



SISTEMA MODULAR ENCEMENTADO



Gobierno de
México

Desarrollo Territorial
Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano





Subdirección General de Análisis de vivienda,
Prospectiva y Sustentabilidad

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu)

Dra. Edna Elena Vega Rangel

Secretaria de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano

Licda. Griselda Martínez Vázquez

Subsecretaria de Ordenamiento Territorial y Agrario

Dr. Víctor Hugo Hofmann Aguirre

Subsecretario de Desarrollo Urbano y Vivienda

Comisión Nacional de Vivienda (Conavi)

Lic. Rodrigo Chavéz Chavéz

Director General de la Comisión Nacional de Vivienda

Adriana Virginia Ayuso Vázquez

Subdirectora General de Análisis de Vivienda, Prospectiva y Sustentabilidad

Ing. Arq. Raúl Herrera Herrera

Subdirector General de Operación y Seguimiento

Lic. David May Flores

Subdirector General de Asuntos Jurídicos, Legislativos y Secretariado Técnico

Licda. Julieta Cortés Fragoso

Subdirectora General de Administración y Financiamiento

La elaboración de esta publicación fue posible gracias a la colaboración de Bambuterra, S.A.P.I. de C.V.

M.I. Verónica María Correa Giraldo

M. Arq. Álvaro Regatero Ortiz-Cañavate

Investigación, adaptación e iconografía

Ing. Arq. José Raúl Pacheco Carranco

Ing. Arq. Itzby Jocelyn Magallanes Torres

Ing. Óscar Carpio García

Lic. Juan Carlos Roldán Chimal

Lic. Luis Guillermo Sánchez Monzon

Corrección de diseño e imagen

Lic. Erick Fernando Rivera Pacheco

Equipo de Difusión y Vinculación Conavi

www.sedatu.gob.mx

www.conavi.gob.mx

Esta publicación puede ser utilizada con fines de orientación, educativos e informativos, siempre que se cite la fuente y no se comercialicen sus contenidos.

Hecho en México, diciembre 2024.

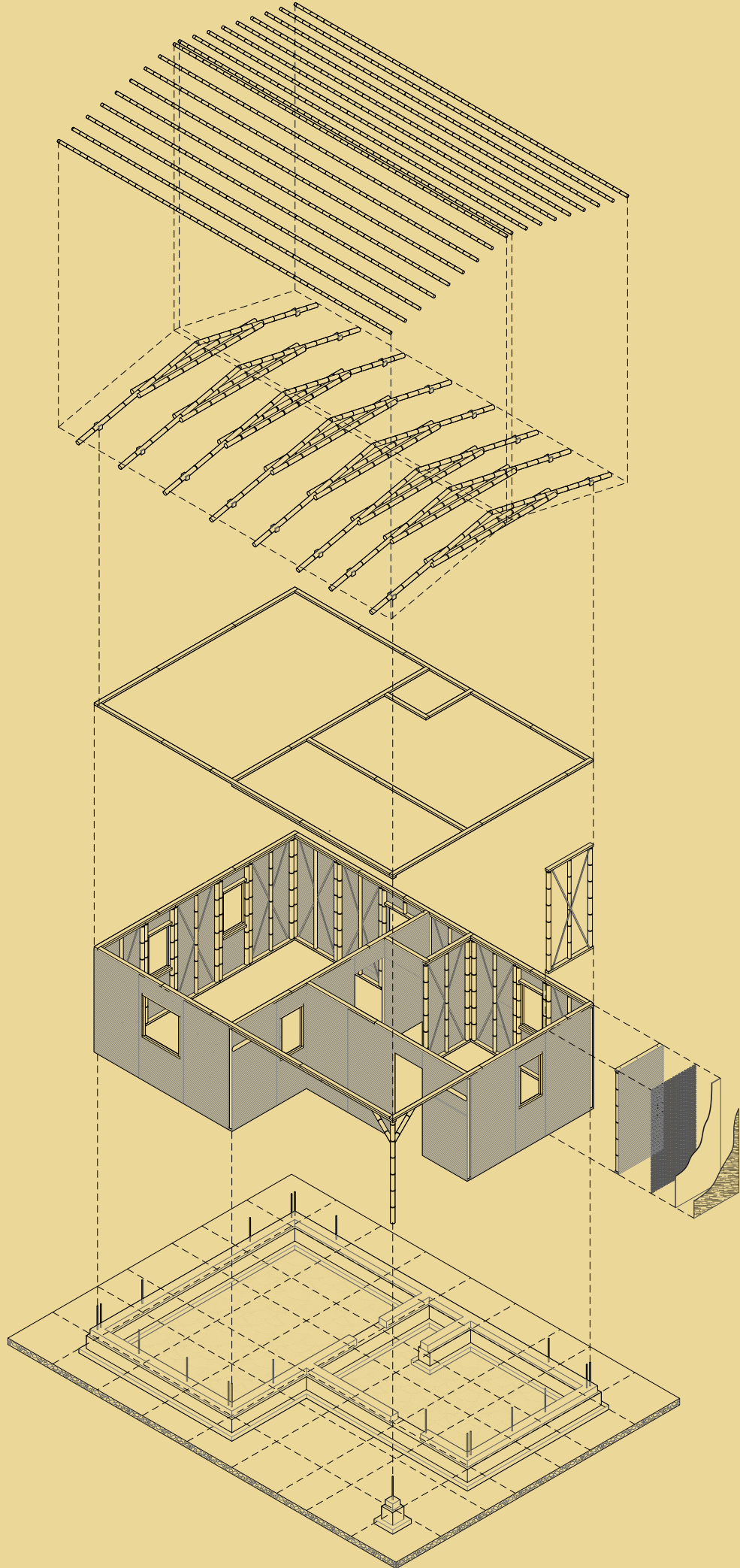


Gobierno de
México

Desarrollo Territorial
Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano



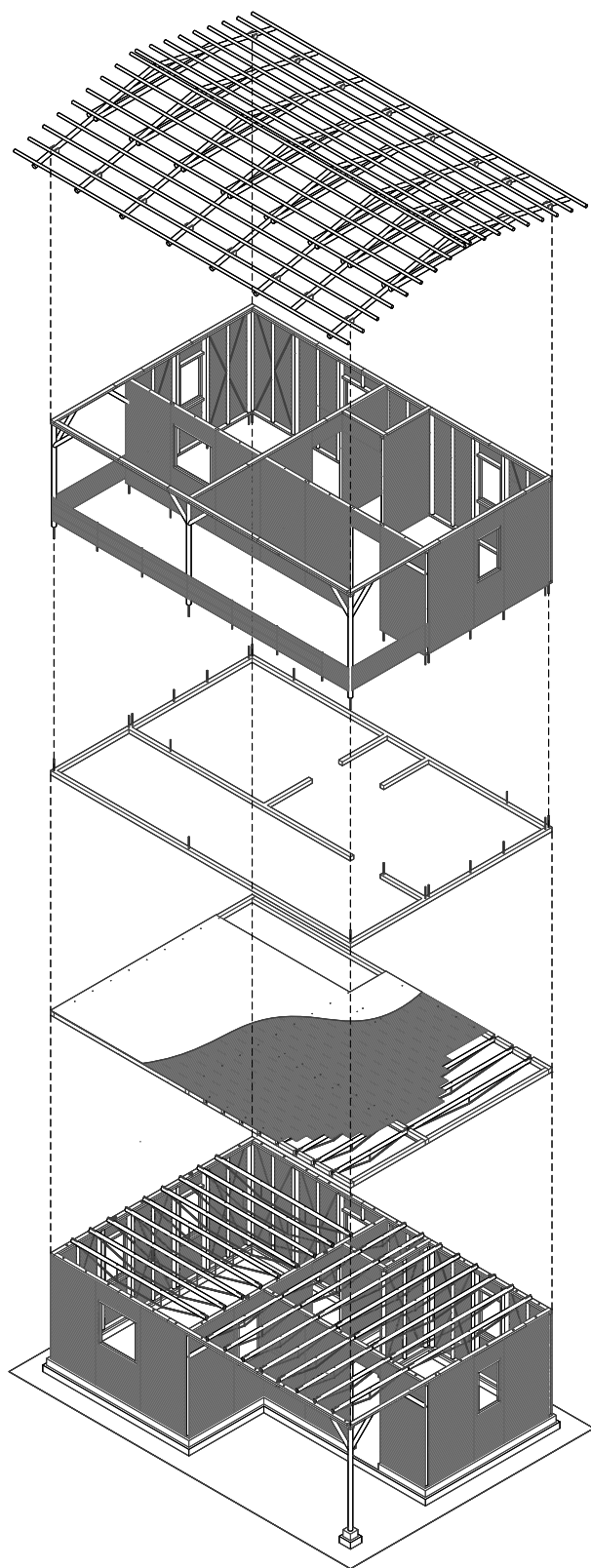
BAMBUTERRA



INDICE

1	INTRODUCCIÓN
2	EL BAMBÚ Y SU USO HISTÓRICO EN LA VIVIENDA
3	DESCRIPCIÓN Y VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN BAMBÚ
4	SISTEMA CONSTRUCTIVO
5	CIMENTACIÓN
6	SOBRECIMIENTO Y DALA DE DESPLANTE
7	MUROS
8	MUROS ESTRUCTURALES
9	MUROS NO ESTRUCTURALES
10	COLUMNAS ADICIONALES
11	INSTALACIÓN Y NIVELACIÓN DE PÁNELES
12	BARROTE DE CERRAMIENTO
13	CUBIERTA
14	INSTALACIONES
15	RECUBRIMIENTO
16	REPELLADO
17	ACABADOS
18	MANTENIMIENTO
19	CRECIMIENTO EN ALTURA
20	DESMONTAJE DE CUBIERTA
21	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENTREPISO
22	DALA DE DESPLANTE
23	FINALIZACIÓN DE CRECIMIENTO EN ALTURA
24	REFERENCIAS

SISTEMA MODULAR ENCEMENTADO



El sector de la construcción es responsable de por lo menos el 37% de las emisiones globales de gases efecto invernadero, del consumo del 36% de la energía global y de la generación de aproximadamente el 50% de los residuos sólidos en el planeta. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (www.unep.org), ha establecido para el sector de la construcción la responsabilidad de reducir anualmente el 7.6% de sus emisiones para contribuir a la meta global de estabilizar la temperatura del planeta y con ello reducir las fatales consecuencias de continuar con la inercia actual de las actividades humanas que contribuyen al calentamiento global (United Nations Environment Programme, 2023). Para lograr alcanzar la meta de cero emisiones de carbono neto en el 2060, la industria deberá enfocarse en usar las mejores tecnologías para la descarbonización de los materiales y sistemas convencionales, y además, introducir sistemas constructivos a base de madera y bambú que tienen carbono biogénico incorporado, es decir, que antes de convertirse en materiales de construcción, fueron plantas que transformaron CO₂ en oxígeno fijando carbono en su materia.

Los sistemas tradicionales de vivienda basados en el uso de biomateriales han demostrado ser los más sustentables en términos ambientales. Cuando estos se combinan adecuadamente con materiales de origen industrial logran convertirse en soluciones idóneas en términos económicos, ambientales, sociales y tecnológicos.

Este documento presenta una propuesta que integra el rescate del bambú mexicano como material estructural de construcción, que en una combinación ingenierizada con otros materiales convencionales (madera, acero, mortero de cemento y concreto reforzado) propone una solución tecnológica adaptable a las distintas necesidades de la vivienda social para México.



Modelo de vivienda para clima cálido, Laboratorio de vivienda INFONAVIT - Del territorio al habitante. (Fotografías J. Navarro). A. Vista frontal. B. Interior en planta baja. C. Interior en planta alta.

EL BAMBÚ Y SU USO HISTÓRICO EN LA VIVIENDA

El uso del bambú en México y el continente americano se remonta a tiempos prehispánicos, donde tuvo diversas aplicaciones (Mejía-Saulés 2022). Actualmente se tiene un registro de más de 1,500 usos y se estiman más de 10,000 usos en el mundo (Li *et. al.*, 2022). En México, varias de las especies nativas de los géneros *Guadua* y *Otatea* han sido utilizadas en la construcción de viviendas empleando para los muros la técnica de bajareque (Juárez y Márquez 1992, Terán Guerrero *et al.* 2016, Cruz-Armendáriz *et. al.*, 2023). En el caso de las cubiertas, ha sido muy común el uso de sistemas a base de armaduras para techos a dos aguas, soportando sistemas que van desde lo más ligero (paja, palma, techos de lámina) hasta cubiertas pesadas a base de tejas de barro.



Vivienda maya, Acanceh, Yucatán. (Fotografía L. Guerrero).

El bajareque, también conocido como bahareque, quinchá, enjarre o embarrado es una técnica constructiva que emplea un entramado de cañas (bambú), varas o mimbres y lodo, utilizando el material vegetal como estructura de soporte en la construcción (Guerrero Baca 2007, 2017). Esta técnica que se remonta a hace más de 7,000 años (Ruiz-Sánchez *et. al.*, 2023) ha sido utilizada por diversas sociedades prehispánicas, cuya práctica se extendió hasta la segunda mitad del siglo XX en países como Brasil, Colombia, Ecuador, El Salvador, México, Perú y Venezuela, y ha sido empleada para la construcción de muros, techos y cubiertas en diferentes tipos de climas (Juárez y Márquez 1992, Lopes y Ino 1998, Guerrero Baca 2007, 2017, Sánchez Gama 2007, López Pérez y Ruiz Valencia 2010, Henneberg de León 2012, García Urdánigo y Zambrano Álvarez 2017).



Casa Huano, Maní, Yucatán. (Fotografía Mag21).

De acuerdo con el trabajo de Ruiz-Sánchez *et. al.* (2023), en México se tiene evidencia del uso de bambú en vivienda en diferentes regiones donde existe bambú nativo (*Guadua amplexifolia*, *Guadua paniculata*, *Guadua velutina*, *Otatea acuminata* y *Otatea fimbriata*) que crece de forma natural, en distintas regiones de los estados de Colima, Jalisco, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí, Veracruz y la zona maya, entre otros. Algunos ejemplos donde podemos encontrar esta técnica son los siguientes:

La casa de huano (nombre común de la hoja de una palma típica de la zona maya) se refiere a la casa maya tradicional, cuya antigüedad data del año 1000 D.C. y en la cual se ha encontrado evidencia del uso del bambú como componente constructivo y estructural (Nalda y Balanzario, 1997).

En el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, se utiliza *Guadua amplexifolia* en la construcción de muros de bajareque.

Las comunidades locales de la huasteca potosina utilizan el “otate” o “tzajib” (*Guadua velutina*) para sus viviendas con la técnica del bajareque (Ruiz-Sánchez *et. al.*, 2023).

El sitio arqueológico de Los Guachimontones que tiene entre 1,500 y 2,400 años de existencia es el lugar más antiguo de México donde se ha encontrado evidencia del uso de bambú en la construcción de viviendas de bajareque (Ruiz-Sánchez *et. al.*, 2023) y se presume que la especie utilizada fue *Otatea acuminata*.



Detalle de muro de bajareque construido con *Guadua amplexifolia*, Santo Domingo Zanatepec, Oaxaca (Fotografía E. Ruiz-Sánchez).



A



B



C



D

A. Vivienda de bajareque, región Huasteca Potosina (Fotografía D. Cruz-Armedáriz), B. Techo construido con *Guadua velutina*, región Huasteca Potosina (Fotografía E. Ruiz-Sánchez), C y D. Fragmentos de bajareque de la zona arqueológica de Los Guachimontones, Jalisco (Fotografía E. Ruiz-Sánchez).

En el contexto internacional, en la región cafetera colombiana existen más de mil pueblos construidos en el siglo XIX con bahareque de tierra y guadua (un género americano de bambú muy popular para construcción) cuyas viviendas se encuentran aún habitadas, algunas de estas con más de 150 años de antigüedad.

El bahareque encementado es considerado por muchos como el sistema más avanzado dentro de la familia de los bahareques tradicionales (AIS, 2002). Se trata de un sistema de muros estructurales construidos a partir de un entramado ligero de guadua, madera o ambas. Los entramados están recubiertos en una o ambas caras con esterilla de guadua o malla metálica troquelada (malla venada) que sirve como soporte para el revoque o repellado de mortero de cemento que termina recibiendo un acabado final de pintura vinílica o acrílica. Varios propietarios de casas y edificios de bahareque de tierra, con el paso del tiempo han decidido cambiar el acabado exterior original de tierra y cal a mortero de cemento arena por su mayor durabilidad a la intemperie.

Actualmente Colombia tiene una política pública de vivienda con un gran énfasis en el rescate de la Guadua como material para construcción de viviendas rurales usando la técnica del bahareque encementado, basada en la Ley 2206 del 2022 (Ley de la Guadua), y los títulos G (Estructuras de madera y estructuras de Guadua) y E (Casas de uno y dos pisos) del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Rincón González (2023) reporta distintos modelos contemporáneos de viviendas rurales que han sido diseñados atendiendo las necesidades de las comunidades, el clima y los presupuestos objetivo. Estos modelos proponen el rescate de la arquitectura vernácula con bambú en el eje cafetero colombiano como propuesta idónea de resiliencia, sustentabilidad y reapropiación cultural y tecnológica para los proyectos de vivienda social que actualmente son impulsados por el gobierno nacional.



Vivienda bahareque, Manizales, Colombia (Fotografía Banco de la Republica de Colombia).



Modelo de Casa Campesina para el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (Confederación Suiza - Cooperación Económica y Desarrollo SECO, Innpulsa, Fedeguadua y Universidad Tecnológica de Pereira UTP), Pereira, Colombia. (Fotografía C. Rincón González).



Piloto de vivienda rural para el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (Gobernación de Caldas y Universidad Católica de Pereira), Chinchiná, Colombia. (Fotografía C. Rincón González).

En Ecuador, recientemente se han activado modelos de alianzas público-privadas para el desarrollo en la cadena de la construcción con bambú (Pinto *et. al.*, 2024) con resultados muy prometedores que han permitido fortalecer asociaciones de productores de bambú y generar experiencias positivas de construcción parcial y total de miles de viviendas rurales y urbanas, gracias al apoyo de la Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR) y de la Cooperación Española.

En Costa Rica el Proyecto Nacional de Bambú construyó entre 1986 y 1996 alrededor de 5400 viviendas rurales con bahareque encementado, las cuales se encuentran actualmente operativas y en la mayoría de los casos, en un muy buen estado.



Piloto de vivienda rural para el Paisaje Cultural Cafetero de Colombia (Gobernación de Caldas y Universidad Católica de Pereira), Chinchiná, Colombia. (Fotografía C. Rincón González).



Tipología de vivienda con bambú dentro del Plan Nacional de Hábitat y Vivienda 2021-2025, Ecuador. (Fotografía INBAR).



Casa de bahareque encementado, Proyecto Nacional de Bambú, Costa Rica. (Fotografía Sebastián Kaminski)

Finalmente, el proyecto Base Bahay en Filipinas, que a la fecha ha construido más de 1500 viviendas de uno y dos niveles usando la técnica del bahareque encementado, busca articular una cadena productiva de alto impacto con capacidad para construir por lo menos 1000 viviendas cada año a partir del 2025 en una alianza multisectorial ejemplar.

Los ejemplos citados corresponden a la nueva era de la construcción resiliente y sustentable de vivienda prefabricada con bambú, basada no solo en las validaciones de la arquitectura vernácula, sino también en un creciente número de estudios técnicos. Sus resultados ya están especificados en normas internacionales como la ISO:22156 (2021, y se adaptan rápidamente a los estándares nacionales de países como España, Reino Unido, Filipinas, Colombia y México.



Vivienda de dos niveles, proyecto Base Bahay Foundation, Inc., Davao, Filipinas. (Fotografía Base Bahay Foundation, Inc.).

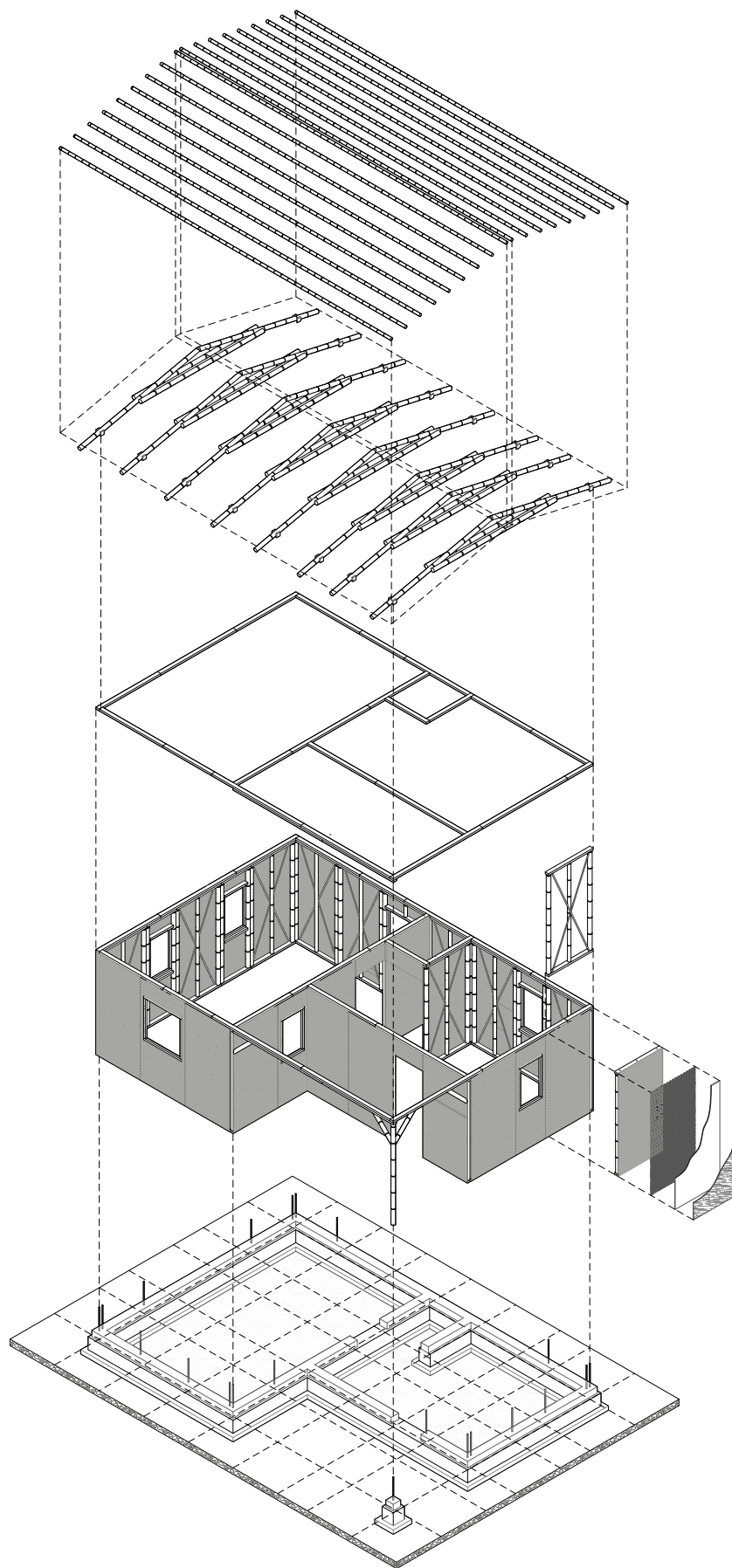


Don Jose Berenguer Bamboo Village, proyecto Base Bahay Foundation, Inc., Davao, Filipinas. (Fotografía Base Bahay Foundation, Inc.).

DESCRIPCIÓN Y VENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN BAMBÚ

La construcción con bambú tiene un enorme auge a nivel mundial en la actualidad debido a su excelente comportamiento estructural ante sismos y huracanes, la ligereza de las construcciones, la propuesta estética y las grandes ventajas en términos de sustentabilidad con respecto a otros materiales, incluyendo la madera. Algunas ventajas de construir con bambú son:

- Apoyas a silvicultores mexicanos cuya economía gira en torno a la cosecha y comercialización de culmos maduros para construcción. **En México hay cerca de 15,000 hectáreas productivas de bambú leñoso** útil para la construcción, que actualmente se aprovecha a una muy baja demanda, y se presume que en la próxima década se duplique la oferta de bambú dado el incremento constante de cultivos comerciales. **La capacidad productiva actual de bambú en México podría satisfacer una demanda anual constante de hasta 75,000 unidades de vivienda de 50m² de área construida en promedio.**
- Contribuyes al fortalecimiento de la cadena productiva del bambú al adquirir componentes prefabricados de alta calidad para la construcción, los cuales son fabricados por emprendedores rurales.
- Reduces el tiempo de construcción de tu casa a la mitad. Podrás construir tu casa en pocas semanas, ya que alguien más va a trabajar en la prefabricación de los componentes mientras tú trabajas en la cimentación y las obras de instalaciones.
- Reduces los costos de reparación de tu casa después de la ocurrencia de sismos o huracanes de mediana y gran intensidad. Se ha demostrado en múltiples casos (en México, Colombia, Ecuador y Filipinas) que las viviendas construidas con este sistema constructivo a base de bambú, son estructuralmente más resilientes, es decir, que sufren poco o ningún daño después de la ocurrencia de eventos naturales de gran magnitud. (Correa Giraldo et. al., 2022).
- Reduces la contaminación del aire, el agua y el suelo del planeta mientras construyes tu casa. Al ser una planta, el bambú limpia la contaminación del aire, el agua y el suelo que se genera por la fabricación de otros materiales y por todas las actividades humanas. (Rincón González, 2023)
- Contribuyes al ahorro de recursos renovables (como la madera) y especialmente de recursos no renovables y con ello a la conservación de los mismos para las futuras generaciones.



SISTEMAS PREFABRICADOS MODULARES

En términos de construcción con bambú y madera se ha demostrado que la prefabricación es la mejor estrategia en cuanto a la calidad, seguridad estructural y economía. Es así como es posible resolver el sistema de muros mediante paneles prefabricados que se conectan a la cimentación y entre sí con soluciones muy simples, y que reciben al sistema estructural de entepiso o cubierta para finalmente realizar mínimos trabajos en sitio usando técnicas convencionales para el repellado de los muros y el colado del firme de las losas, con mortero y concreto a base de cemento.

Ambos sistemas pueden comprarse a distribuidores o bien, ser prefabricados en el sitio siguiendo algunos requisitos de calidad.

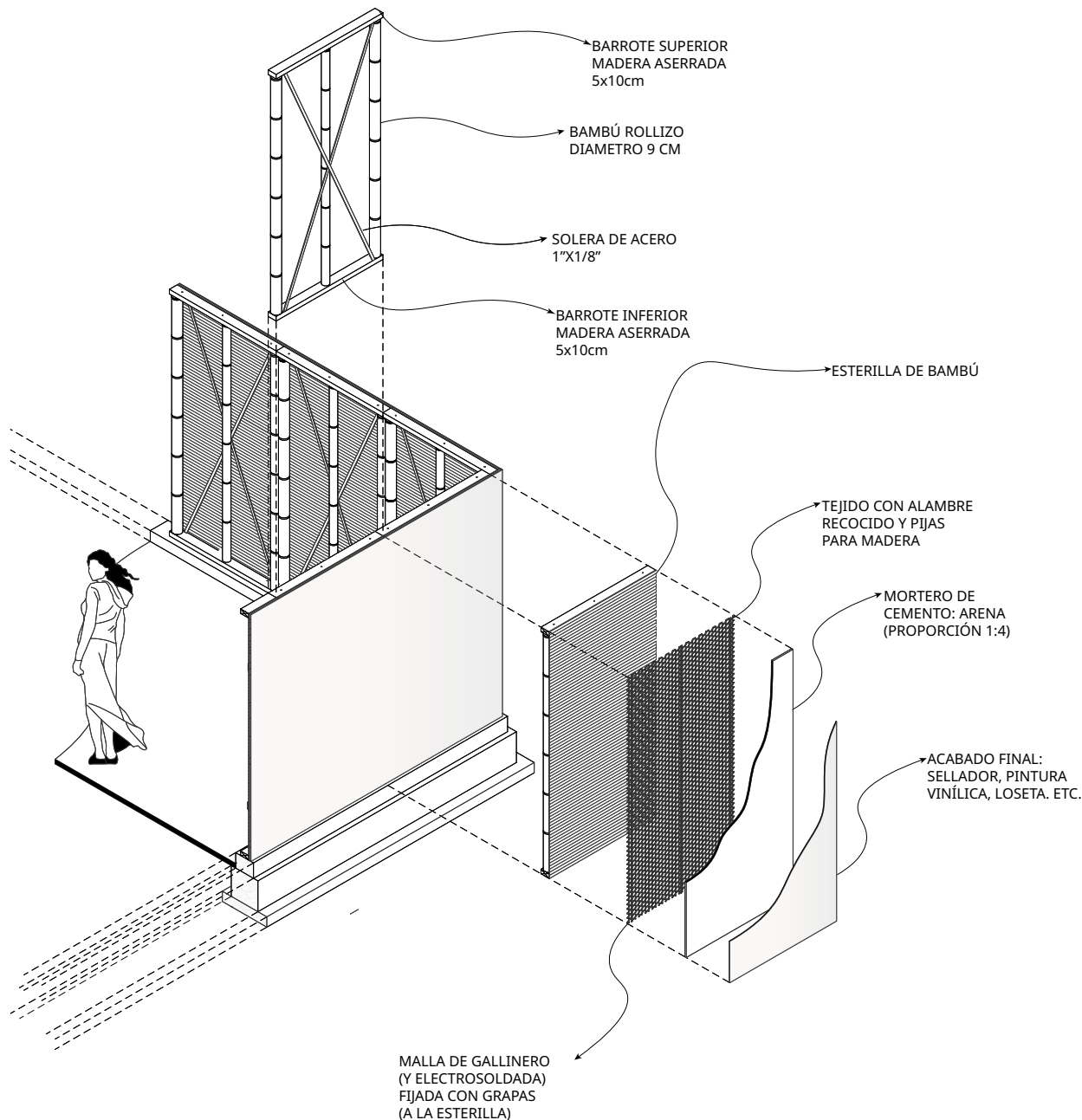


Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

SISTEMA MODULAR PREFABRICADO PARA MUROS, PUERTAS Y VENTANAS

Con este sistema a base de paneles prefabricados (estructurales y no estructurales), puedes resolver íntegramente el sistema de muros, puertas y ventanas, que se instalan de manera individual para después conectarse entre sí conformando un sistema estructural continuo y seguro para viviendas y edificaciones de hasta tres niveles.

Este sistema está diseñado para adaptarse a distintas necesidades: uso, acabados, presupuesto y demanda estructural y satisface todos los requisitos técnicos del capítulo 12 de la Norma ISO 22156:2021 Estructuras de bambú - Cañas de bambú - Diseño Estructural.

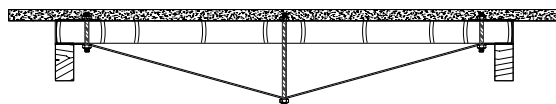


SISTEMA PREFABRICADO PARA LOSAS Y TECHOS CON VIGUETAS PRESFORZADAS DE BAMBÚ

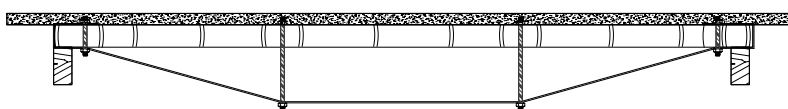
Las viguetas presforzadas tienen dos configuraciones geométricas de acuerdo a los claros entre apoyos. En el caso de claros mayores a 3 metros, es más eficiente usar la configuración trapezoidal, en claros menores a 3 metros la configuración triangular es suficiente.

Las viguetas se instalan en un arreglo en paralelo, con separaciones que pueden ir de 40 a 80 cm (de acuerdo con lo que resulte del diseño estructural), para recibir cualquier sistema de losa o cubierta.

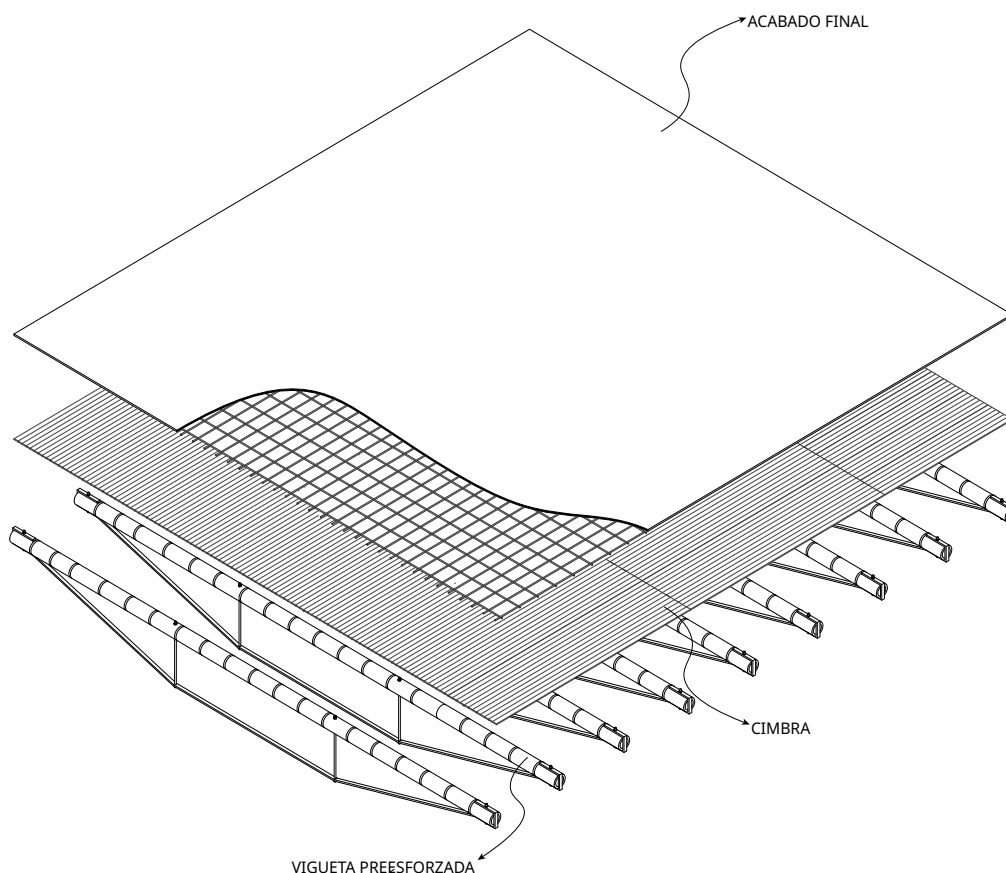
En el caso de losas, lo más práctico es usar un firme de compresión de concreto reforzado. En el caso de cubiertas, la separación de las viguetas dependerá del producto o solución que se decida instalar.



Vigueta presforzada para claros menores a 3 metros.



Vigueta presforzada para claros entre 3 y 6 metros.



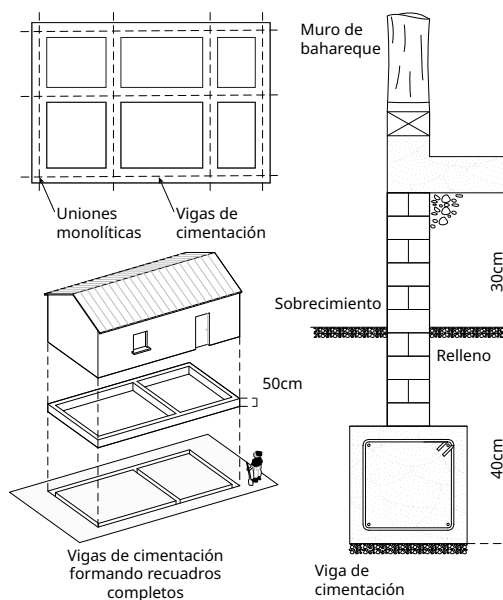
CIMENTACIÓN

La cimentación sirve para repartir adecuadamente el peso de los muros, columnas, losas y techo al terreno, y además cumple la función de aislar al sistema de la humedad del subsuelo por efectos de capilaridad, encharcamientos o inundaciones. Dependiendo de la capacidad de carga del terreno, la cimentación puede ser a base de losa de cimentación con contratraveses, vigas de cimentación de concreto armado con un ancho no menor de 1.5 veces el ancho del muro formando anillos rectangulares cerrados, o bien zapatas corridas. El concreto debe tener una resistencia mínima de 250 kg/cm^2 .

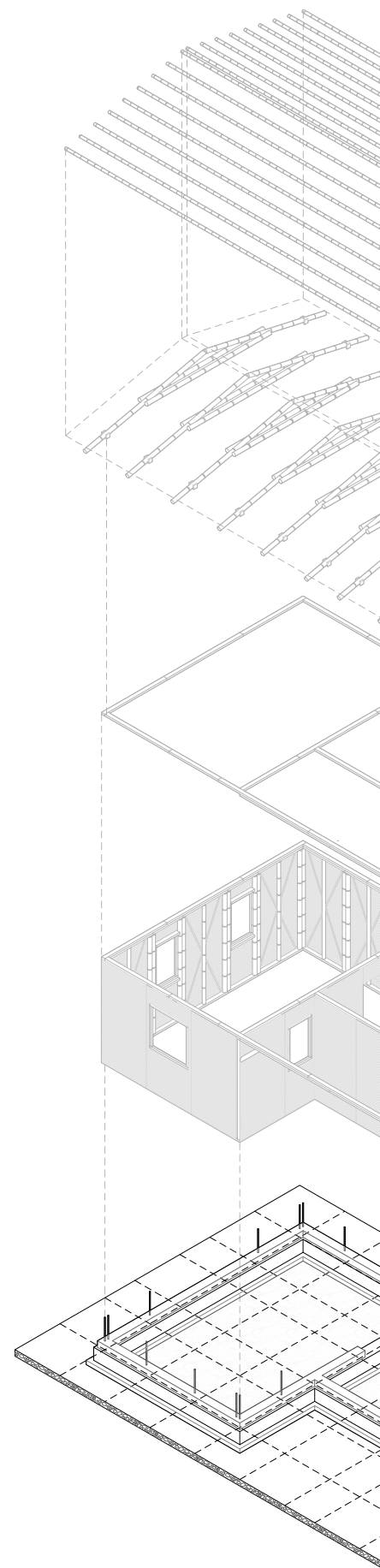


A y B. Proceso constructivo de cimentación, pie de casa con sistema modular encementado, Ciudad de México (Fotografía Bambuterra).

En el caso de terrenos consolidados constituidos por suelos excavables como tepetate, pueden usarse vigas de cimentación de 30cm de ancho reforzadas con 4 varillas #4 y estribos #3 a cada 15cm. En terrenos no excavables conformados por rocas, se debe usar una losa de cimentación de 12 cm de espesor con contratraveses invertidas que coincidan con el desplante de los muros que pueden servir como sobrecimientos. La losa se refuerza con un lecho de varillas de #3 a cada 20 cm en cada dirección. Las contratraveses deben cumplir con las especificaciones de sobrecimiento.

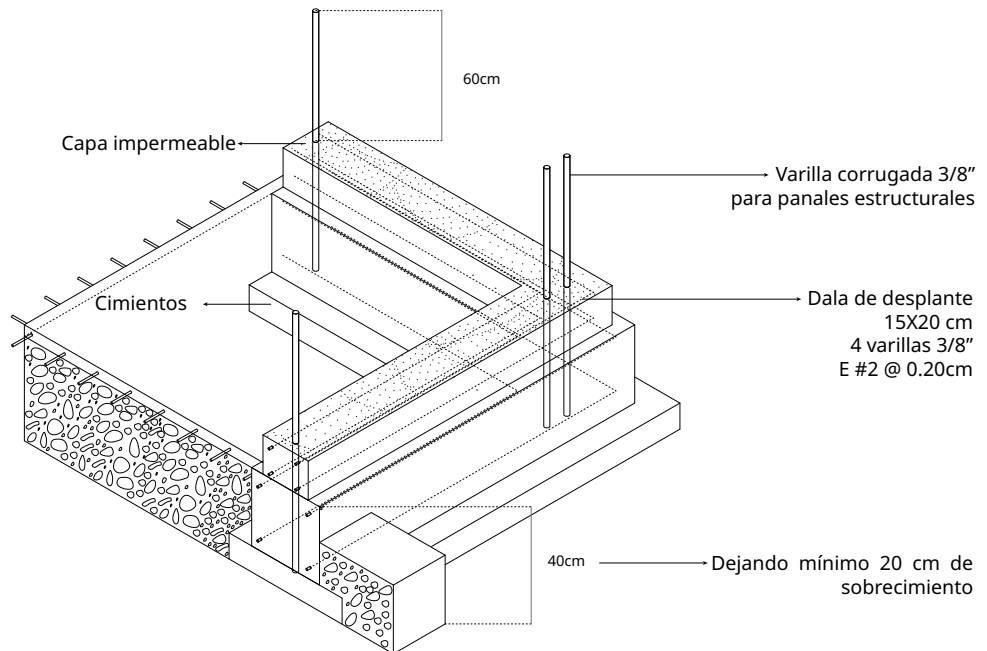


Cuando se requiera usar zapatas, la zanja debe tener al menos 40 cm de ancho y 50 cm de profundidad. En suelos poco consistentes, así como aquellos que contengan escombros o materia orgánica la excavación, debe alcanzar una capa consolidada de suelo y un mínimo de 70 cm de profundidad. En casos de terrenos de muy baja capacidad o con alto contenido de materia orgánica, los detalles para la cimentación tales como dimensiones, número y diámetro de varillas de refuerzo, profundidad de desplante, calidad de los materiales, etcétera, deberán ser especificados por un especialista.



SOBRECIMIENTO Y DALA DE DESPLANTE

Sobre la cimentación y a nivel del terreno natural se encuentra el zócalo o sobrecimiento que se corona por una dala de desplante de concreto armado. Se recomienda que el nivel superior del sobrecimiento quede al menos 20 cm arriba del terreno natural, pero si es elevada la frecuencia de las lluvias en la región y el nivel freático en el terreno es muy superficial, esta altura deberá ser de 40 cm por lo menos. Para la construcción del sobrecimiento se recomienda el uso de mampostería de tabiques de barro cocido o de bloques de cemento.



El sobrecimiento debe tener un ancho menor al de la cimentación, pero ligeramente superior al espesor del muro que recibirá (15 a 20 cm de ancho).

Para recibir los paneles prefabricados de los muros, la dala de desplante con la que remata el sobrecimiento tiene ahogadas varillas corrugadas verticales de 3/8" a cada 1.20 m, las cuales se anclan desde la cimentación y atraviesan la dala de desplante a cuyo armado deben estar amarradas y sobresalir un mínimo de 50 cm. Estas varillas se insertan posteriormente de forma vertical en los culmos de borde de los paneles.

La dala de desplante de concreto armado tiene el mismo ancho del sobrecimiento y 20 cm de peralte, y se refuerza con cuatro varillas corrugadas de 3/8" y estribos de acero corrugado de 2.5" a cada 20 cm. Las especificaciones deberán corroborarse con un especialista en ingeniería estructural.

Antes de la instalación de los paneles se deberá aplicar una capa de impermeabilizante sobre la corona de la dala de desplante como barrera para la protección de la madera.

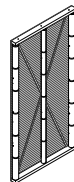
MUROS

Son los encargados de transmitir el peso de la cubierta (o losa de entrepiso) hacia la cimentación, de soportar las fuerzas horizontales ocasionadas por sismos, vientos y otros fenómenos naturales, y de conformar arquitectónicamente los espacios. Los muros estructurales deben ubicarse en las esquinas de la vivienda y estar distribuidos de manera uniforme en ambas direcciones, considerando criterios de simetría.

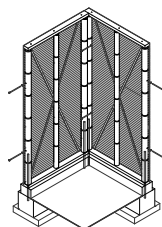
Todos los paneles deben estar totalmente apoyados sobre las dalas de desplante y anclados a la cimentación mediante las varillas de acero (de $\frac{3}{8}$ ") que sobresalen de ésta. En caso de viviendas de dos o tres niveles se debe dar continuidad a los muros estructurales desde la cimentación hasta el techo.

Los muros se modulan en paneles de tamaño variable que se conforman principalmente por unos bastidores cuyos lados largos (parales o pie-derechos) se construyen a partir de 3 o más culmos de bambú rollizo (maduro y tratado) de 9 cm de diámetro exterior y 1 cm de espesor de pared, los lados cortos a los que se les suele llamar barroses se realizan con madera aserrada de uso estructural con sección nominal de 5 x 10 cm.

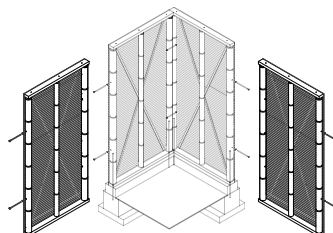
Los pie-derechos deben estar separados entre sí máximo a 60 cm y se conectan en cada extremo a los barroses de madera con cuatro tornillos lanceros autoperforantes. La longitud mínima de los paneles será de 60 cm. Si te encuentras en un clima muy húmedo cerca del mar, lo más recomendable es usar tornillos de acero inoxidable.



PANEL PREFABRICADO



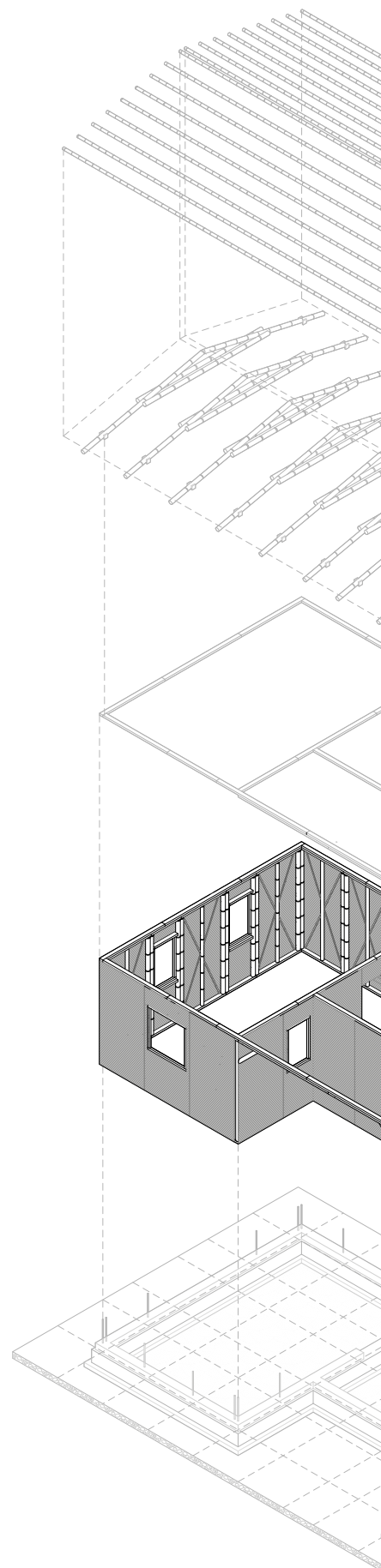
MURO ESTRUCTURAL



MURO DIVISORIO



Casa Amate, Tepoztlán, Morelos (Fotografía Bambuterra).



PANELES ESTRUCTURALES

La conexión con la cimentación es muy importante. Para ello los dos pie-derechos de bambú de los extremos de los paneles deberán prepararse rompiendo una parte de los diafragmas o nudos del culmo de la zona inferior para permitir el paso de las varillas que se han dejado expuestas en la dala de desplante y que queden embebidas en los culmos.

Esta conexión se finaliza mediante un relleno de mortero fluido cemento arena en proporción 1:3 que se vierte al interior de los pie-derechos en toda la longitud de anclaje de las varillas. Para ello se abrirá con cuidado un orificio de $\frac{3}{4}$ " en la pared de los culmos a una altura ligeramente mayor del extremo de la varilla.

Se deberá prever la colocación de abrazaderas temporales externas a cada 25 cm distribuidas en la longitud de colado del mortero para evitar que los efectos del fraguado del mortero agrieten los bambúes.



Laboratorio de alimentación sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco, Campus Las Animas, Ciudad de México (Fotografía Bambuterra).

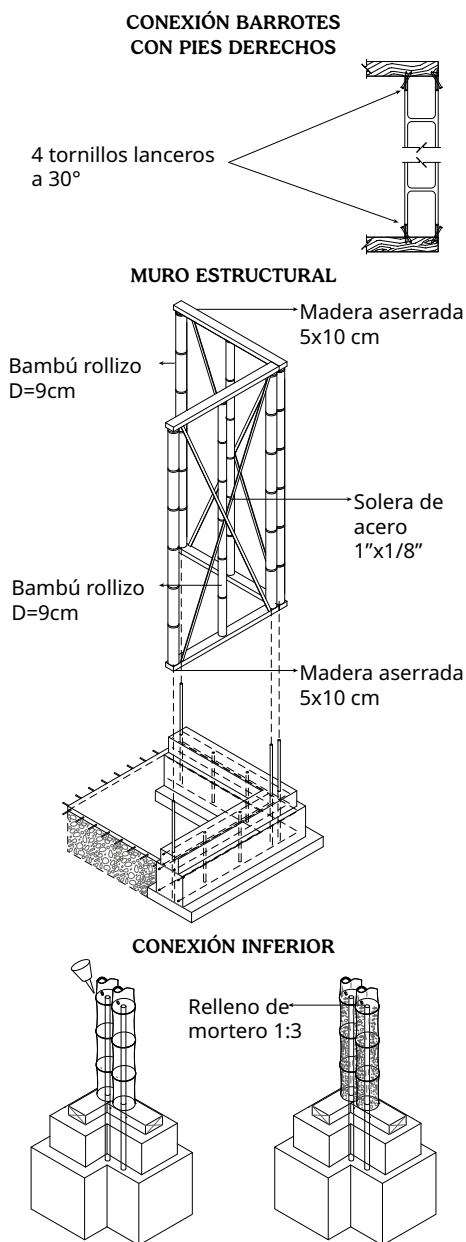
PANELES ESTRUCTURALES CON DIAGONALES

Siempre deben tener al interior dos soleras de acero de 1" x 1/8" instaladas en diagonal que funcionan como contraventeos y permiten proporcionar estabilidad geométrica al panel y por lo tanto resistencia y rigidez al sistema estructural. Las soleras deben ir conectadas en los extremos del panel de tal manera que coincidan con los puntos de anclaje a la cimentación.

Los paneles localizados en las esquinas deben tener una longitud mínima de 80 cm. Si tu casa tiene dos o tres niveles, procura que el primer nivel tenga únicamente paneles estructurales.

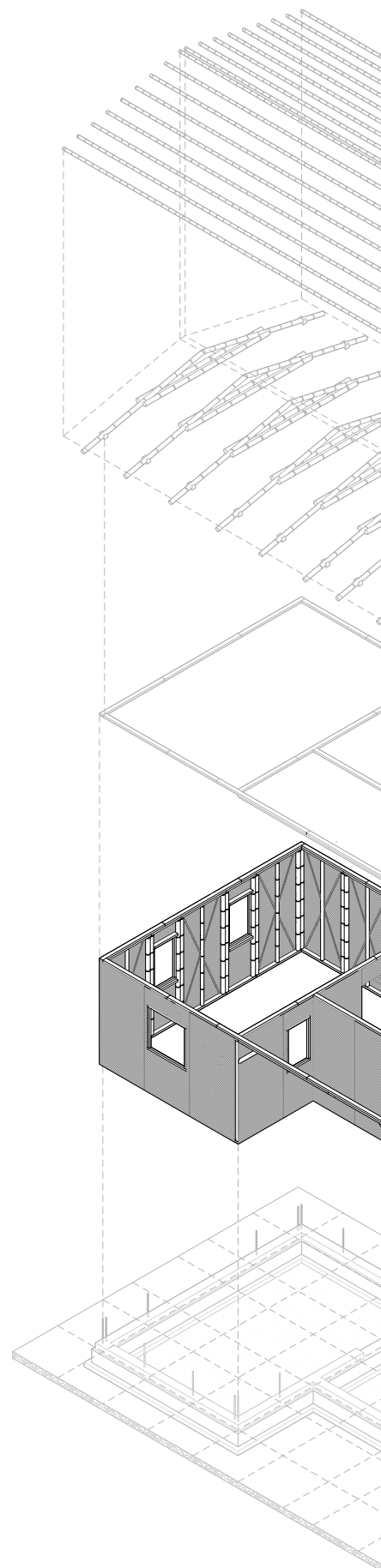
Si deseas tener una casa segura y tu terreno está localizado en zona sísmica o de huracanes, es recomendable que busques una asesoría especializada para determinar cuántos paneles estructurales requieres.

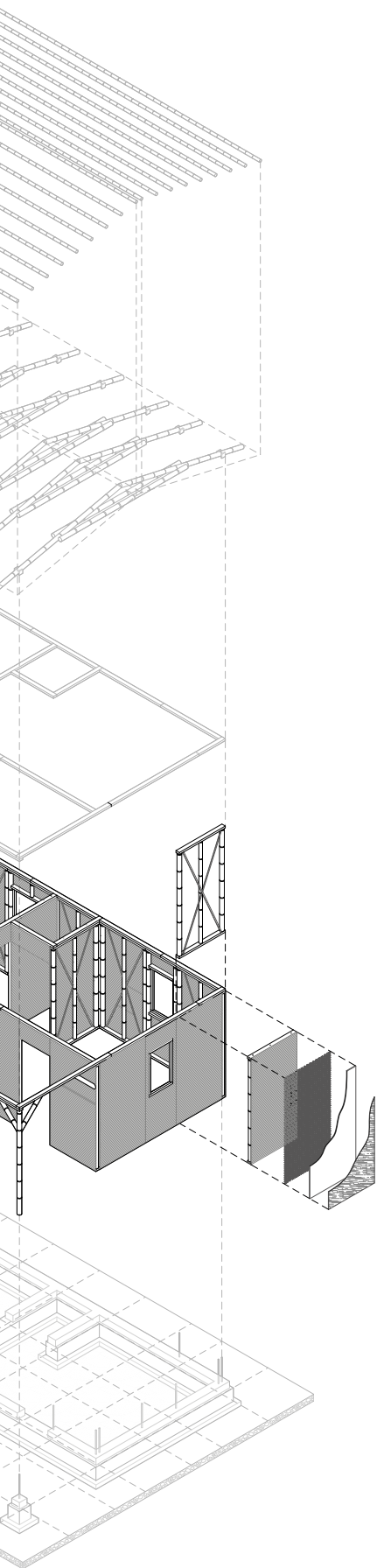
Si te encuentras en una zona de baja sismicidad, bajo nivel de vientos y además tu vivienda es de un nivel, cuida que la longitud total de paneles estructurales en cada dirección no sea menor que el 15% del área cubierta por tu techo. Por ejemplo, si tu casa mide 5 metros x 8 metros y tienes aleros de 50 cm alrededor, el área cubierta será de 6 metros x 7 metros ($6 \times 7 = 42$) y la longitud mínima total de paneles estructurales (con diagonales) que debes colocar en cada dirección debe ser por lo menos de 6.3 metros. Para mayor detalle puedes consultar la Norma Andina para bahareque encementado (INBAR 2015).



PANELES ESTRUCTURALES SIN DIAGONALES

Estos paneles tienen la función estructural única de soportar cargas verticales, por lo que no llevan diagonales. Es importante considerar que este tipo de paneles nunca deben localizarse en las esquinas y no pueden incluirse en la suma de la longitud mínima requerida de los muros.





Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

PANELES NO ESTRUCTURALES

Cumplen la función de separar espacios en la vivienda e incluyen los paneles para las puertas y ventanas. Deben estar fijados a la estructura (abajo y arriba) de tal manera que se prevenga el volteo en caso de sismos o huracanes.

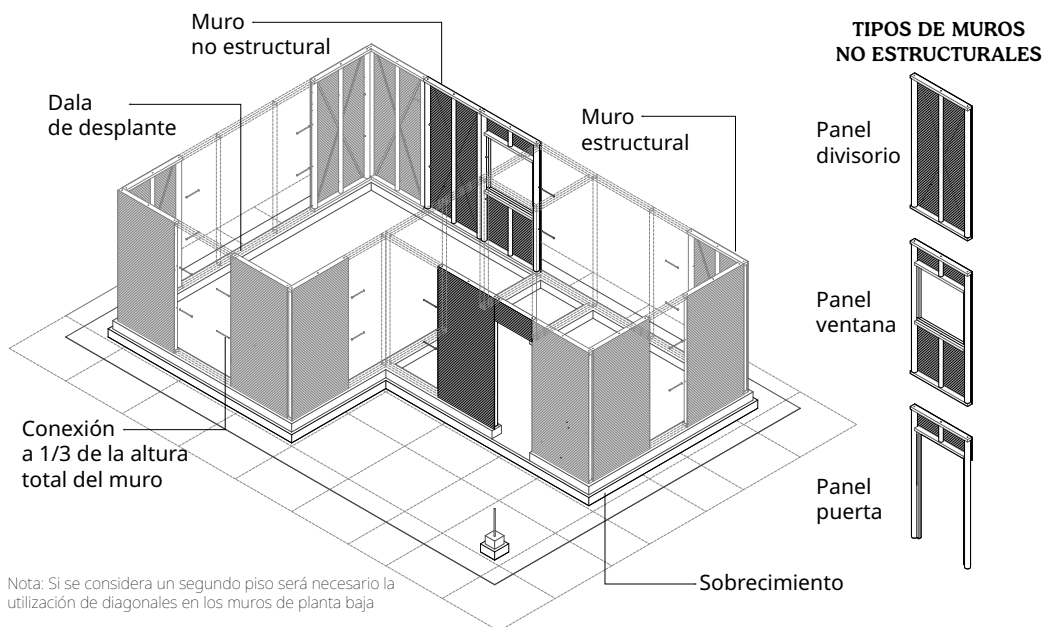
Los paneles no estructurales se podrían dividir en paneles divisorios, paneles puerta y paneles ventana. Cuando se realiza la modulación en paneles prefabricados de la vivienda, primero se debe iniciar con los paneles estructurales, para los cuales se debe priorizar la mayor repetitividad para lograr optimizar los procesos de prefabricación.

Posteriormente se modulan los paneles no estructurales divisorios y los correspondientes a las puertas y ventanas.

Al final, se modulan todas las zonas de cerramiento que cubren la parte superior de los muros para terminar de aislar la vivienda del exterior.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Nota: Si se considera un segundo piso será necesario la utilización de diagonales en los muros de planta baja

Ejemplo de ubicación para muros no estructurales

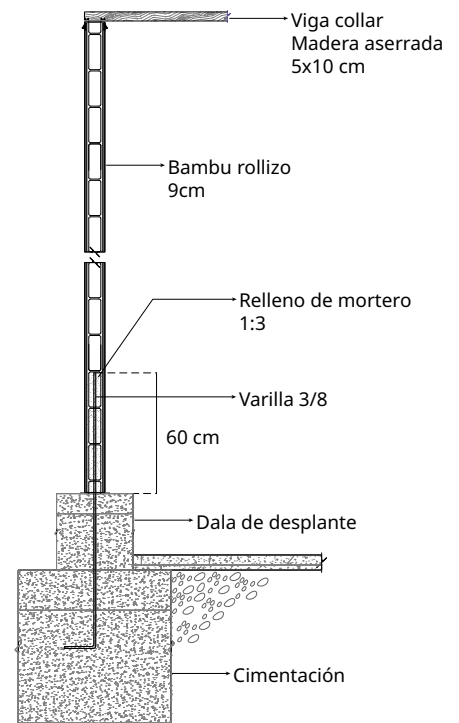
COLUMNAS ADICIONALES

En ocasiones, por requerimientos del proyecto arquitectónico o por necesidad de dejar algún espacio techado en el exterior de la fachada, se requiere complementar el sistema de transmisión de cargas verticales mediante el uso de columnas.

Las columnas se constituyen de dos culmos de bambú obtenidos de la fracción basal de un culmo de bambú (nunca de la parte más alta), y tener un diámetro mínimo de 9 cm con 1 cm de espesor de pared. Puedes usar un sólo elemento como columna si utilizas diámetros de 12cm o mayores con espesores de pared de 1.5cm o más.

Las columnas deben estar conectadas a los elementos horizontales (vigas de madera o de bambú) que reciben el sistema de cubierta (o entrepiso, si es el caso), y se integran al barrote de cerramiento procurando continuidad estructural. Es recomendable adicionar elementos diagonales (patas de gallo) en la zona superior de las columnas para reducir el claro efectivo de las vigas de madera y rigidizar la conexión.

DETALLE COLUMNA ADICIONAL



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

INSTALACIÓN Y NIVELACIÓN DE PANELES

Todos los paneles estructurales deben quedar conectados en sus extremos a la cimentación a través de las varillas que se dejaron preinstaladas en ésta.

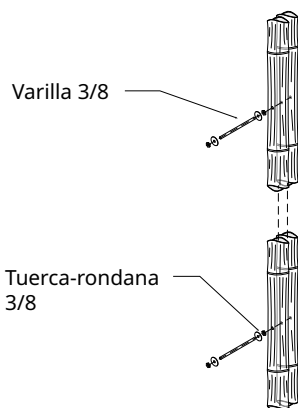
En el caso de los paneles divisorios, paneles puertas y paneles ventanas, la fijación a la dala o cadena de desplante puede hacerse directamente desde el barrote inferior mediante varillas roscadas de diámetro mínimo de 3/8". Estas varillas las cuales se insertan a la dala de desplante a una profundidad de 5 cm. Para ello se presenta el panel en su lugar final y se marcan las zonas de fijación, después se hacen las perforaciones correspondientes en el barrote inferior de madera hasta llegar a la dala.



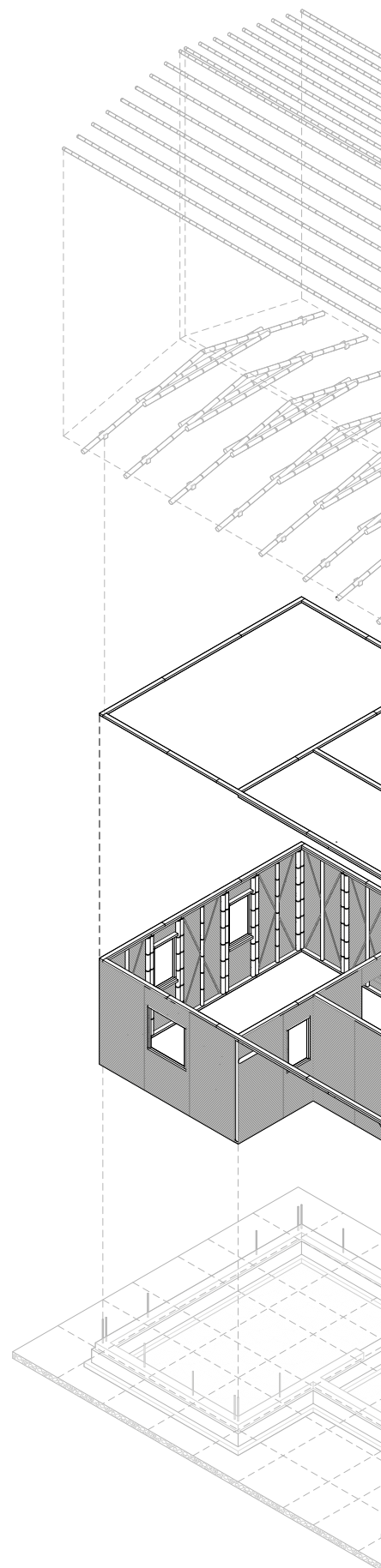
Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

Se retira momentáneamente el panel a instalar para realizar el barrenado de la dala con una broca para concreto (de diámetro de 1/2") y en el agujero se inserta la varilla roscada que debe quedar adherida al concreto mediante algún aditivo o pegamento estructural. Una vez que seca el aditivo se puede instalar de manera definitiva el panel usando tuerca y rondana en el remate de la varilla.

Mientras se van instalando los paneles se debe corregir su verticalidad y luego conectar los paneles contiguos a los tercios de su altura con pernos o varillas roscadas, tuercas y rondanas (de 3/8" de diámetro). Se requieren siempre dos puntos de conexión entre paneles.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

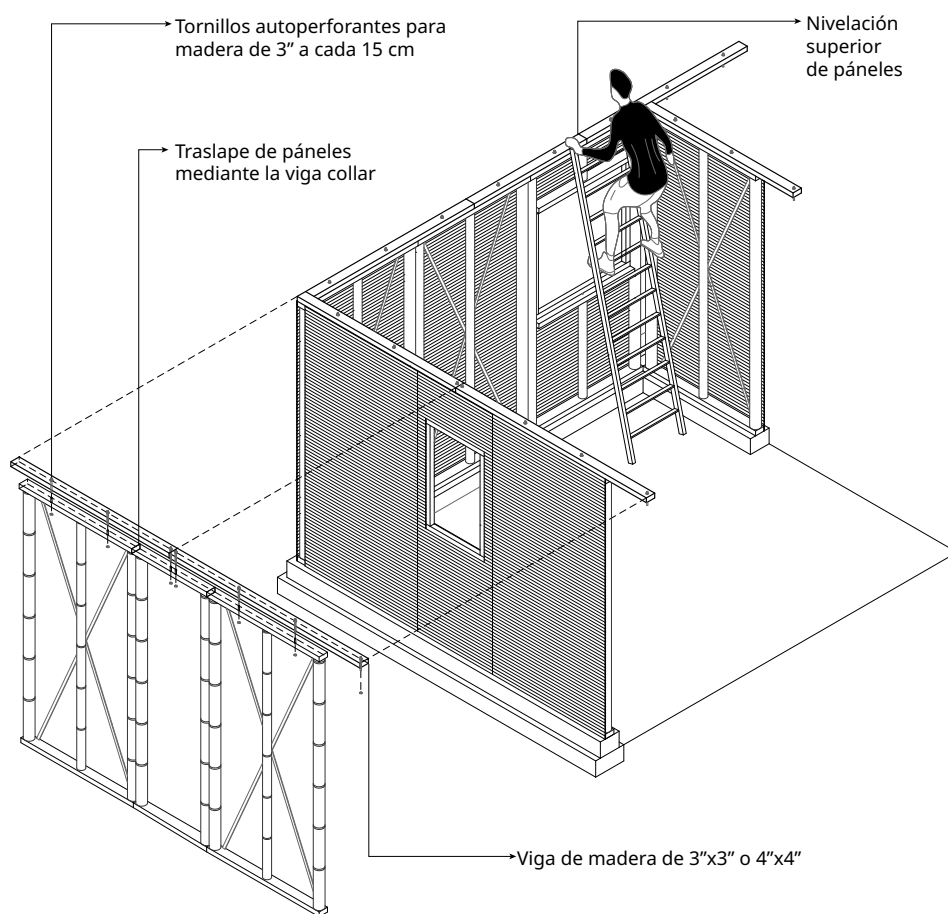


BARROTE DE CERRAMIENTO

Tiene como función contribuir a la integración del sistema estructural de muros, dando continuidad a los paneles (estructurales y no estructurales) en su borde superior. Se debe procurar que los empalmes del barrote de cerramiento sucedan en la zona media de algún panel estructural. En las esquinas se debe cuidar de generar la conexión entre los dos paneles que se quieren conectar sin copiar la junta constructiva entre ambos paneles, o bien se puede hacer un empalme con conexión a media madera.

El barrote de cerramiento es un elemento de madera de pino tipo estructural de primera (Clase A) y con dimensiones mínimas de 5 x 10 cm (nominales, antes de cepillar). Este se fija a los barrotes superiores de los paneles mediante tornillos autoperforantes para madera de 3" a cada 15 cm, de preferencia que queden cuatrapeados.

Sobre este barrote se apoyarán los elementos de las cubiertas en el caso de viviendas de un nivel, y los elementos de entrepiso en el caso de viviendas de dos niveles. El sistema de fijación será mediante tornillos autoperforantes y platinas metálicas, los cuales deberán transferir las fuerzas laterales originadas por efectos de viento o sismo. En caso de zonas de alta incidencia de huracanes, dichas conexiones también deberán transmitir las tensiones generadas por los vientos.



SISTEMA DE CUBIERTA

Las cubiertas más convenientes para este sistema son las ligeras a 2 o 4 aguas. Estas pueden adecuarse para soportar techos de teja de barro, paja, palma o lámina. Deberán tener aleros de 50 a 100 cm para proteger a los muros de la acción directa del sol y la lluvia. La estructura de la cubierta debe ser diseñada y dimensionada según el material a utilizar y las condiciones de donde se localiza. En zonas donde las lluvias son esporádicas se puede reducir la inclinación del techo.

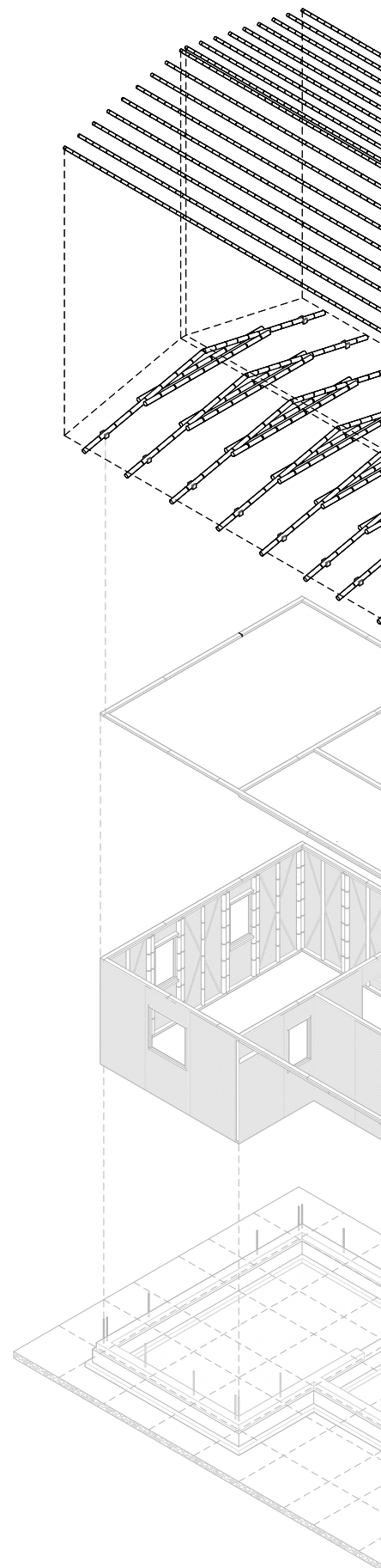
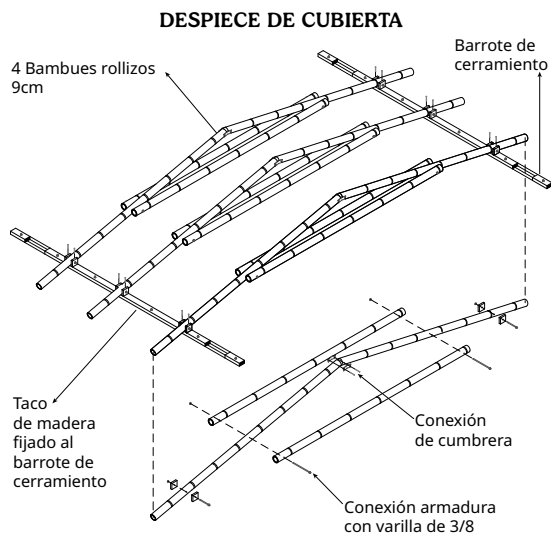


Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

Las cubiertas se estructuran mediante armaduras (tijerales) o viguetas (si el techo es a una agua). Los elementos principales deben orientarse siempre en la dirección corta y descansar sobre el barrote de cerramiento fijados con pernos o varillas de 3/8", con sus tuercas y rondanas.

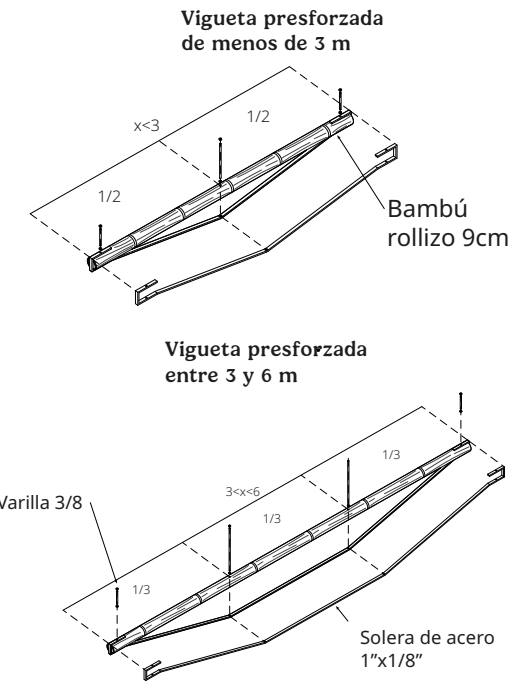
Cubiertas con armaduras o tijerales de bambú:

Se resuelven mediante estructuras planas de forma triangular que se prefabrican aparte y se apoyan sobre el barrote de cerramiento, de preferencia localizándose en los puntos donde hay columnas o pie-derechos, para transmitir de forma directa la carga del techo al suelo.



Cubiertas con viguetas presforzadas de bambú:

Se pueden usar para techos con poca o ninguna inclinación. En el primer caso se recomiendan en zonas con baja pluviosidad y cuando las cubiertas sean temporales por necesidad de crecimiento futuro. Cuando las cubiertas no tienen inclinación, se trata de techos planos y horizontales que sirven para habilitar el uso de la azotea y como una solución definitiva que permite un proceso simple de crecimiento de la casa a un siguiente nivel.



Casa Amate, Tepoztlán, Morelos (Fotografía Bambuterra).

Los acabados para la cubierta comumente más utilizados son láminas, caña con barro y palma.

Es importante verificar las especificaciones con la ficha técnica de cada material. Dependiendo de las condiciones climáticas, de cada región, y el material deberemos tener en cuenta inclinaciones mínimas de techo, esto para poder conservar el mayor tiempo el material utilizado.

INSTALACIONES

Las tuberías para las instalaciones habrán de diseñarse de tal manera que puedan quedar ahogadas al interior de los paneles y de este modo no tener que realizar perforaciones posteriormente.

SISTEMA HIDRÁULICO

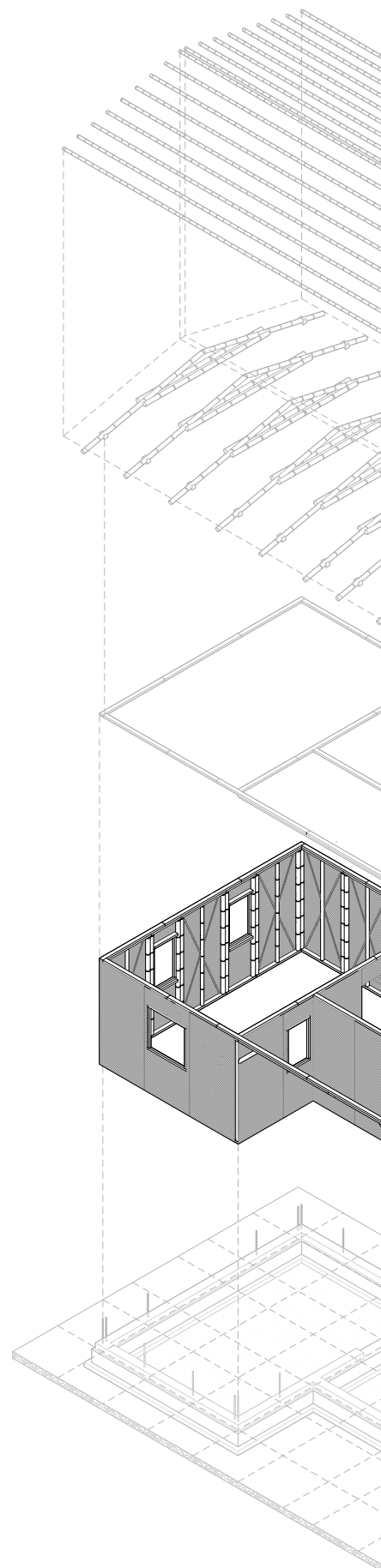
Las instalaciones pueden estar ahogadas en los paneles previo al esterillado y realizando los pasos necesarios acordes a la trayectoria sin perforar los pie-derechos. Es importante considerar que todas las salidas hidráulicas presenten válvulas de interrupción del flujo del agua para permitir trabajos de reparación.

En caso de requerirse perforaciones en los muros se deberá procurar colocar una camisa superior al diámetro de la tubería hidráulica, a fin de evitar fracturas o desprendimiento de los aplanados o acabados de los muros.

Se recomienda que los muebles sanitarios como lavabo, lavadero o tarja presenten una estructura propia (pedestal), lo anterior para evitar empotrar los muebles a los muros.



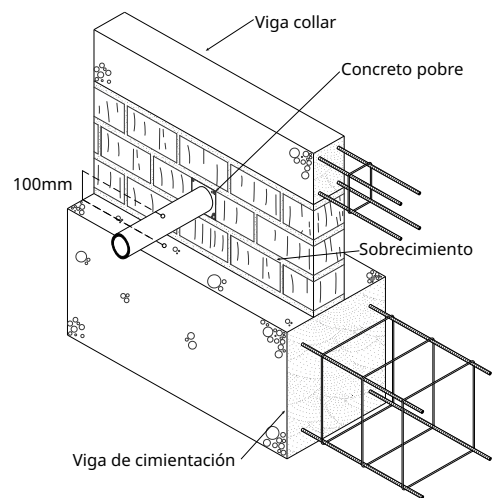
Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



SISTEMA SANITARIO

La instalación sanitaria de la vivienda debe colocarse previo a realizar la cimentación, considerando las salidas para cada mueble sanitario. Se debe evitar empotrar la tubería a los muros.

Las instalaciones hidrosanitarias deben localizarse por encima de la retícula de vigas de cimentación, atravesando el sobrecimiento o por debajo de las vigas de cimentación.



Cuando la tubería cruce el sobrecimiento se debe colocar una camisa de dos veces al diámetro ($2\varnothing$) de la tubería para evitar el aplastamiento de la tubería. La distancia vertical entre la cara inferior de la viga de cimentación y el borde superior de la tubería debe ser mayor de 100 mm. La intersección entre los elementos de la retícula de vigas de cimentación y la zanja de la instalación se debe rellenar con un concreto pobre. En ningún caso las instalaciones hidrosanitarias podrán atravesar las vigas de cimentación.

SISTEMA ELÉCTRICO

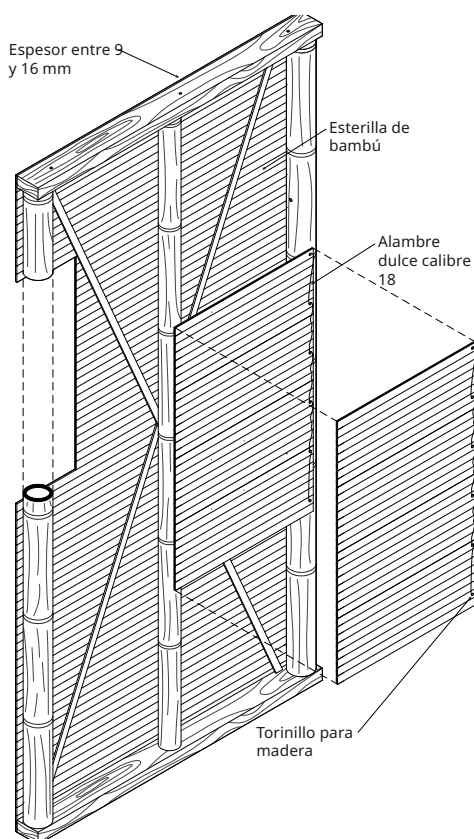
Previo al esterillado y encementado de los muros se colocará la tubería correspondiente a la instalación eléctrica en dirección a los registros eléctricos de los apagadores o contactos, además se colocarán y se asegurarán los registros eléctricos con alambre galvanizado o trozos de madera a las piezas horizontales y verticales de los paneles. Se recomienda el uso de tubería conduit ligera con el objetivo de contener y proteger los conductores eléctricos. Para la ubicación del tablero general de la instalación se sugiere priorizar las zonas más seguras al interior de la vivienda y se deberá empotrar usando elementos de madera adicionales instalados en los paneles, lo anterior con el fin de evitar perforar las piezas verticales de bambú.



Laboratorio de alimentación sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco, Campus Las Animas, Ciudad de México (Fotografía Bambuterra).

RECUBRIMIENTO

El recubrimiento se genera mediante la instalación de esterilla de bambú con un espesor mínimo de 8 mm y máximo de 12 mm. Se debe instalar de forma horizontal pegando la esterilla directamente a una de las caras de los pie-derechos. Se instala con la parte interna del bambú expuesta hacia el lado que será repellado y se fija a los pie-derechos por medio de tornillos de 3mm x 25 mm de largo con separación máxima de 150 mm, cuidando de que no se fisure el bambú en el proceso (no se deberá alinear verticalmente la posición de los tornillos). Los tornillos se conectan entre sí por medio de alambre dulce calibre 18, el cual se cose dando una vuelta en la cabeza de cada tornillo y generando una línea de costura a lo largo de los pie-derechos.

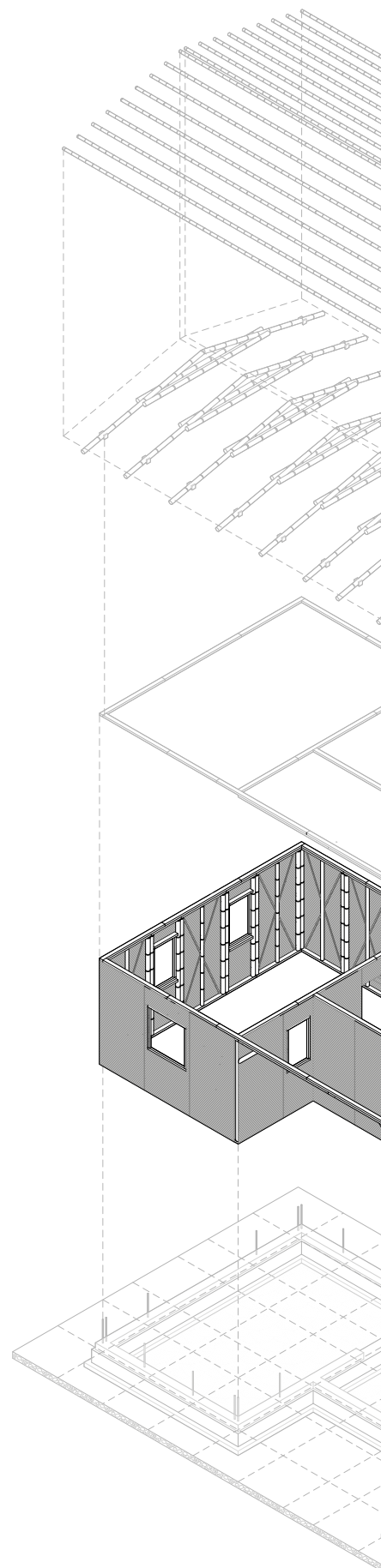


Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

Una vez que la esterilla esté fijada al entramado se procederá con la instalación de la malla hexagonal galvanizada y trenzada (malla de gallinero) de calibre 22 y abertura no mayor a 25 mm, la cual se engrapa directamente a la esterilla y sirve como refuerzo de fijación para el mortero de repello. Cuando se deban hacer empalmes de la malla, estos deben quedar de por lo menos 20cm.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



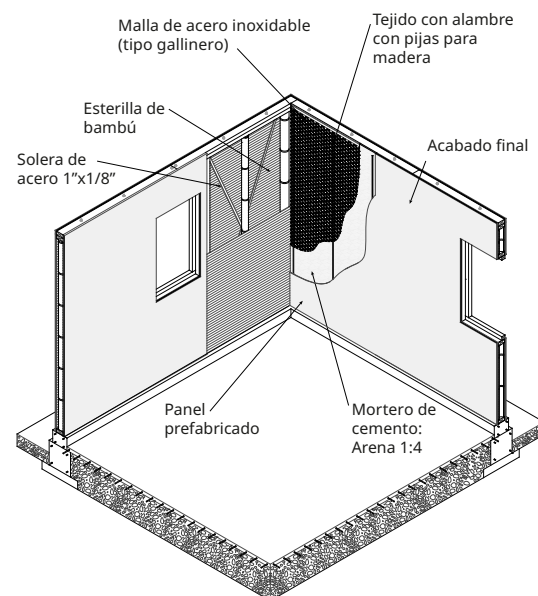
El repellado con mortero de cemento (en proporción 1:4 cemento:arena) tendrá un espesor mínimo total de 2.5 cm y máximo de 3.5 cm y se aplicará en dos capas. la primera capa será rústica y cubrirá la totalidad de la superficie y la segunda capa será la del acabado final. Por ningún motivo se podrá aplicar el repello sobre la esterilla sin antes instalar la malla de gallinero. Cuando el muro tenga recubrimiento por una sola cara se podrá repellar la cara interior del muro, siempre y cuando se instale previamente una malla de gallinero sobre la otra cara de la esterilla.



Laboratorio de alimentación sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco, Campus Las Animas, Ciudad de México (Fotografía Bambuterra).



Laboratorio de alimentación sustentable, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco, Campus Las Animas, Ciudad de México (Fotografía Bambuterra).



También se acepta dejar la esterilla expuesta al interior del muro. Cuando sea necesario por requerimientos estructurales, se puede repellar la otra cara, previa instalación de las diagonales metálicas, la esterilla y la malla de gallinero.

ACABADOS

Los recubrimientos pueden variar dependiendo los efectos bioclimáticos y estéticos que se busquen. Se recomienda que en las zonas húmedas (baños y cocina), se recubran ambas caras de los muros con acabado encementado y además que se coloque una capa adicional impermeable como azulejo o alguna pintura plástica en las zonas en contacto directo con agua.

Puedes también dejar los pies derechos y la esterilla expuestos al interior, o sólo los pies derechos repellando al interior la esterilla con previa instalación de malla de gallinero.

ACABADOS DE TIERRA

Es posible integrar acabados de tierra en el sistema de muros. Una vez se tenga lista la cara del muro que cumple con la función estructural (con esterilla y repellado de cemento), es posible que la otra cara se recubra con una combinación de tierra y fibras naturales (paja) para finalmente dar un acabado natura de tierra, logrando una apariencia rústica y armoniosa en el diseño. El uso de la tierra del lugar (cuando ésta sea de calidad para construcción) puede ser idóneo para ahorrar en materiales.

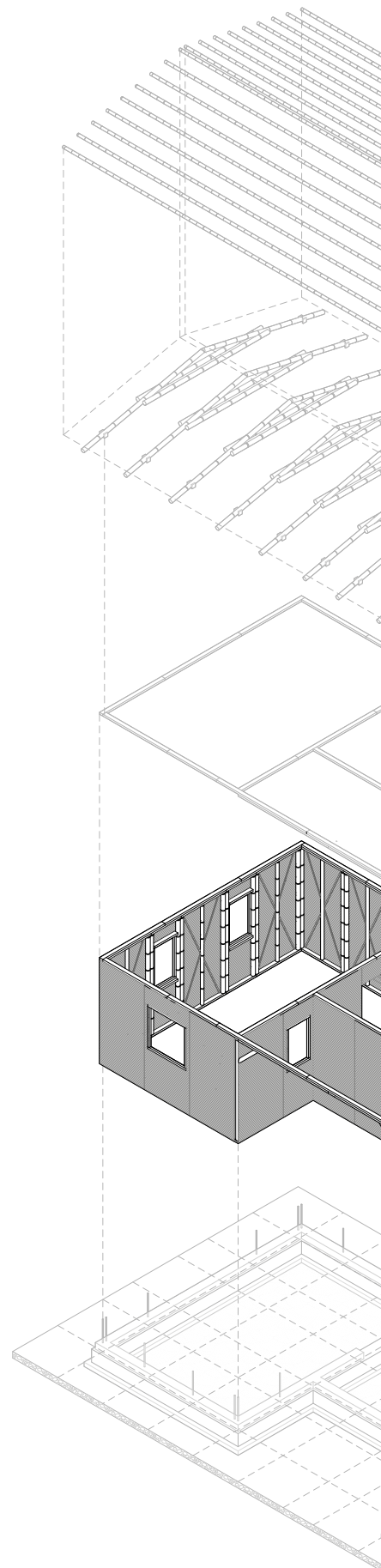
El interior del muro debería dejarse hueco, pero en caso de querer rellenarlo (esto, para mejorar el aislamiento térmico), la mezcla de paja y tierra (inerte) a usar debe ser muy ligera y homogénea para mayor eficiencia. Es importante nunca agregar cal a las mezclas, dado que puede generar degradación de los elementos metálicos en el largo plazo, afectando su resistencia estructural.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

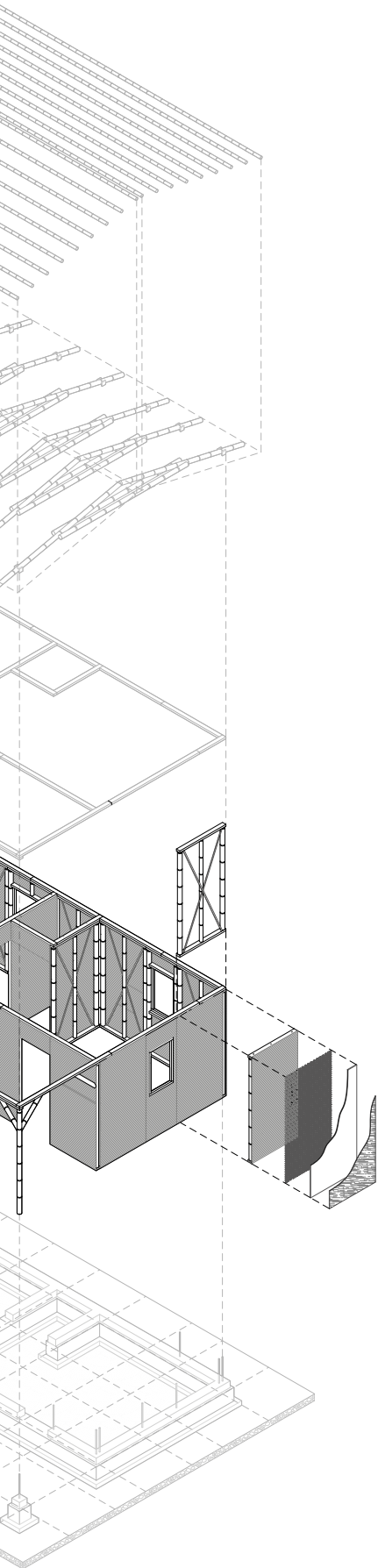


Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



PINTURA

En el caso de los repellados de cemento, se puede usar cualquier tipo de pintura, vinílica o acrílica, para el acabado final, garantizando una buena protección. En el caso de los acabados de tierra, lo más recomendable es que la pintura sea de tierra también, manteniendo su apariencia natural. En el caso de la pintura, es posible usar alguna combinación con cal.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

ACABADOS PARA EL BAMBÚ Y LA MADERA

En el caso del bambú y madera que queden a la vista, ya sea al interior o al exterior, debes aplicar algún aceite o producto especial para madera. Se pueden usar aceites naturales, cera de abeja, o aceites comerciales adecuados. No se recomienda usar resinas, lacas, pinturas o barnices que se endurezcan, pues con el tiempo tienden a agrietarse y propiciar procesos de pudrición por acumulación de agua o humedad.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

MANTENIMIENTO

Todas las recomendaciones atrás descritas generan construcciones de bajo mantenimiento, sin embargo, en caso de dejar expuestos a la intemperie elementos de bambú (o madera) con alguna función estructural se deberá realizar mantenimiento preventivo mediante la limpieza de la superficie de moho o polvo, para una posterior aplicación de cualquier aceite o tratamiento para madera de exterior. Se recomienda que este mantenimiento ocurra por lo menos una vez al año, y que de preferencia se haga dos veces al año, especialmente durante los tres primeros años de vida de la construcción.

Para los acabados a base de mortero de cemento, en caso de aparición de fisuras o grietas, éstas deberán rellenarse con alguna resina de uso estructural, o bien con mortero de cemento previa preparación de la superficie. Posteriormente se recomienda reparar el acabado final de pintura.



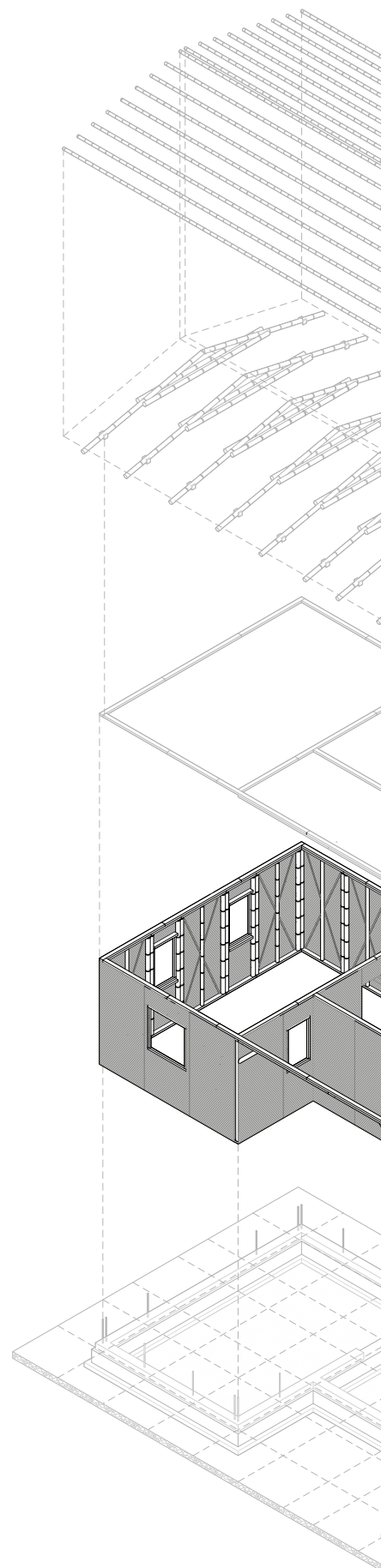
Pie de casa con sistema modular encementado, Ciudad de México. (Fotografía Bambuterra).

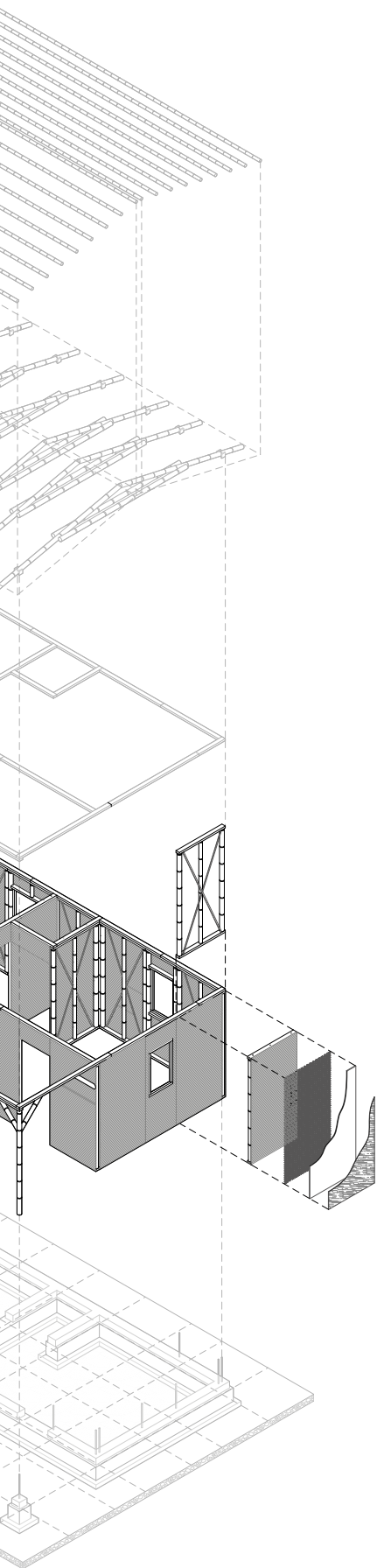
En el caso de los acabados a base de tierra, estos deberán estar siempre protegidos por pintura resistente para evitar el ingreso de humedad a la estructura y posibles daños.

Las viviendas deberán siempre permanecer ventiladas y libres de cualquier tipo de falla en sus instalaciones, especialmente en las hidrosanitarias, para así garantizar su correcto funcionamiento.



Pie de casa con sistema modular encementado, Ciudad de México. (Fotografía Bambuterra).





Casa Amate, Tepoztlán, Morelos (Fotografía Bambuterra).



4 casas, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (Fotografía Bambuterra).



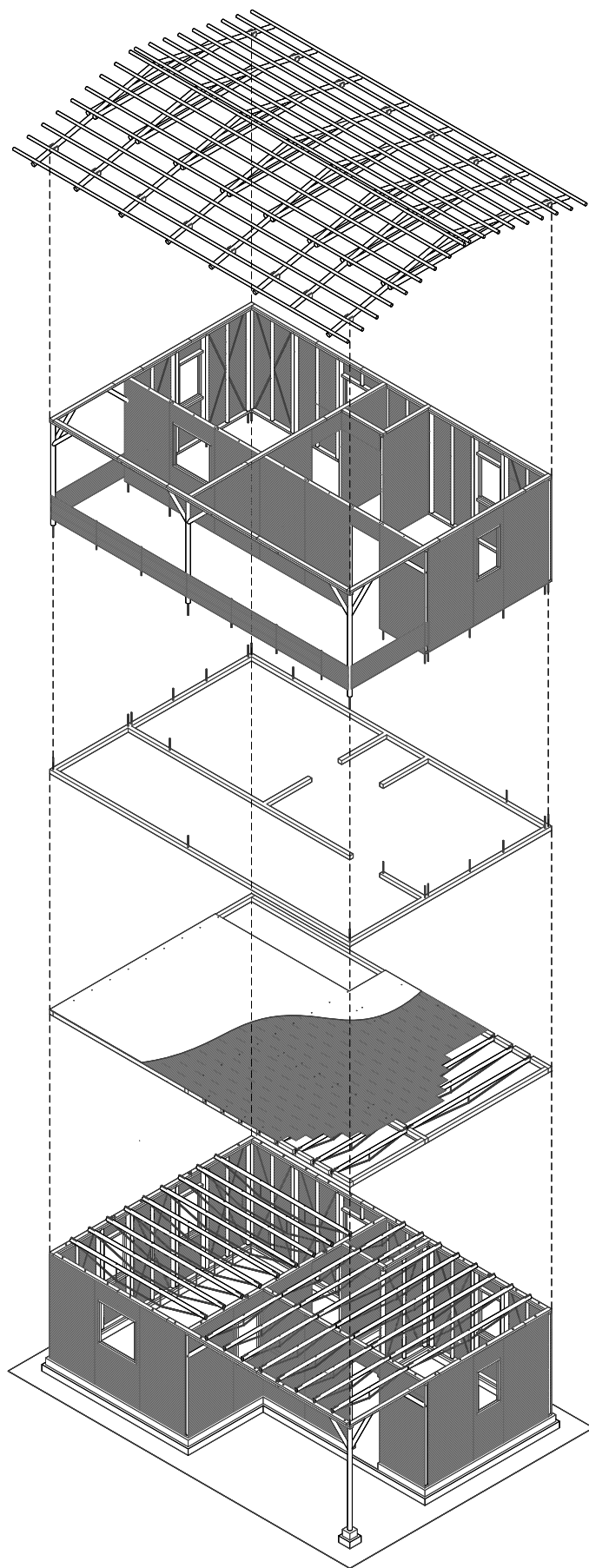
4 casas, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (Fotografía Bambuterra).



4 casas, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (Fotografía Bambuterra).



4 casas, San Gregorio Atlapulco, Xochimilco (Fotografía Bambuterra).



El sistema constructivo aquí propuesto ha sido concebido para facilitar los procesos de obra en sus diferentes fases. Es muy importante definir desde un inicio si la vivienda crecerá uno o dos niveles más. En el caso de zonas de bajo riesgo sísmico y por huracanes, se pueden construir viviendas de hasta tres niveles, mientras que en el resto del país sólo puede llegarse a dos niveles como máximo.

La cimentación y el primer nivel deben ser diseñados y construidos para servir a la fase final de la edificación, y dejarse previstas las preparaciones para dar continuidad al siguiente nivel (o los siguientes dos niveles, según sea el caso).

Se debe concebir desde la fase de diseño y planeación la simetría y continuidad de los muros estructurales para garantizar un adecuado comportamiento de la estructura de la vivienda.

Si decides crecer tu casa un siguiente nivel sin haberlo previsto desde el inicio, será importante realizar una revisión estructural que permita dar seguridad y factibilidad al crecimiento.



A y B. Proceso constructivo de prototipo de vivienda de dos niveles, Ciudad de México. (Fotografía Bambuterra).

DESMONTAJE DE CUBIERTA

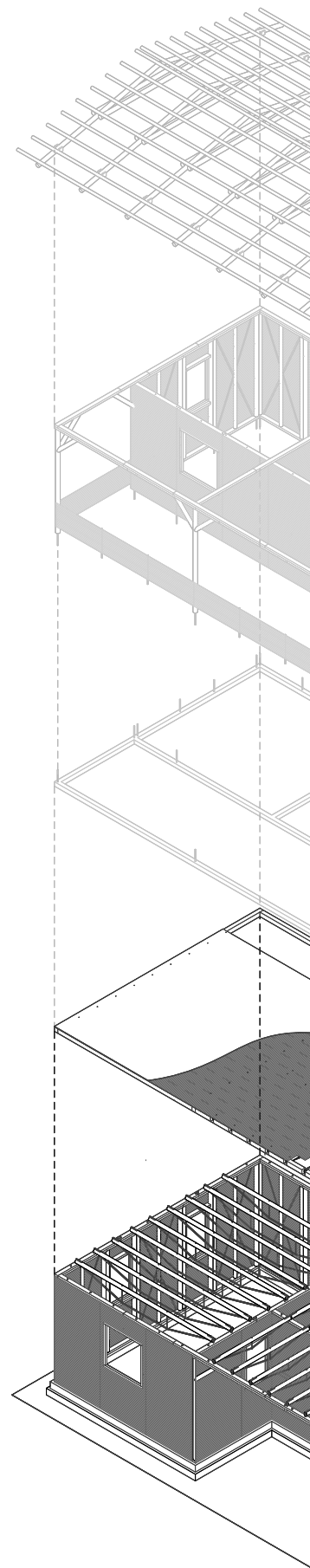
En caso de haberse construido una cubierta a dos o cuatro aguas como parte de la primera etapa de la construcción, ésta debe desmontarse con cuidado porque idealmente puede servir para reinstalarse como cubierta del nivel superior. Para ello, primero se deben retirar los elementos del techo (tejas, láminas, etc.), posteriormente se retiran los elementos secundarios para finalmente desmontar las armaduras o viguetas principales.

En general, deben quedar únicamente los muros de la planta baja, todos aplomados y con un mismo nivel superior, y deben estar conectados mediante el barrote de cerramiento listo para recibir el sistema de entrepiso.

En caso de tenerse una cubierta plana, no será necesario realizar desmontaje de la estructura, pero si se han realizado instalaciones temporales sobre la azotea, todas estas deberán retirarse, evitando afectar la estructura existente que se conservará.

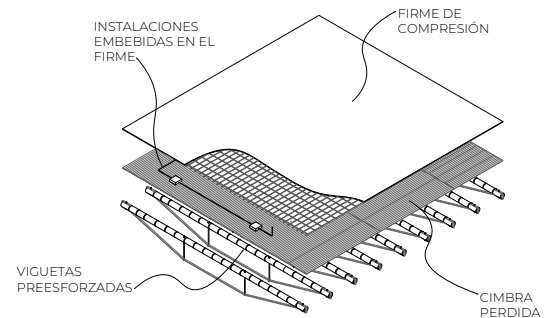


Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENTREPISO

Una vez preparados los muros de la planta baja (o del nivel inferior), se instalan las viguetas presforzadas de bambú, las cuales deberán elegirse de acuerdo con el claro y las cargas que soportarán, para ello será importante revisar su ficha técnica (Bambuterra, 2016). Las viguetas se fijan al barrote de cerramiento mediante dos tornillos de 3mm y 38mm de longitud (uno a cada lado de la vigueta) que se incrustan al barrote de cerramiento.



VIGUETAS PRESFORZADAS

Las viguetas deben quedar alineadas verticalmente y sobre su eje principal, y deben estar listas para recibir la capa horizontal que conforma el diafragma del entrepiso. Estas deben tener sus tornillos de fijación con por lo menos 5 cm de longitud extra en la parte superior para que estos cumplan con la función de conectores de cortante que permitan que suceda un trabajo en sección compuesta entre las viguetas y el firme de compresión. Este trabajo en sección compuesta permite generar una sobrerresistencia al sistema y optimizar su función estructural.



Casa Amate, Tepoztlán, Morelos (Fotografía Bambuterra).

CIMBRA PERDIDA

Una vez instaladas las viguetas, se procede con la fijación de la cimbra perdida que forma parte del diafragma estructural del sistema de entrepiso. Esta puede ser de esterilla de bambú, tableros de madera contrachapada (triplay), OSB o algún producto similar.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

En el caso de usar esterilla, ésta deberá fijarse mediante clavos sin cabeza o grapas, de preferencia usando pistola neumática. En la zona de paso de los conectores de las viguetas presforzadas, se deberá dejar una rondana de 1.5" en contacto con la esterilla para evitar punzonamiento. Si se trata de tableros de triplay u OSB, esos serán de 13mm y se fijarán con tornillos autoperforantes @50 cm. También se habilitará el paso a los conectores de las viguetas presforzadas, pero no es necesario colocar rondana.

INSTALACIONES EMBEBIDAS EN EL FIRME

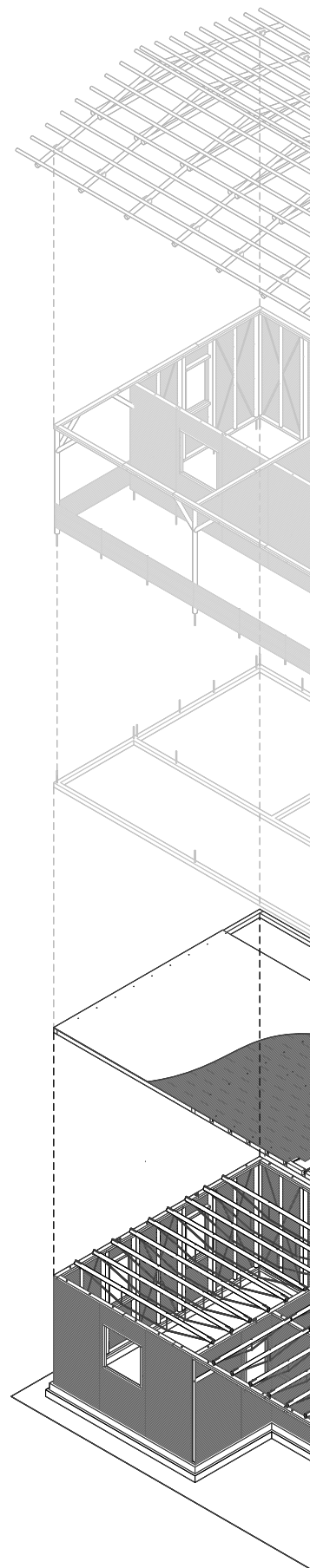
Todas las instalaciones eléctricas para el nuevo nivel deberán dejarse preparadas para quedar coladas dentro del firme de compresión. Todo el cableado deberá ir protegido con tubería flexible tipo conduit y deberá fijarse adecuadamente sobre la esterilla para evitar movimientos a la hora del colado del firme.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



CONTINUIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA

Para poder garantizar un adecuado comportamiento estructural de los muros del siguiente nivel, se deberá generar una conexión robusta entre los paneles estructurales del nivel inferior y los que se instalarán como parte de la ampliación que se realizará.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

En caso de que el crecimiento se prevea en el proceso de construcción y se haga en el mismo proceso constructivo del primer nivel, se deben instalar varillas de continuidad insertadas en los culmos de borde de los paneles estructurales que abarquen la zona superior de los paneles inferiores y la zona inferior de los paneles superiores, embebidas por lo menos 50 cm en los culmos y con rellenos de mortero. En este caso es importante que coincidan los culmos de los paneles estructurales inferior y superior. En caso de que el firme de la azotea ya esté colado y los muros repellados en una etapa previa, es decir que hablamos de un crecimiento en una segunda etapa, deberá realizarse una conexión mecánica usando tornillos que conecten el barrote superior de los paneles inferiores con el barrote inferior de los paneles superiores, pasando por el barrote de cerramiento. Se deberán colocar conectores a cada lado de los pies derechos, de tal forma que por cada 120 cm de longitud de panel se tengan por lo menos 4 conectores de continuidad. Este proceso sólo se permitirá sólo en zonas de baja sismicidad y únicamente servirá para crecer un nivel en altura.

FIRME DE COMPRESIÓN

Si se usa esterilla de bambú como cimbra perdida, debe considerarse la colocación de algún manto que garantice impermeabilidad para que no se filtre el concreto a la hora del colado del firme. Se recomienda usar un manto de origen natural que permita una buena adherencia al concreto y copie la superficie de la esterilla.

El colado del firme deberá hacerse de concreto con una resistencia mínima a la compresión de 200 kg/cm² y usar agregado grueso de tamaño máximo no mayor a 1/2" para garantizar mejor fluidez. El espesor del firme deberá tener entre 5 y 7 cm.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).

DALAS DE DESPLANTE

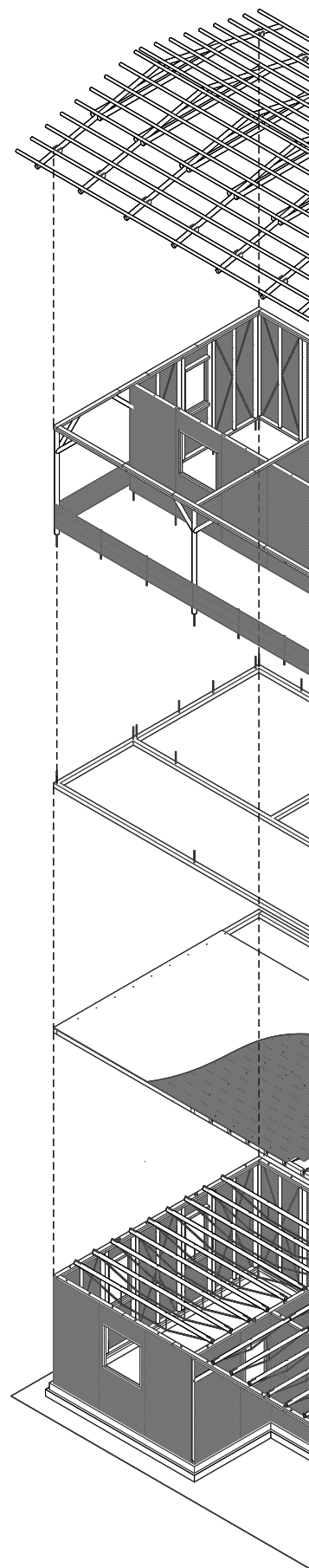
Posterior al colado del firme se deberán colar las dalas de desplante para los muros estructurales y no estructurales del nivel superior. Estas tendrán 15 cm de peralte y un ancho igual al espesor final de los muros con acabado. Pueden quedar reforzadas con armaduras de acero electrosoldadas, o usando cuatro varillas corrugadas de 3/8" y estribos de acero corrugado de 2.5" a cada 20 cm.



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



Casa Amate, Tepoztlan, Morelos (Fotografía Bambuterra).



FINALIZACIÓN DE CRECIMIENTO EN ALTURA

Se deberán seguir todos los pasos descritos en la primera parte del presente manual desde la instalación de paneles.



A, B, C, D, E y F. Detalles de procesos constructivos y finalización de obra, Casa Amate, Tepoztlán Morelos (Fotografías Bambuterra).

REFERENCIAS

- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). 2001. *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*.
- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). 2002. *Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareque tradicionales*.
- Bambuterra. 2016. *Ficha técnica sistema bambulosa*.
- Bambuterra. 2016. *Ficha técnica sistema biopanel*.
- Correa Giraldo V. M., Terán Gilmore A., Pancardo García L. D., López Muñoz L. F., López Batis, 2021.. *Ensayos experimentales de una edificación a escala real construida con componentes prefabricados de bambú con recubrimiento encementado (Sistema BIBA)*. XXII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Correa Giraldo V. M., Terán Gilmore, A., y Pedraza Álvarez M. Á. 2022. *Metodología de diseño simplificado para edificaciones de baja altura a base de muros prefabricados de bahareque encementado de bambú*. XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Querétaro, México.
- Cruz-Armendáriz N.M., Ruiz-Sanchez E., Reyes-Agüero JA. 2023. *Servicios ecosistémicos de las especies nativas e introducidas de bambú en la Huasteca Potosina, México: usos del bambú*. Acta Botanica Mexicana 130: e2132. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm130.2023.2132>
- García Urdánigo L.L., Zambrano Álvarez L.S. 2018. *La quincha en la vivienda vernácula del sitio Los Palmares Cantón 24 de mayo*. Provincia de Manabí; República del Ecuador. BSc Thesis. Universidad San Gregorio Portoviejo, Ecuador.
- Guerrero Baca L.F. 2007. *Arquitectura en tierra: Hacia la recuperación de una cultura constructiva*. Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural-Journal of Cultural Heritage Studies 20: 182-201.
- Guerrero Baca L.F. 2017. *Pasado y porvenir de la construcción con bajareque*. Gremium 4: 69-80.
- Henneberg de León A. 2012. *Aproximación a un estudio sobre las lesiones del bahareque en el estado Zulia, Venezuela. Algunas recomendaciones para su intervención*. Informes de la Construcción 64: 63-74. <https://www.torrossa.com/en/resources/an/2495328#page=64> (accessed March 11, 2023).
- INBAR. 2015. *Norma andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado*.
- Juárez E.O., Márquez G. 1992. *Posibles impresiones de otate (Otatea acuminata ssp. acuminata) (Gramineae: Bambusoideae) en el bajareque arqueológico de sitio Loma Iguana, Ver.* La Ciencia y El Hombre 12-13: 143-159.
- Kaminsky S., Lawrence A. y Trujillo D., 2015, *Guía de Diseño para Vivienda de Bahareque Encementado*, INBAR.
- Ley 2206. 2022. Por medio de la cual se incentiva el uso productivo de la guadua y el bambú y su sostenibilidad ambiental en el territorio nacional. República de Colombia. Gobierno Nacional.

Li Ning, Wang Lei, Li Yanxia y Trinh Thang Long (2022). *The Impacts of Bamboo Forests, Products and Trade on Biodiversity in China-A Synthesis Report Based on Literature Review*, INBAR, Beijing, China.

Lopes W.G.R., Ino A. 1998. *Taipa de mão no Brasil: levantamento e análise de construções*. MSc Thesis, Universidade De São Paulo.

López Pérez C, Ruiz Valencia D. 2010. *Bóvedas de madera y bahareque en iglesias coloniales bogotanas: Estudio de cuatro iglesias del siglo XVII*. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies 23: 70-83.

Nalda E., Balanzario S. 1997b. "La casa maya", en *Arqueología Mexicana*, vol. V, núm. 28, noviembre-diciembre, 1997, pp. 6-13.

Norma Internacional ISO 22156:2021 Estructuras de bambú - Cañas de bambú - Diseño estructural.

Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción con Madera del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. 2023.

NSR-10. Título E – Casas de uno y dos pisos. (lo que tiene que ver con Bahareque encementado se encuentra especificado en los capítulos E7, E8 y E9, y Apéndice E-A). 2010. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

NSR-10. Título G – Estructuras de madera y estructuras de guadua. 2010. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Pinto V., Moreno F. y Rodríguez D. 2022. *Sistematización de resultados y lecciones aprendidas del proyecto "Apoyo a la construcción sostenible a través de la escuela taller de Manabí y el fortalecimiento de la cadena productiva de construcción con bambú"*. INBAR Documento de Trabajo, Informe Técnico. Beijing, China.

Pinto V., Moreno F., Jácome P. 2024. *Modelos de Alianzas Público-Privadas para el Desarrollo en la Cadena de la Construcción con Bambú*. INBAR Documento de Trabajo, Informe Técnico. Beijing, China.

Ruiz-Sánchez E., García-Martínez M. A., Heredia Espinoza V. 2023. *Bambúes nativos en la construcción de viviendas rurales: Bajareque en el México prehispánico y siglo XX*. Botanical Sciences 101 (4): 1088-1101. 2023. DOI: 10.17129/botsci.3330.

Sánchez Gama C.E. 2007. *La arquitectura de tierra en Colombia, procesos y culturas constructivas*. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural 20: 242-255.

Terán Guerrero A, Goguitchaichvili A, Esparza López R, Morales J, Rosas Elguera J, Soler AM, Cárdenas F, UrrutiaFucugauchi J. 2016. *A detailed rock-magnetic and archaeomagnetic investigation on wattle and daub building (Bajareque) remains from Teuchitlán tradition (NW Mesoamerica)*. Journal of Archaeological Science: Reports 5: 564-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.010>

United Nations Environment Programme. 2023. *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. Nairobi.

