidad con procesos constructivos participativos. La propuesta desarrollada plantea un sistema modular y crecedero que permite una implantación progresiva y adaptable, alineada con las posibilidades económicas de las familias y con las dinámicas propias del contexto mozambiqueño. El modelo ha sido contrastado y valorado positivamente por miembros de la comunidad y por asociaciones locales, a través de entrevistas y espacios de intercambio, cuyas aportaciones y propuestas de mejora han contribuido a ajustar el diseño y reforzar su adecuación al contexto social y cultural.

Líneas futuras de investigación y desarrollo

El carácter exploratorio del proyecto abre diversas líneas por las que podría continuarse y profundizarse el trabajo desarrollado.

Durante la estancia en Mozambique, las pruebas realizadas sobre las uniones se llevaron a cabo mediante ensayos físicos rudimentarios, consistentes en la aplicación manual de cargas de tracción y esfuerzo hasta comprobar su resistencia o fallo. Estas pruebas permitieron descartar soluciones ineficaces y consolidar un primer catálogo de uniones funcionales, pero no pudieron ofrecer datos cuantitativos precisos debido a la falta de medios técnicos y equipamiento especializado.

En este sentido, una línea futura fundamental sería la realización de ensayos controlados en laboratorio, que permitieran evaluar de manera rigurosa la resistencia, ductilidad y comportamiento frente a cargas dinámicas de las uniones seleccionadas. Estos ensayos aportarían una base científica más sólida para validar el sistema propuesto, optimizar las uniones existentes y, eventualmente, desarrollar soluciones híbridas que combinen técnicas tradicionales con refuerzos puntuales.

Otra línea de continuidad del proyecto es la colaboración directa con asociaciones y entidades locales. A lo largo del desarrollo del trabajo se han mantenido entrevistas y contactos con organizaciones que trabajan activamente en el ámbito de la vivienda, el bambú y la ayuda humanitaria, como ASSAMBA, el Mozambique Shelter Cluster, Ayuda en Acción y la Universidad Eduardo Mondlane. Estas entidades han mostrado interés en enfoques que integren resiliencia, uso de materiales locales y crecimiento progresivo, lo que abre la posibilidad de desarrollar el prototipo en contextos reales, ya sea mediante proyectos piloto, prototipos construidos o programas de capacitación comunitaria.

La colaboración con este tipo de organizaciones permitiría, además, adaptar el sistema a distintos escenarios específicos, incorporar el conocimiento práctico de técnicos y comunidades locales, y evaluar el comportamiento del prototipo a medio y largo plazo. De este modo, el proyecto podría trascender el ámbito académico y convertirse en una herramienta operativa dentro de procesos reales de reconstrucción y desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

ASHLEIGH, DAVIS. «Blooming Bamboo Home by H&P Architects». 2013. <https://www.dezeen.com/2013/09/25/blooming-bamboo-house-by-h-and-p-architects/>

ASSAMBA – ASSOCIAÇÃO DOS AMIGOS DO BAMBU. ASSAMBA Profile Presentation. s. f.

BRUSCHI, SANDRO; CARRILHO, JULIO; LAGE, LUIS. Era uma vez uma palhota. História da casa moçambicana. FAPF, Maputo, 2005. <http://www.architecture.uem.mz>

BRUSCHI, SANDRO; LAGE, LUIS; CARRILHO, JÚLIO. Pemba: as duas cidades. FAPF, Maputo, 2005. Editado por Faculdade de Arquitectura e Planeamento Físico da Universidade Eduardo Mondlane. <http://www.architecture.uem.mz/>

CANET, JUANA; CUENCA, RUT; GÓMEZ, ELENA. Tipologías constructivas nuevas con caña guadua. 2011.

CARRILHO, JULIO. Ibo: a casa e o tempo. FAPF, Maputo, 2005. http://www.uem.mz/faculdades/fapf/stam/base_ced.htm

CARRILHO, JÚLIO; BRUSCHI, SANDRO; MENEZES, CARLOS; LAGE, LUÍS. Traditional informal settlements in Mozambique: from Lichinga to Maputo. FAPF, Maputo, 2004. http://www.uem.mz/faculdade/fapf/stam/base_ced.htm

CASA CONVENTO / ENRIQUE MORA. <https://www.archdaily.cl/cl/759184/casa-convento-enrique-mora-alvarado>

ELÍAS NEULEN, JONATHAN. Arquitectura ecológica para el África subsahariana: un sistema de construcción modular y adaptable hecho de bambú y otras materias primas renovables. Tesis doctoral, Universidad de Ciencias Aplicadas de RheinMain, 2024.

MINKE, GERNOT. Building with Bamboo. 3rd ed. Birkhäuser, Basel, 2012.

MOZAMBIQUE SHELTER CLUSTER. Shelter Designs in the Northern Region of Mozambique. 2021. www.sheltercluster.org

PEMBA (MOZAMBIQUE) – WEATHER SPARK. <https://weatherspark.com/y/101529/Average-Weather-in-Pemba-Mozambique-Year-Round>

PROYECTO ESFERA. Carta Humanitaria y Normas Mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre. Sphere Project, 2011.

REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE; MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, HABITAÇÃO E RECURSOS HÍDRICOS (MOPHRH); GABINETE DE RECONSTRUÇÃO PÓS-CICLONES (GRE-POC). Programa de alojamiento pós-ciclones (PALPOC). 2019.

SALAS RUIZ, ADELA; GONZÁLEZ RODRIGO, BEATRIZ; BARBERO BARRERA, MARÍA DEL MAR; AMBROSIO, YOLANDA. Asesoría: implementación del componente de innovación del proyecto «Escuela Taller San Lorenzo (ETSL)». Madrid, 2021.

SEEDS INDIA. <https://www.seedsindia.org/>

SPECIFIC COUNTRY DATA | HUMAN DEVELOPMENT REPORTS. <https://hdr.undp.org/data-center/specific-country-data#/countries/MOZ>

TROPICAL CYCLONE CHIDO DEVASTATES MAYOTTE IN INDIAN OCEAN. <https://wmo.int/media/news/tropical-cyclone-chido-devastates-mayotte-indian-ocean>

UEM; FAPF. Catálogo de medidas técnicas: Ciclones. 1.ª edición. Maputo, 2014.

UN HABITAT. Building Climate Resilience in Mozambique. 2023. www.unhabitat.org

UN HABITAT. Hazard Mapping and Zoning: Cyclones, Earthquakes, Floods and Droughts. Maputo, 2015.

UN HABITAT; UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE. Developing Guidelines on School Safety and Resilient School Building Codes. Final Report. 2015.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). Moçambique: Perfil de Habitação. Maputo, 2018. <https://unhabitat.org>

FIGURAS

Todas las figuras incluidas en este trabajo han sido debidamente citadas en sus pies correspondientes. Los esquemas y dibujos han sido elaborados por la autora, salvo que se indique lo contrario.

ENTREVISTA A JONATHAN NEEN

Ponta do Ouro, 05/10/2025

- Para comenzar, ¿podrías presentarte y explicar brevemente en qué consiste tu proyecto y cuál es su objetivo principal?

Mi nombre es Jonathan Neen y estudio arquitectura en la Universidad de Ciencias Aplicadas de RheinMain, en Wiesbaden, Alemania. El año pasado realicé mi tesis centrada en la construcción con bambú. Se trata de un sistema modular basado en materiales biológicos, diseñado para ser resiliente y adaptable a distintas zonas climáticas del África subsahariana. El objetivo no era desarrollar una solución específica para un único lugar, sino un sistema flexible que pudiera ajustarse a diferentes contextos. Tras finalizar la tesis, construimos un primer prototipo en Ghana y, posteriormente, adaptamos el manual constructivo a un sistema de montaje tipo flat-pack para poder probarlo en Mozambique.

- ¿Cómo surgió tu interés por estudiar la resistencia del bambú frente a ciclones y fenómenos extremos?

El interés surgió alrededor de 2022 o 2023, cuando desarrollamos en la universidad un proyecto sobre una escuela resiliente de bambú en el norte de Mozambique. A partir de esa experiencia empecé a profundizar en el material. Siempre me ha interesado la construcción sostenible y, aunque al principio no quería centrarme solo en el bambú, con el tiempo entendí que tenía un potencial estructural enorme, especialmente si se resuelven correctamente las uniones.

- Desde tu experiencia, ¿existe suficiente investigación sobre el bambú como material estructural?

No, todavía no. Existe investigación, pero es limitada y poco accesible. En China, por ejemplo, se ha investigado bastante, pero gran parte de ese conocimiento no se publica. Si tenemos en cuenta que existen alrededor de 1.500 especies de bambú con potencial constructivo, queda muchísimo trabajo por hacer, sobre todo en ensayos de material y de uniones.

- En tu tesis analizas distintas regiones climáticas. ¿Cómo realizaste ese análisis?

El análisis se centró en todo el África subsahariana. Utilicé datos del Servicio Meteorológico Alemán (DWD), que dispone de estaciones en distintas partes del mundo. A partir de los diagramas climáticos comparé diferentes zonas y concluí que, al sur del Sáhara, pueden identificarse tres grandes zonas climáticas que deben tenerse en cuenta en el diseño arquitectónico. Mozambique, en concreto, presenta varias estaciones climáticas registradas, lo que lo convierte en un contexto muy interesante para este tipo de estudios.

- Desde el punto de vista estructural, ¿cuáles dirías que son las principales ventajas del bambú frente a materiales convencionales?

Una de sus principales ventajas es su flexibilidad. En comparación con la madera del mismo tamaño, el bambú puede ser entre tres y cinco veces más resistente a compresión, y en tracción puede comportarse casi como el acero. Además, crece muy rápido, lo que lo convierte en un recurso renovable y disponible. Su ligereza facilita el transporte y el montaje y, si se selecciona bien, se obtiene un material bastante recto y homogéneo.

- ¿Y cuáles serían sus principales desventajas?

La forma redonda e irregular es una de las principales dificultades, ya que nunca se sabe exactamente qué calidad tiene una caña hasta que se corta. Las uniones son complejas y requieren soluciones específicas para cada caso. Además, el bambú puede fisurarse fácilmente si se atornilla sin cuidado.

- ¿Has estudiado uniones que no utilicen metal?

Sí, existen soluciones con pasadores de bambú o madera, insertos y amarres con cuerdas, que funcionan

bien en contextos tradicionales. Sin embargo, cuando se emplean conectores de acero se obtienen uniones mucho más resistentes y, sobre todo, calculables. En zonas expuestas a vientos extremos, considero que el acero ofrece una mayor seguridad estructural.

- ¿Qué factores climáticos afectan más a las construcciones de bambú?

Principalmente el agua y el sol. La lluvia y las inundaciones son críticas, por lo que es fundamental proteger el bambú del contacto con el suelo, elevar la estructura sobre una base de piedra u hormigón y diseñar cubiertas con grandes aleros. En zonas inundables, la elevación debe ser aún mayor. El sol también degrada el material con el tiempo.

- ¿Existen tratamientos eficaces para proteger el bambú?

Sí, se pueden utilizar pinturas con protección UV o aceites naturales, como el aceite de linaza. El tratamiento es esencial para alargar la vida útil del material y reducir el mantenimiento.

- ¿Has trabajado con especies de bambú concretas?

No me he centrado exclusivamente en una sola especie, pero puedo destacar el *Bambusa vulgaris*, que presenta una muy buena resistencia a tracción. En ensayos realizados alcanzó valores de entre 18 y 22 kN, muy superiores a los de otras especies como la *Guadua*. Además, es una especie ampliamente distribuida en África, aunque requiere un buen control durante su crecimiento.

- ¿Cómo influyen las condiciones climáticas en las decisiones de forma y orientación arquitectónica?

Es importante evitar grandes superficies expuestas directamente a la dirección dominante del viento. En lugares costeros, como Ponta do Ouro, muchos edificios reciben toda la carga del viento al orientarse hacia el mar. Las formas redondeadas funcionan mejor en estos casos, aunque las plantas cuadradas o rectangulares también pueden funcionar si se orientan adecuadamente y se diseñan bien los huecos. Además, estas plantas facilitan futuras ampliaciones.

- ¿Cuáles consideras que son los puntos más débiles del bambú en construcción?

Las uniones son siempre el punto más vulnerable. Es importante no perforar demasiado cerca de los extremos de las cañas y mantener una distancia mínima de unos 15 cm, procurando además que haya nodos en las zonas de conexión. También es fundamental un buen sistema de arriostramiento para absorber las cargas horizontales.

- ¿Qué estrategias propones para aumentar la resiliencia estructural?

El uso de marcos triangulados, rigidizadores y anillos superiores (ring beams) de bambú partido funciona muy bien. Estas soluciones estabilizan la estructura y permiten aprovechar piezas descartadas. Además, la resiliencia del bambú no está solo en su resistencia, sino también en su capacidad de regeneración: las piezas dañadas pueden sustituirse con rapidez.

- ¿Qué papel juega el mantenimiento en este tipo de construcciones?

Es fundamental. El bambú debe tratarse periódicamente, normalmente cada dos años, dependiendo de la exposición solar. En el caso de cubiertas vegetales, estas deben renovarse para evitar filtraciones que dañen la estructura.

- Para finalizar, ¿cuáles dirías que son los criterios más importantes para resistir ciclones?

Una estructura principal bien rigidizada, una correcta protección frente al agua y al sol, y una cubierta bien diseñada. Las cubiertas ventiladas son esenciales para evitar el sobrecalentamiento, y los aleros deben diseñarse con cuidado, ya que si son demasiado grandes deben anclarse directamente a la cimentación. El punto más crítico suele ser la unión entre la estructura y el suelo, que debe resolverse con especial atención.

ENTREVISTA A SHELTER CLUSTER (CABO DELGADO)

Ponta do Ouro, 05/11/2025

Participantes: Alice Bano (Coordinación Shelter Cluster), Dario Julio Cardoso Fumo (técnico)

- Para situarnos, ¿podrías explicar brevemente cuál es el enfoque de Shelter Cluster en Cabo Delgado y el tipo de soluciones que implementáis?

Alice Bano: Trabajamos principalmente en respuesta humanitaria, a menudo en coordinación con IOM y su departamento de emergencia. Eso significa que, en muchos casos, nuestra intervención se centra en albergos de emergencia y en contextos como centros o campos de reasentamiento. Al mismo tiempo, por la experiencia acumulada (incluyendo eventos climáticos extremos recientes), estamos intentando avanzar hacia soluciones más durables y más estables, siempre dentro de las limitaciones propias de la emergencia: costes bajos, escalabilidad y rapidez de ejecución. Además, hay un punto clave: la sostenibilidad para nosotros no es solo “que dure”, sino que sea mantenible y reproducible por la comunidad cuando ocurre un ciclón y toca reconstruir.

- Cuando habláis de sostenibilidad en vuestro contexto, ¿qué significa exactamente?

Alice Bano: Significa, sobre todo, que la comunidad pueda autorreparar y autoreconstruir. Cuando pasa un ciclón, si el abrigo está hecho con materiales disponibles localmente, muchas familias se reorganizan y reconstruyen con lo que tienen. En cambio, si dependes de materiales caros o externos (por ejemplo, cemento en grandes cantidades), eso puede bloquear la reproducción del modelo. Por eso buscamos un equilibrio difícil: material local, coste, aceptación y mejora técnica.

- ¿Qué materiales son los más habituales en vuestras soluciones actuales?

Alice Bano: Trabajamos principalmente con materiales naturales y locales. No somos un actor de desarrollo, así que no hacemos vivienda “de cemento”. En cubiertas, por ejemplo, usamos lonas en algunos casos, y también se aceptan soluciones con chapa combinada con capim (cubierta vegetal), dependiendo del modelo y del contexto.

- En relación con el bambú, ¿qué disponibilidad y qué características tiene el bambú local en Cabo Delgado?

Dario Julio Cardoso Fumo: El bambú que encontramos aquí comúnmente es el bambú vulgaris. El diámetro máximo que solemos encontrar es de aproximadamente 5 cm. No es frecuente encontrar diámetros mayores de especies nativas, pero se están empezando a introducir otras especies que tienen diámetros de unos 10 cm.

- ¿Entonces el principal problema para usar bambú como estructura es la sección/diámetro?

Dario Julio Cardoso Fumo: Sí. En formaciones como la de ASAMBA, vimos sistemas con bambús más gruesos, más resistentes, ya que están usando esas especies introducidas. En nuestro caso, al ser más fino, para conseguir rigidez o capacidad portante hay que adaptar soluciones, por ejemplo agrupando varios bambús para formar un solo pilar.

- Más allá de la resistencia, ¿qué otros límites veis para llevar estas técnicas a un contexto humanitario?

Dario Julio Cardoso Fumo: Un límite es que estas soluciones requieren herramientas más específicas, incluso eléctricas, para perforar, ajustar, y hacer ciertos detalles de unión. En muchas comunidades se trabaja con herramientas manuales (por ejemplo, katana) y no siempre se usan herramientas de corte más preciso o perforación. Eso afecta la replicabilidad.

- ¿Existen criterios constructivos básicos imprescindibles con bambú en este clima?

Dario Julio Cardoso Fumo: Sí: el bambú no debe tener contacto directo con la tierra. Debe quedar elevado o protegido, porque si no se degrada más rápido y es más vulnerable a humedad y plagas.

- En términos de financiación humanitaria, ¿cómo condiciona esto las decisiones de diseño?

Alice Bano: Muchísimo. En emergencia trabajas con números grandes: hay que construir muchos albergos con presupuesto limitado. El ejemplo típico es que con el dinero para una solución muy completa puedes hacer muchos albergos básicos.

- ¿Cómo influye la aceptación comunitaria en el tipo de abrigo que se propone?

Alice Bano: En los centros de reasentamiento y en comunidades, las personas tienden a no aceptar bien soluciones excesivamente transitorias. Por eso buscamos un punto intermedio: que siga siendo una respuesta rápida y económica, pero que sea más estable y con mejores prestaciones frente a lluvias y eventos extremos.

- Habéis mencionado formación con ASAMBA. ¿Qué buscabais con esa colaboración?

Alice Bano: Justamente explorar mejoras para nuestros albergos en Cabo Delgado. Además, sus modelos pueden ser muy buenos técnicamente, pero necesitamos una respuesta adaptada a: materiales disponibles aquí, lógica de emergencia (tiempos y coste), y aceptación comunitaria.

- Un tema crucial es la durabilidad: ¿qué problema principal tenéis con el bambú?

Alice Bano: Las plagas. Aquí hay “bichos” que comen el bambú, y sin tratamiento puede durar muy poco, a veces seis meses si tienes suerte. Por eso nos interesa aplicar tratamientos naturales viables.

- ¿Qué métodos de tratamiento considerarías aplicables?

Dario Julio Cardoso Fumo: Hay varios:

- Inmersión en agua (río con agua en movimiento): la intención es retirar el azúcar del interior del bambú, que atrae a insectos y organismos.
- Tratamiento con humo/calor (tipo “ahumado” o “bafo”): el humo ayuda a reducir o alterar componentes que atraen plagas.
- Enterrado en agua (en una excavación): funciona, pero el problema es el tiempo, puede ser uno o dos meses. También se mencionó el tratamiento con agua de mar, que se está considerando en zonas costeras.
-

- Desde vuestra experiencia, ¿tiene sentido una estrategia de “abrigo evolutivo”, que empiece como emergencia y se refuerce para resistir ciclones?

Sí, esa lógica nos interesa. De hecho, ya formamos a artesanos locales para que puedan ampliar de uno a dos cuartos y crecer. Pero el salto que planteas es interesante: no solo crecer en superficie, sino reforzar la estructura para que la inversión no se pierda con el siguiente ciclón. Ahí el gran tema es el material y cómo mantenerlo dentro de una lógica humanitaria (tiempo y coste).

- Si se propone un sistema mixto (bambú + materiales tradicionales como barro o capim), ¿podría ayudar a bajar costes manteniendo un enfoque local?

Alice Bano: En principio, sí: si el objetivo es mantener material local y una solución “full natural” en lo posible, nos interesa.

