



"Las escuelas comenzaron con un hombre, que no sabía que era un maestro, discutiendo bajo un árbol sus experiencias con unos pocos que ignoraban, a su vez, que eran estudiantes. Estos últimos, reflexionando sobre lo que habían ocurrido y sobre lo útil que les había resultado la experiencia de este hombre, aspiraron entonces a que sus hijos también escucharan a un hombre semejante. Pronto se erigieron los espacios necesarios y aparecieron las primeras escuelas. La aparición de la escuela era inevitable porque formaba parte de los deseos del hombre".

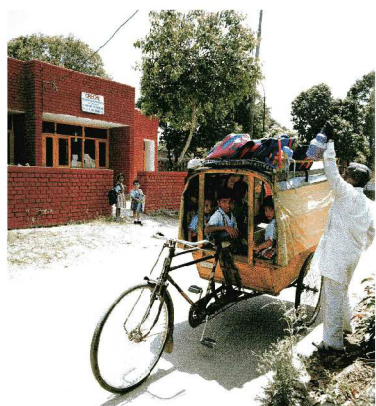
Kahn, Una escuela.

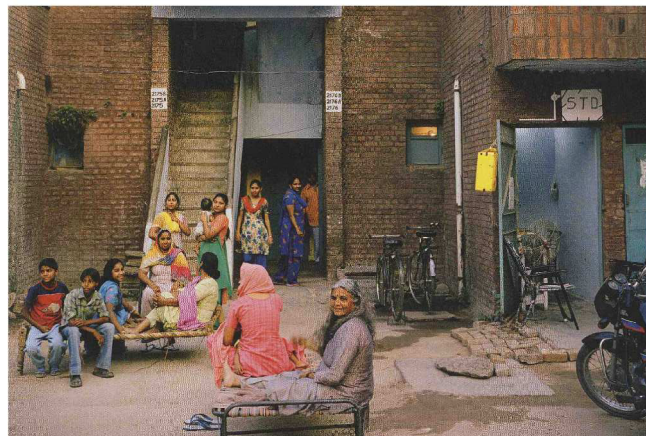


La India es uno de los países más importantes del mundo en lo que respecta tanto a su cantidad de población (**más de un billón de personas** que lo hacen el segundo país más poblado después de China), a su extenso territorio y a su dinámica y creciente economía. India **se organiza políticamente bajo el sistema democrático** y es por lo tanto la democracia más grande del mundo. Localizada en el sudeste asiático, India cuenta con la hermosa ciudad de Nueva Delhi como capital, aunque la ciudad más poblada y dinámica es la ciudad de Bombay.

La historia de India es completamente rica y a pesar de que su historia como país independiente y soberano empieza recién en el año 1947 cuando logra liberarse del yugo británico, siglos de previa historia hacen de la India un lugar único en el mundo. Además, la India siempre ha fascinado a Occidente por **sus fantásticos textiles, sedas y productos alimenticios**, haciendo tal situación que el contacto entre ambos mundos siempre haya sido cercano.

Si bien hoy en día la India es **un país que cuenta con metrópolis gigantescas y muy modernas**, gran parte de la población se encuentra sumida en la pobreza y en el **analfabetismo**, volviéndose este uno de los países con mayor deuda social del mundo. Sin embargo, ciudades como Calcuta, Bombay, Nueva Delhi y Bangalore son centros turísticos donde la economía de la India crece a pasos agigantados.





Chandigarh es una **ciudad atípica en la India**, muy diferente al entreverado laberinto tradicional de las ciudades de las provincias vecinas. Es una ciudad **llena de jardines y parques, de vías anchas, de arquitectura moderna**. Chandigarh fue el único proyecto urbano ejecutado por Le Corbusier, realizado desde 1951 hasta su muerte en 1965.

Es un legado impresionante de urbanismo, paisajismo, arquitectura, escultura, pintura e interiorismo que el prolífico maestro suizo nos ha legado en una ciudad excepcional, utópica, de arquitectura notable y candidata a ser declarada patrimonio de la humanidad por UNESCO.

Shapes	Shape No. 1	Shape No. 2	Shape No. 3	Shape No. 4	Shape No. 5	Shape No. 6
Formes	Ronde irrégulière	Ronde régulière	Colonne irrégulière	Colonne régulière	Conique	"Nee Ping"
Espèces d'arbres	Delonix regia (Gulmohar)	Ficus infectoria (Pilkhan)	Terminalia arjuna (Arjun tree)	Alstonia scholaris (Devil's tree)	Polyalthia longifolia (Ashok/Mast tree)	Callistemon lanceolatus (Bottle brush)
Caractéristiques	Effet de masse Croissance rapide Floraison : avril à juin (fleurs rouges et oranges) Brise la monotonie des plantations vertes	Effet de masse Croissance rapide Floraison : mars à avril (fleurs blanches)	Effet de masse Croissance rapide Floraison : mai à juillet (fleurs jaunes) Propriétés médicinales	Ornemental Floraison : octobre à novembre (fleurs blanches-verdâtre)	Effet rafraichissant l'été Floraison : avril (fleurs jaunes-vertes) "propagated through seeds"	croissance très rapide Floraison : mars à avril (fleurs rouges) "propagated through seeds"
Localisation	Bordure des espaces ouverts jardins	Avenues "propagated through seeds ans cuttings"	Autoroutes Routes de ville "propagated through seeds"	Avenues Jardins quelques V3 et V4	Bordure de routes V4 secteur 21 Équipements gouvernementaux du secteur 23	Petits jardins Près des grandes maisons Rose Garden

Source : BOESIGER, W. *Le Corbusier, oeuvre complète*, volume 6, 1946-1952, Zurich, éd. Girsberger, 1995, p.110.

Source photographique : SINGH, Chhatar, Rajnish WATTAS et Harjit DHILLON. *Trees of Chandigarh*, Delhi, B.R. Corporation, 1998, 204 pages.



Los tipos de árboles son seleccionados en función de su forma, su altura y su crecimiento, según si poseían flores y hojas caducas o perennes, de follaje denso o claro, y según su modo de plantación (alineados, en jardines o bosques) con varios objetivos:

- **Producir sombra** para evitar el deslumbramiento de los conductores en las vías rápidas (V3).
- **Caracterizar las vías.**
- **Arborizar el Capitolio** según el plan de "esconder toda construcción del resto de la ciudad".
- **Eliminar los límites**, ya que los parques y la arborización de las vías de Chandigarh se pensaron sin límites, en una continuidad espacial.

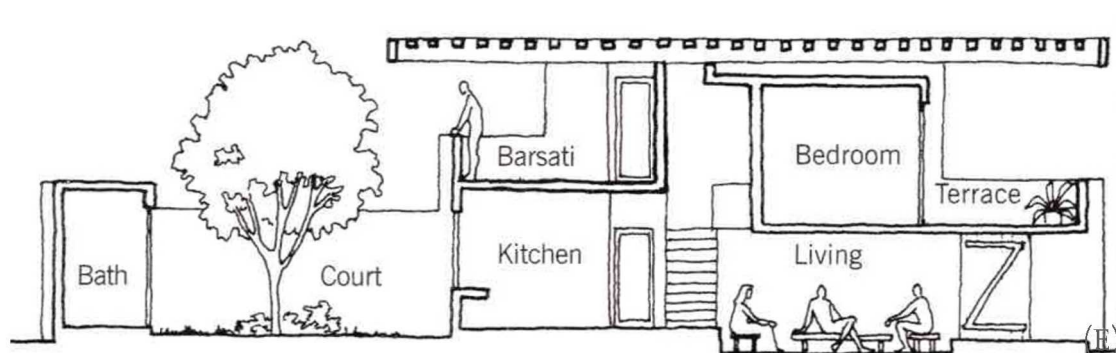
Una vez estudiado el entorno que rodeará a la escuela, debemos conocer mejor las **necesidades de los principales usuarios**, los niños. Para ello resulta interesante acudir a los especialistas, sin embargo, muchas de las pedagogías más importantes tienen muchos puntos en común, por lo que se intentará realizar un **breve resumen de algunas de las pautas utilizadas en el proyecto**:

- "El niño debe ser ayudado a actuar y expresarse, pero el adulto no debe actuar en su lugar sin necesidad absoluta" (A)  
Ideas generales sobre mi método. María Montessori.
- La necesidad de espacios donde el niño pueda estar solo, concentrado o en comunidad, ayudando a los otros. Como ocurre en la escuela de Rudrapur, Bangladesh de Anna Heringer. (B)
- La utilización de pocas barreras verticales arquitectónicas, de manera que se permita la continuidad visual del espacio.
- La importancia de las texturas, colores, cambios de nivel y la interacción con la naturaleza, ya que favorecen al desarrollo de la sensibilidad. La oficina de arquitectura de Sangath de Doshi es un claro ejemplo de dichas características. (C)
- La utilización de muros bajos, ventanas y mobiliario acorde a la talla del niño.  
"¿No son las gateras, observadas así, puertas para gatos? ¿Para cuándo, pues, puertas y ventanas que puedan disfrutar los niños?"  
Casa Colage. Los niños y la casa. Monteys.
- "Uso de materiales cercanos al hombre. Materiales que den calidez, como madera, adobe, ladrillo..."

Metodología Waldorf.

Surge entonces el planteamiento de utilizar materiales naturales que se puedan encontrar fácilmente en el norte de la India. De esta forma se decide estudiar materiales de construcción tales como los muros de adobe o el bambú. Un ejemplo de este tipo de arquitectura es la Casa para la Comunidad Suoi Re en Vietnam. (D)





Con toda la información anterior empiezan a plantearse una serie de espacios que cumplan con las necesidades de nuestros usuarios en un lugar tan peculiar como Chandigarh.

En primer lugar se plantea una **planta escalonada de espacios acondicionados intercalados con espacios abiertos que nos permiten crear recovecos en los que los niños puedan jugar, esconderse, reunirse, etc.** Estos espacios, al estar cubiertos, se convierten en espacios protegidos del sol y ventilados, en los que la continuidad del paisaje cobra importancia. En cuanto a los espacios cerrados en los que los muros de adobe permiten mantener una temperatura agradable en el interior, también se cubrirán con una **doble cubierta** que, como nos mostraba Charles Correa en sus viviendas de Cablenagar Township (E), creará una sombra que protegerá la cubierta principal de esos espacios, manteniendo una temperatura más fresca.

En segundo lugar, los **espacios interiores pretenden adaptarse a la medida de los niños**, de esta forma, se utilizarán varias alturas para mostrar los diferentes espacios sin necesidad de crear límites reales. Un ejemplo de este tipo de espacios es la Biblioteca Safe Haven de TYIN Tegnstue. (F)

Por último, se intenta dar una continuidad entre los espacios interiores y exteriores, haciendo que estos últimos se modifiquen de una manera natural, a través del mismo bambú utilizado en la construcción, para originar **pequeños puntos de juego en los que el niño establece las normas de cómo debe usarlos.** (G)



"Las propuestas de los niños: a ellos les gusta ocultarse, buscar rincones a ras del suelo o trepar; tener a su disposición el agua, la tierra, la hierba, las plantas; poder utilizar materiales diversos para hacer lo que en cada momento tengan ganas de hacer. En sus jardines hay, por tanto, frecuentes desniveles, grutas, torres, cabañas, fortines, pequeños lagos, estanques, fuentes, canales, leños, piedras, arena.

Es como si nos dijese, en definitiva: "dadnos un espacio rico, articulalo, no trivial, no estructurado, y ya sabremos nosotros cómo utilizarlo".

La ciudad de los niños. Francesco Tonucci.



**Zona exterior de exposición y reunión**

Espacio de usos múltiples donde bien se pueden exponer los dibujos de los niños, dar una clase al aire libre o simplemente estar.

"Las escaleras han sido siempre un buen lugar para jugar, por su estructura articulada que permite sentarse y charlar o disponer juguetes en ellas".

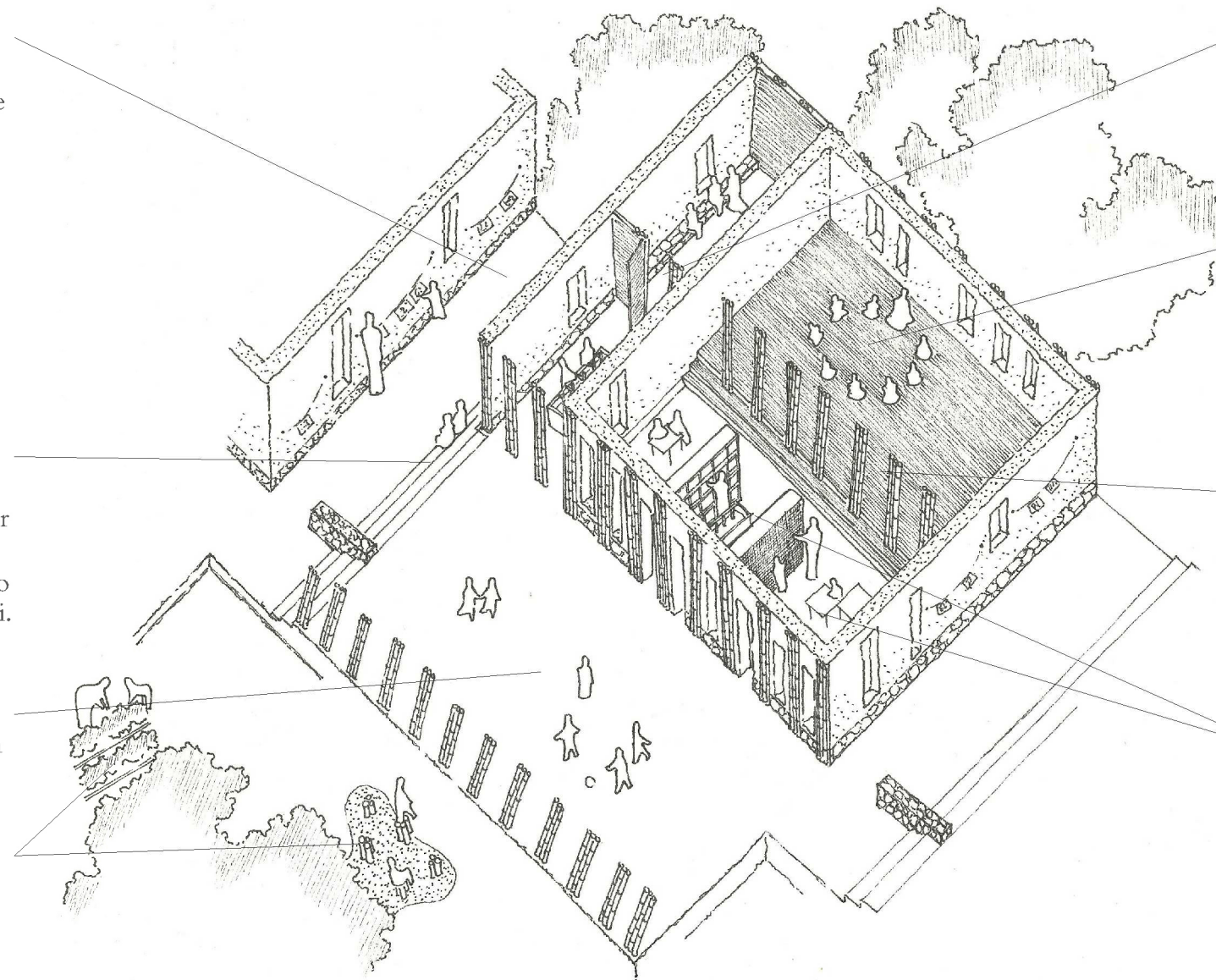
La ciudad de los niños. Francesco Tonucci.

**Zona de motricidad**

Espacio común donde los niños pueden jugar y que actúa como aula exterior.

**Jugar bajo los árboles**

La verandah se abre al exterior creando una conexión directa con las zonas de juego y plantación del jardín.



**Rutinas de aseo**

En este espacio el niño sigue aprendiendo, por ello los lavabos son un único elemento donde puedan ayudarse y relacionarse unos con otros.

**Zona de descanso, reunión y meditación**

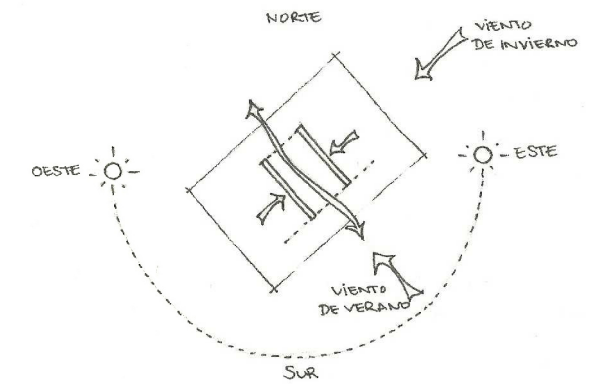
Este espacio tranquilo con suelo de bambú y menor altura tiene la posibilidad de controlar la cantidad de luz natural mediante persianas de bambú.

**Almacenamiento y limpieza**

Aquí se producen algunas de las rutinas domésticas cotidianas: limpiar y ordenar.

**Zona de trabajo individual**

Espacio con mayor iluminación en el que puedan aprender determinadas tareas que necesiten de una mayor atención, por lo que es necesario que el número de niños sea menor.



Al observar las condiciones climáticas de Chandigarh advertimos tres características a tener en cuenta: la **diferencia de temperaturas**, un **grado de humedad considerable** y las **fuertes lluvias durante la época del monzón**.

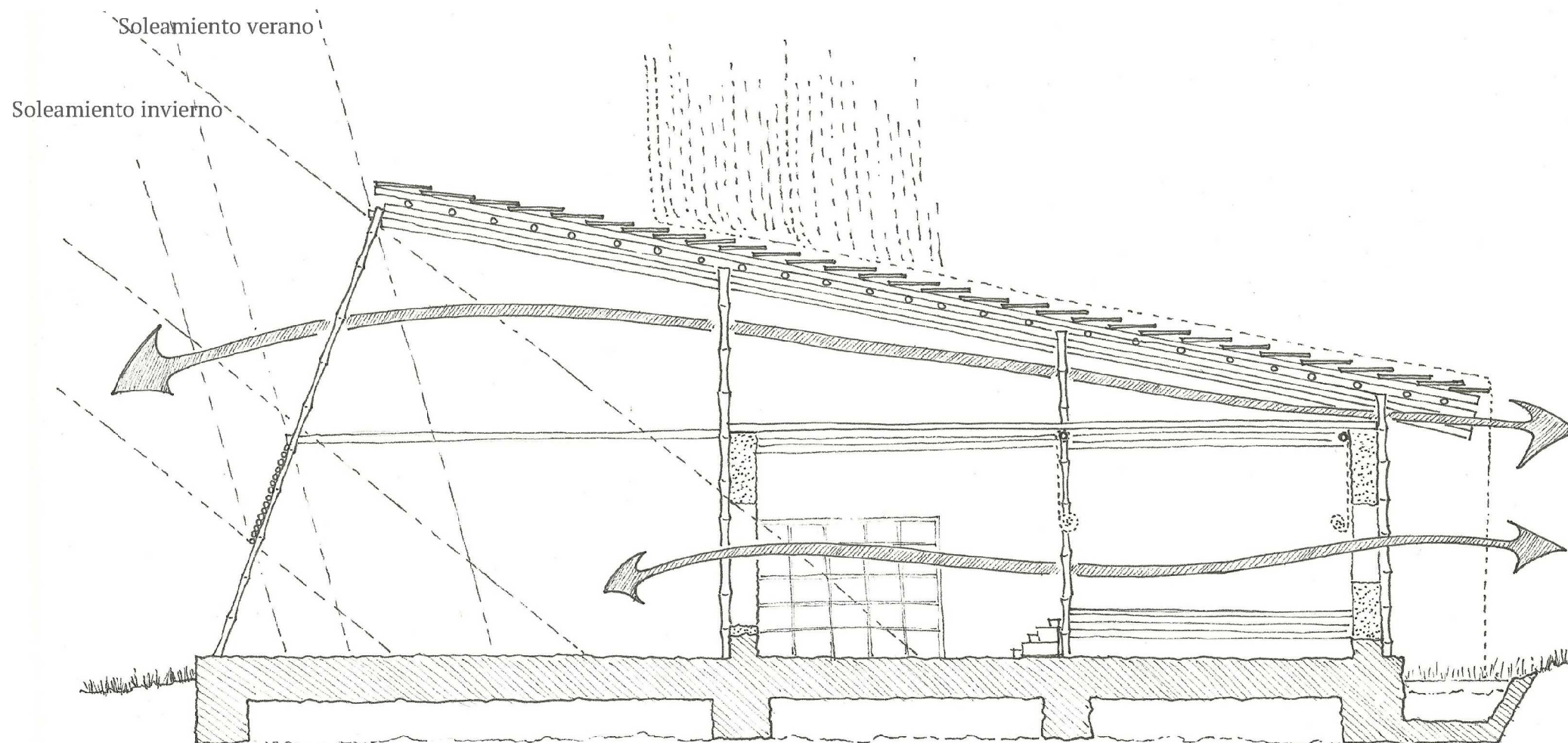
Para hacer frente a dichas características se pretende realizar un edificio que responda a ellas a través de su forma.

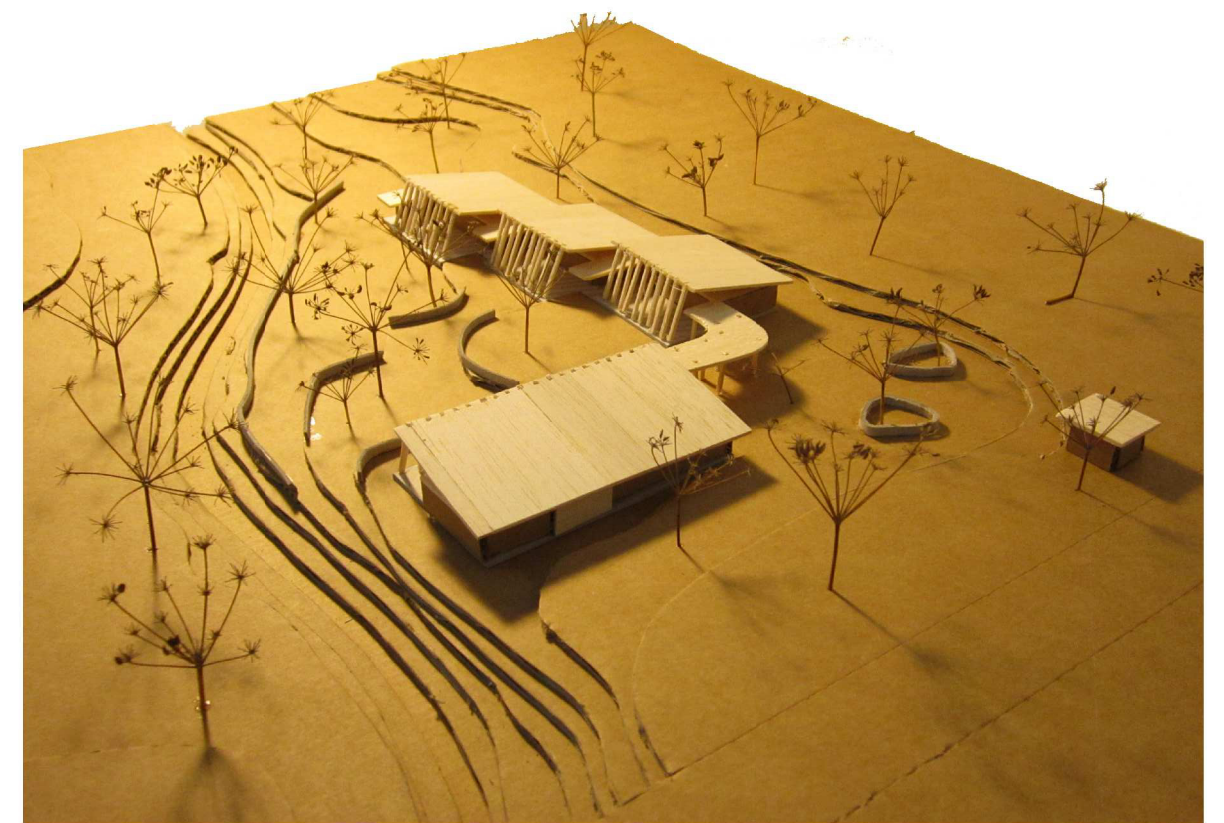
Así, el edificio cuenta con **dos cubiertas**, la que cierra los espacios interiores y la que protege a la primera de la radiación solar directa, de manera que se crean corrientes de viento entre ellas que favorecen una mayor protección ante las altas temperaturas. Esta doble cubierta también permite crear **espacios exteriores protegidos** y **permitir la entrada de luz en invierno**, a la vez que la controla en verano.

Por otra parte, los espacios interiores utilizan como cerramiento **gruesos muros de adobe** con una gran inercia, lo que permite que se mantenga mejor la temperatura interior independientemente de cual sea la exterior.

Estos muros contarán con huecos que permitan una **ventilación cruzada**, de manera que la sensación de humedad se reduce.

Por último, la **cubierta inclinada servirá para evacuar el agua de las fuertes lluvias del monzón**, que será recogida en la parte posterior del edificio y que se guiará hasta el río a través del canal posterior.



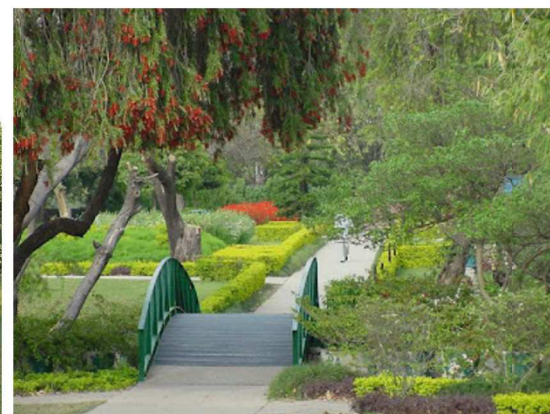
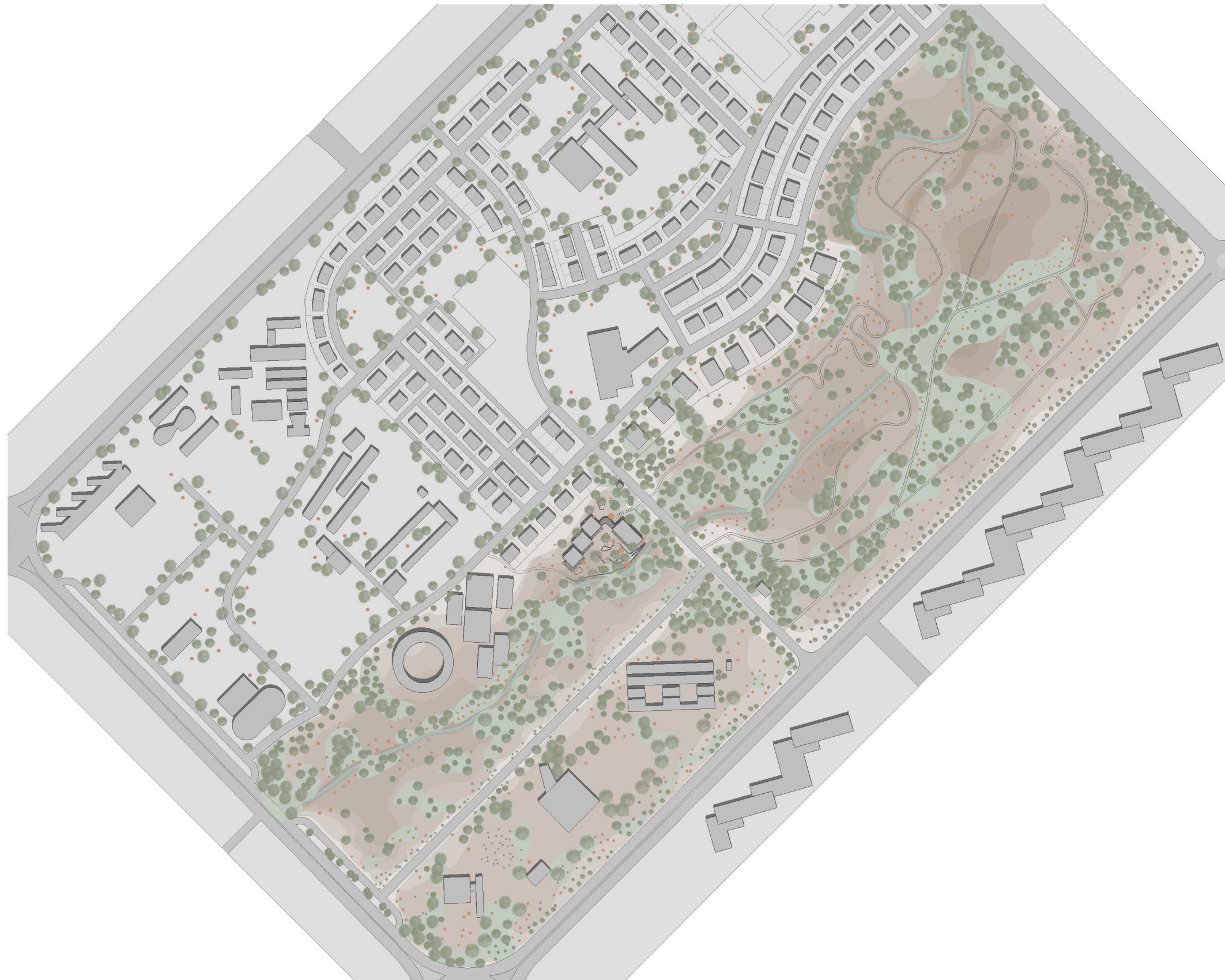


MAQUETA ENTORNO  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



La elección de Chandigarh surge como un nuevo desafío, un intento de que el último proyecto de la carrera se convierta en un método de **aprendizaje personal**. De esta forma, se busca una **cultura diferente, alejada de las costumbres que conocemos**.

Las primeras intenciones al plantear este proyecto es hacer frente a **nuevos parámetros climáticos y estudiar otros métodos de construcción**, con el fin de que se convierta en un ensayo de las muchas posibilidades que nos ofrece la arquitectura.



Leisure Valley se encuentra situado en el Sector 10 y pertenece a La Vallée des loisirs, un enorme parque lineal que atraviesa la ciudad y que está concebido como una zona cultural y recreacional más informal, en la que Le Corbusier incluyó teatros al aire libre, tratamiento paisajista y monumentos.



MAQUETA ENTORNO  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



La elección del emplazamiento definitivo debe responder a una serie de condiciones:

- Estar situado cerca del riachuelo, de manera que este pueda actuar como límite natural del recinto escolar y a su vez se introduzca un elemento tan importante como el agua dentro de la enseñanza de los niños.
- Toma importancia la existencia de una pequeña pendiente que permita crear diferentes desniveles tanto en el interior como en el exterior del edificio que promueven el juego, el escondite, el contacto visual, etc.
- También es importante que esté en contacto con una vía secundaria, de manera que el tráfico sea menor y, por lo tanto, también el riesgo para los niños.





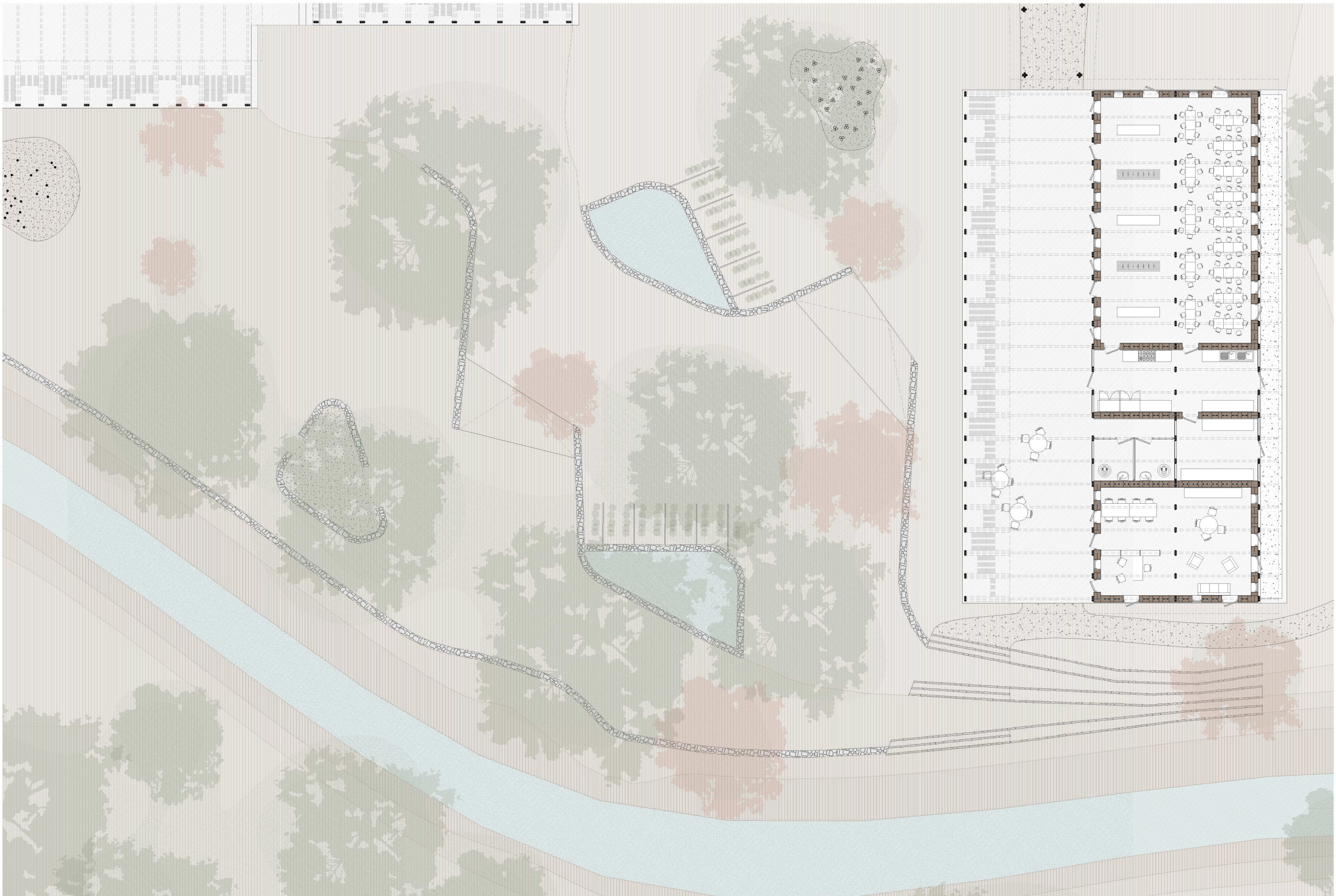




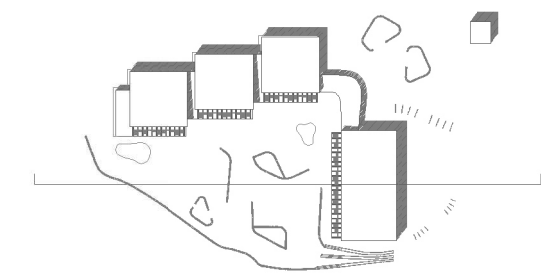
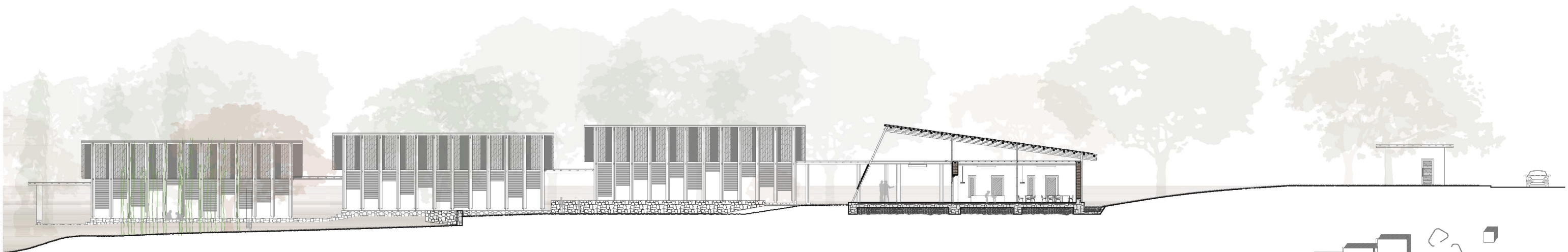
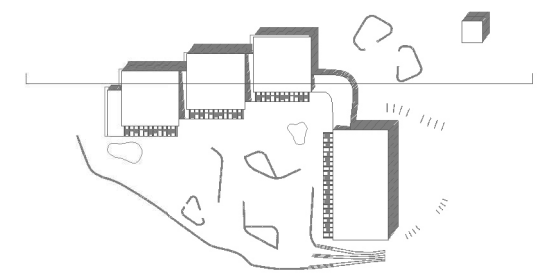
MAQUETA ENTORNO  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH

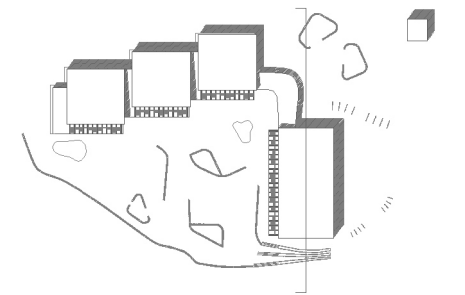
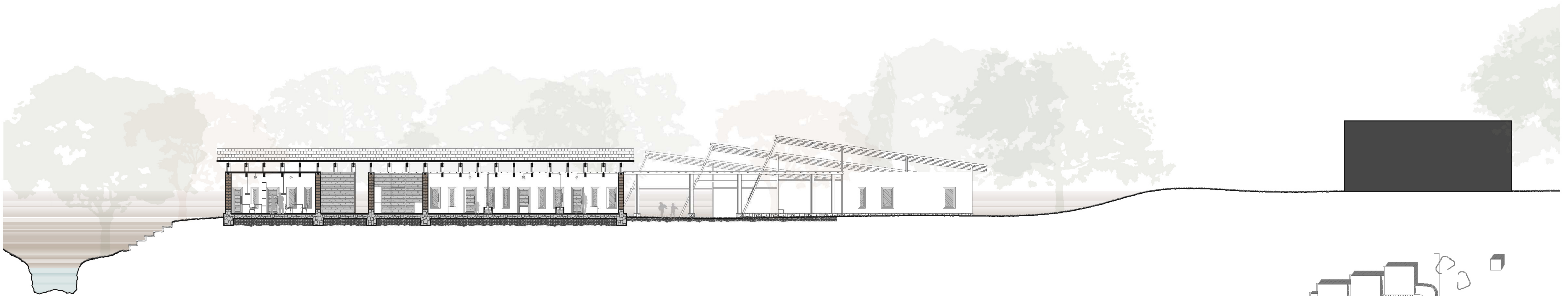
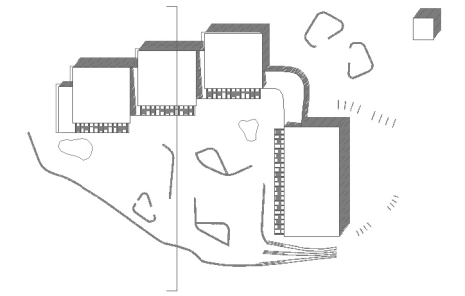
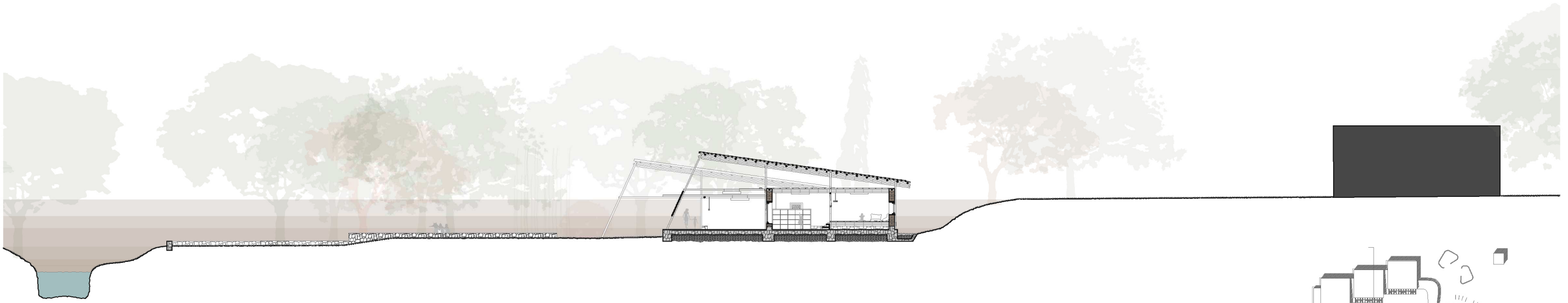


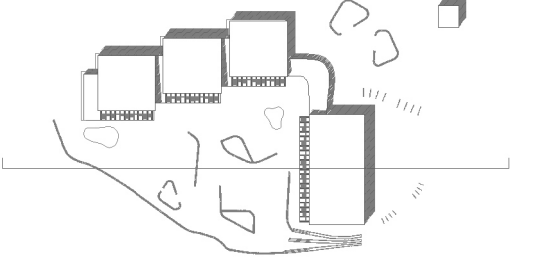
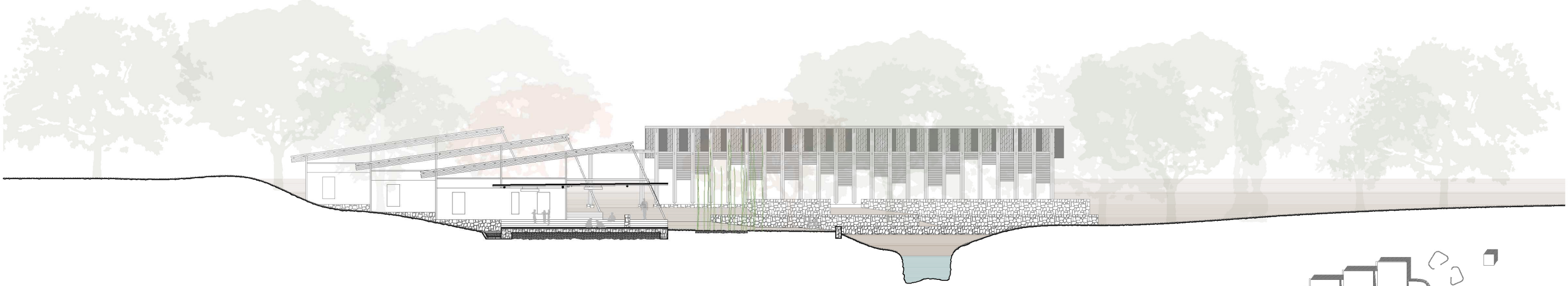
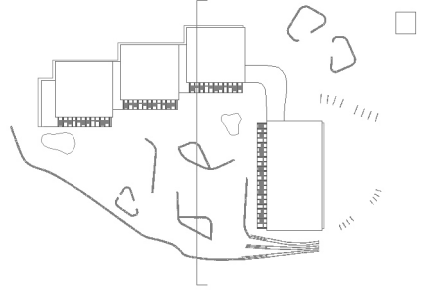
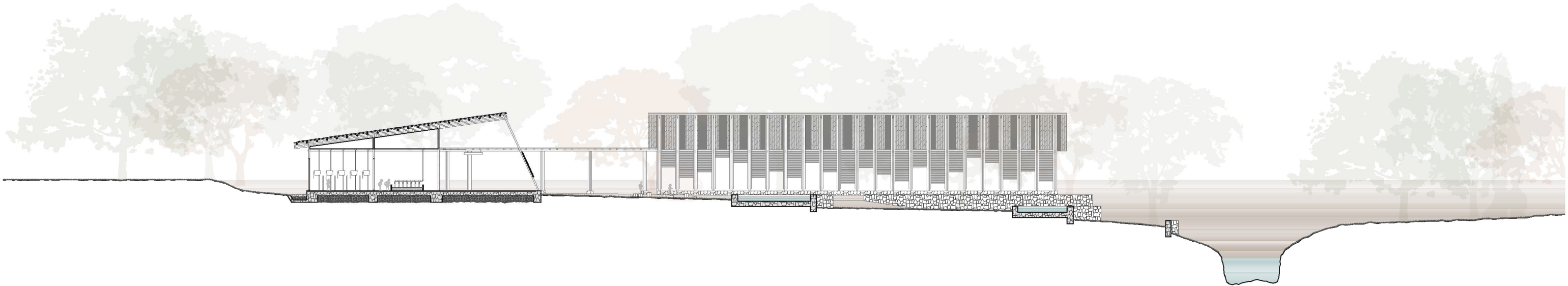
PLANTA AULAS Escala 1:200  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH





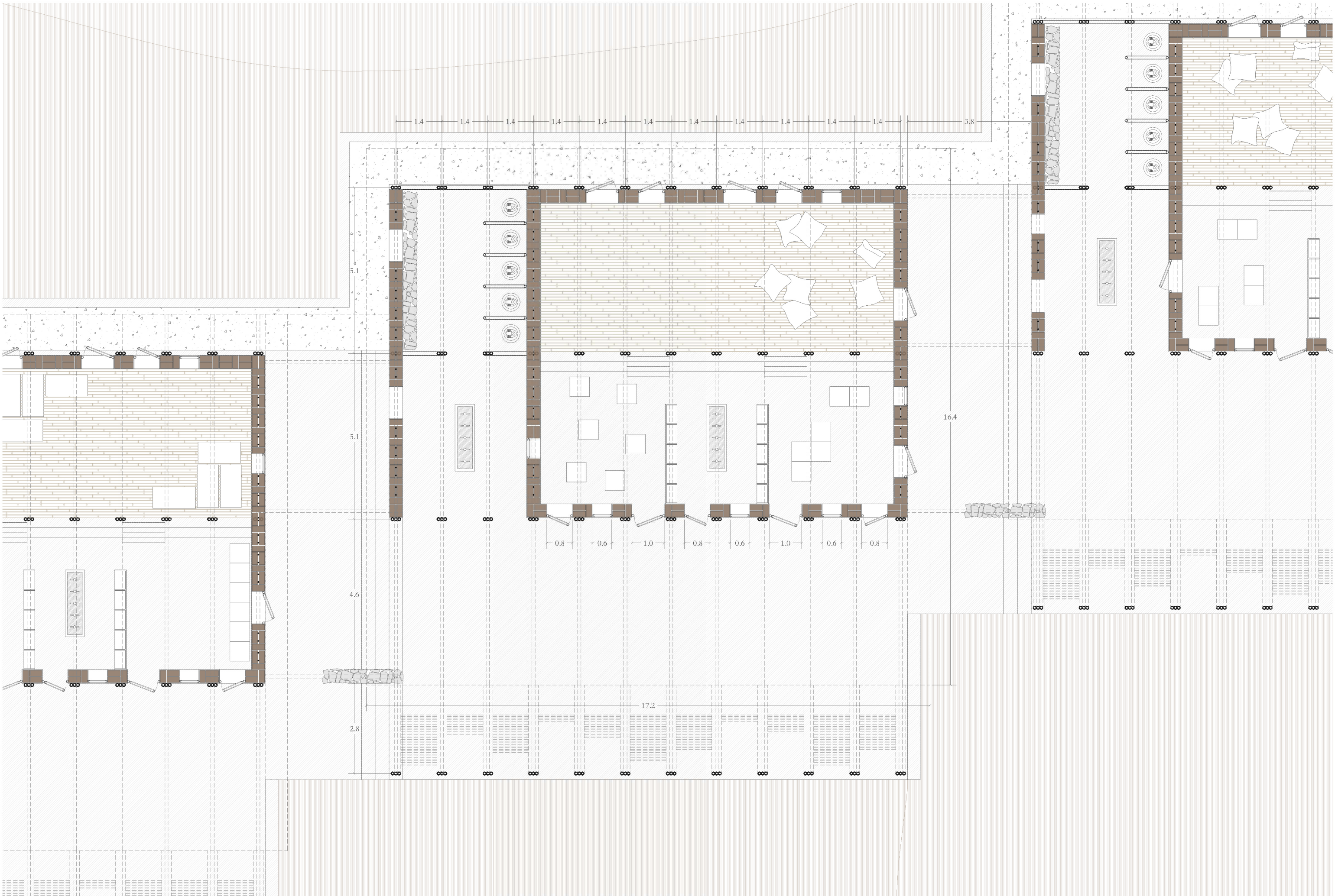


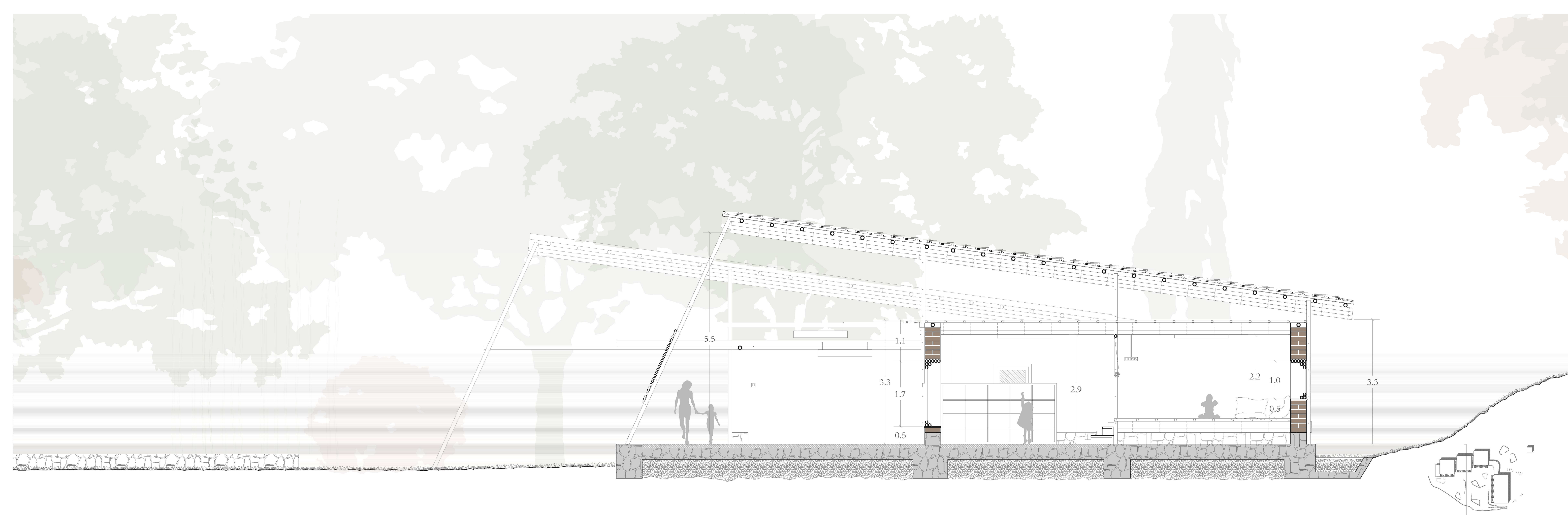


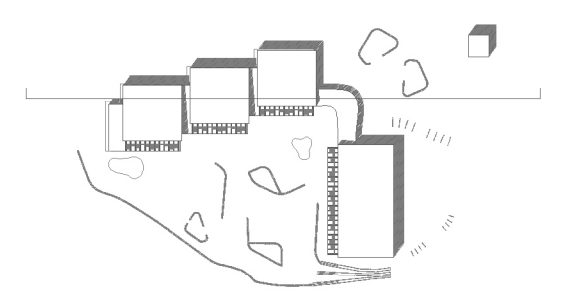
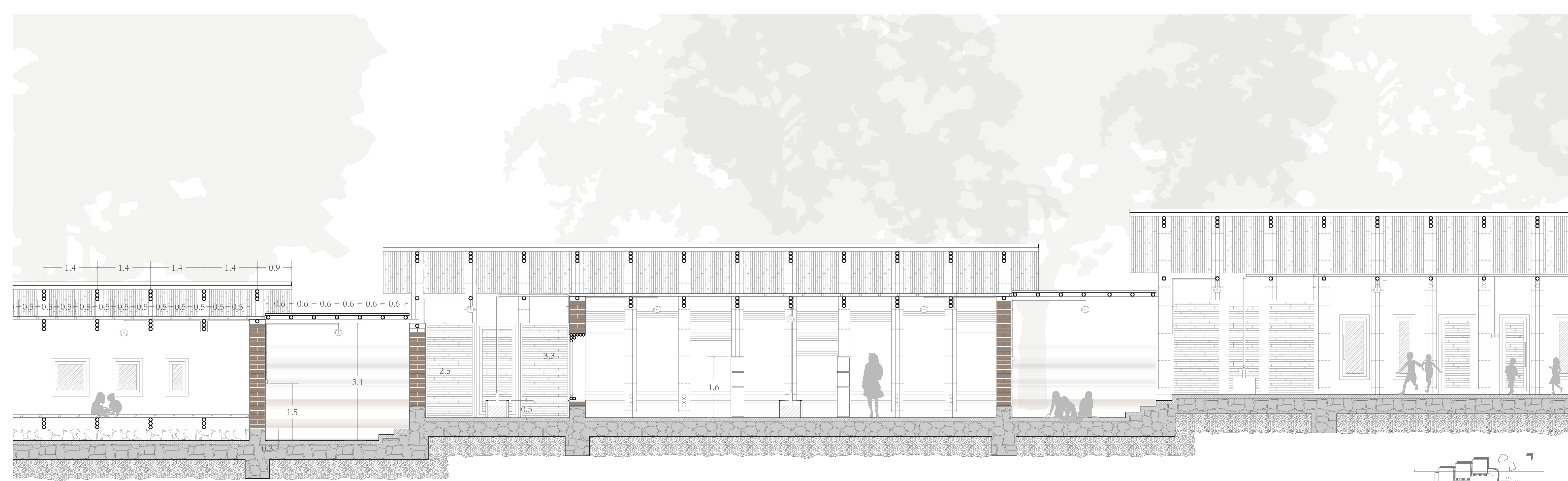


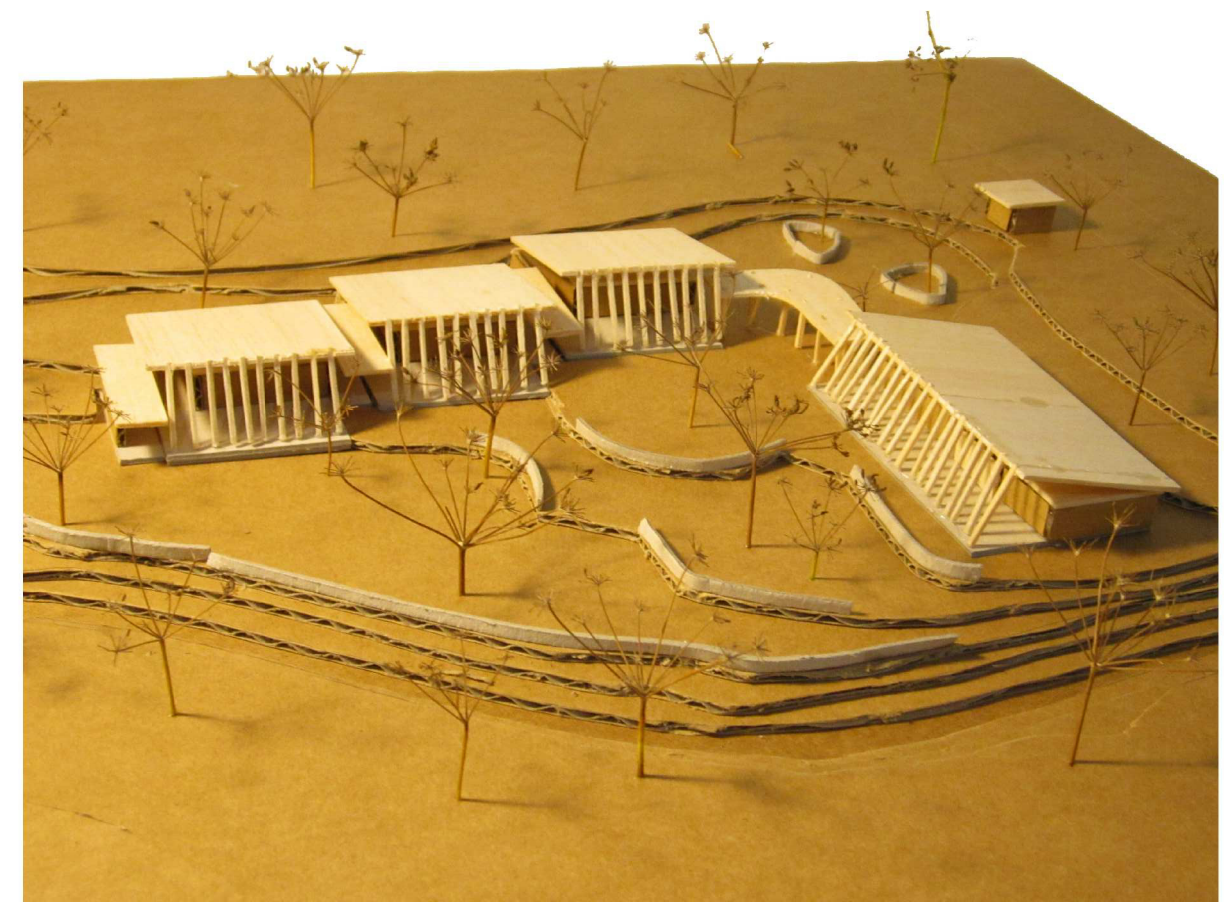




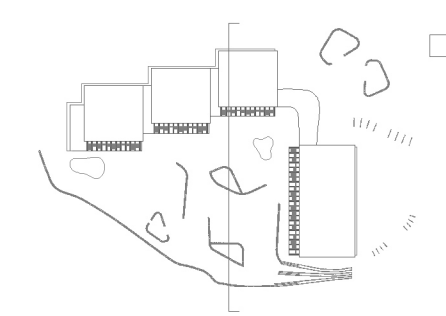
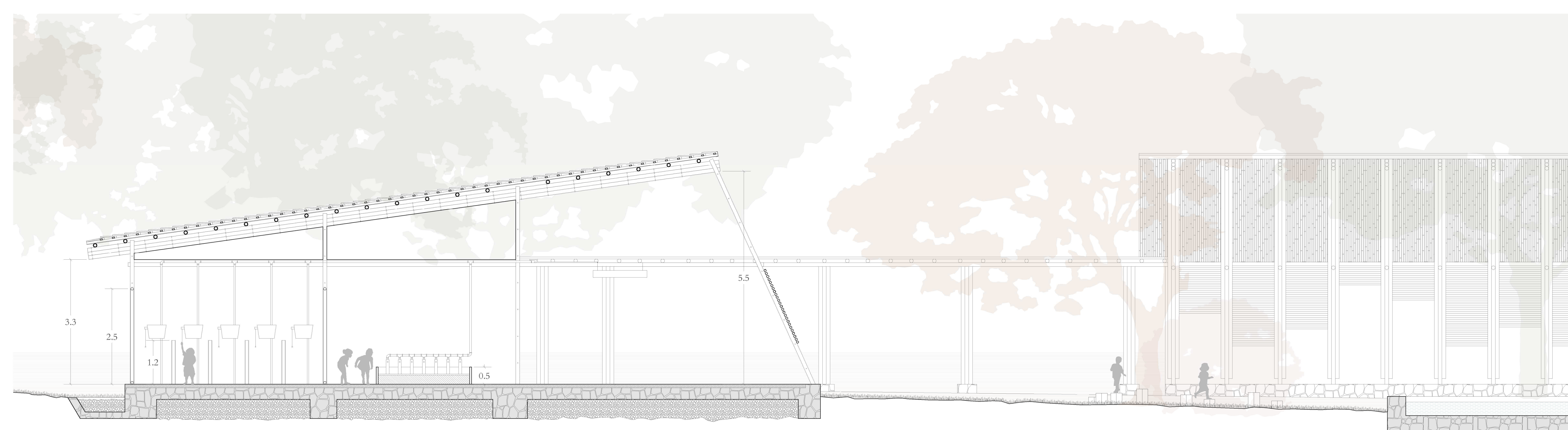


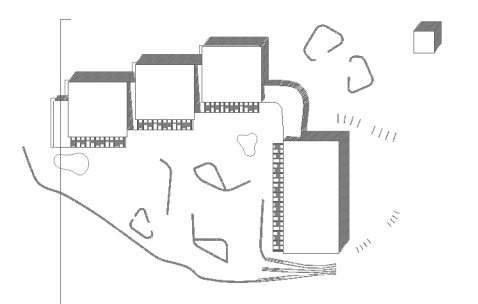
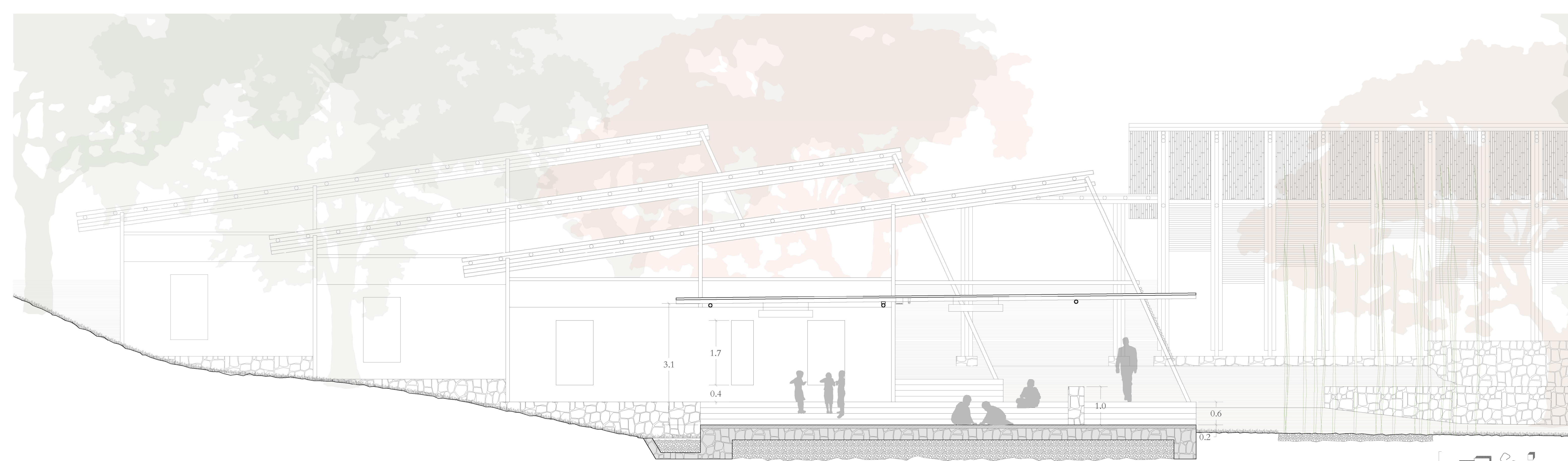






MAQUETA ENTORNO  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH











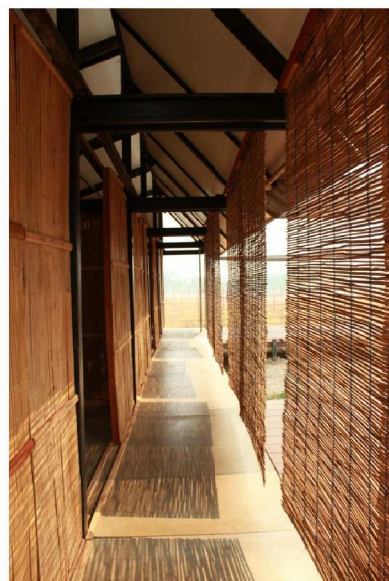
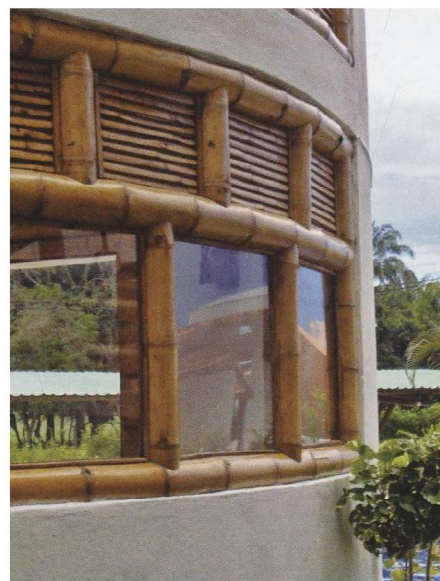
Posee una estructura de ejes vegetativos segmentados por nudos sólidos, que crece verticalmente hasta su altura máxima entre 30 y 180 días según las especies, pero su máximo desarrollo varía entre 10 y 100 años. Su tallo, a diferencia de los árboles, es hueco aunque dividido por tabiques.

Es una planta perenne, es decir, cuando se tala nace otra planta.

La edad adecuada de corte del bambú está entre 2 y 6 años dependiendo de la madurez y de las especies y aplicación final: entre uno y tres años para aplicaciones artesanales y pulpa de papel, y de tres a seis años, para aplicaciones estructurales.

El bambú, al igual que la madera, puede sufrir ataques de coleópteros, isópteros y hongos y también existen tratamientos de protección. Es recomendable curar el bambú (pérdida del contenido de humedad y expulsión de sustancias diversas) para conservar el color natural. Se realiza de modo natural dejando recostados los tallos cortados lo más verticalmente posible, pero también se puede realizar mediante calentamiento, secado (al aire o en estufa), lixiviación, impregnación, encalado, etc.

La estructura anatómica del entrenudo tiene una parte interior gruesa y altamente lignificada, mientras que la exterior está recubierta de cera de la que se deduce su resistencia a la absorción de agua. Sus fibras proporcionan la resistencia a la pared y son largas, rectas y afiladas, con una estructura polilaminar, que trabajan con la máxima capacidad en la dirección longitudinal y se comportan dentro de la pared como las barras de acero en el hormigón armado, al que ayudan a rigidizar los nudos.



Como cualquier material, el bambú tiene ventajas y desventajas:

### Ventajas

- Extraordinarias características mecánicas que lo hacen apto para cualquier uso estructural.
- La forma circular hueca lo hace liviano, permite la construcción rápida y es fácilmente transportable.
- Es apto para construcciones sismorresistentes debido a su rigidez y elasticidad que evita su ruptura al curvarse.
- Su mecanización es sencilla y se realiza con herramientas comunes.
- No posee corteza a eliminar ni necesita pulidos o acabados porque dispone de un esmalte natural. Puede recibir acabados de pintura, barniz, laca, aceites y ceras transparentes.
- Tiene bajo costo y altas posibilidades estéticas.
- Dado su mayor densidad y su alto contenido de sílice, es más resistente al fuego que la madera. Además el nudo actúa como retardante en la ignición. Los componentes estructurales horizontales son más resistentes que los verticales y su ignición es lenta por lo que se incrementa el tiempo de evacuación en caso de incendio: es un material combustible pero retardante.

### Desventajas

- Presenta variaciones en el diámetro por lo que se dificulta la coordinación dimensional.
- Puede ser atacado por insectos xilófagos o pudrirse por la acción de la humedad permanente. Para evitar la subida del agua por capilaridad se emplearán impermeabilizantes tradicionales como alquitranes, láminas bituminosas o de polietileno. El revestimiento exterior ha de ser estanco al agua y resistente a la humedad. Además, los detalles constructivos han de garantizar la ventilación de todos los encuentros y la salida de la humedad de las cavidades si hubieran penetrado.



MAQUETA DETALLE  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



El adobe es un bloque macizo de barro obtenido de la mezcla maleable de tierra arcillosa, arena, gravas de diferentes tamaños y fibras vegetales como la paja, en una proporción aproximada de arcilla/limo: 1, arena 55-64% y paja 1%, que se proyecta en un molde sin fondo, bien sea metálico o de madera previamente impregnado en aceiteo sumergido en agua, y se prensa con unos golpes, después se levanta con cuidado el molde dejando a secar el adobe propiamente dicho sobre una superficie llana. Posteriormente se utiliza como pieza en albañilería convencional con argamasa de arena y barro o enriquecida con cal.

El acabado final del muro será uno de los puntos más importantes, puesto que este será el que proteja al adobe. Para ello se utilizará un revoco de barro multicapa: Primero una capa gruesa que iguale la superficie de la fábrica de adobe para la aplicación del acabado final, de espesor 1-2 cm. La composición de la tierra es similar a la del adobe pero con paja más fina. Se utiliza un tamiz de 0,2-0,5 cm.

Después una o dos capas finas intermedias para la terminación final, de espesor aproximado 0,5 cm. Su composición aproximada será de 50% arcilla - 50% arena. Se utiliza el tamiz de 0,1-0,2 cm y puede aplicarse un aditivo de cal menor al 5 % en sucesivas capas hasta el 10 %.



En cuanto a las características del material, al igual que el bambú ofrece muchas ventajas e inconvenientes a los que habrá que hacer frente:

#### Ventajas:

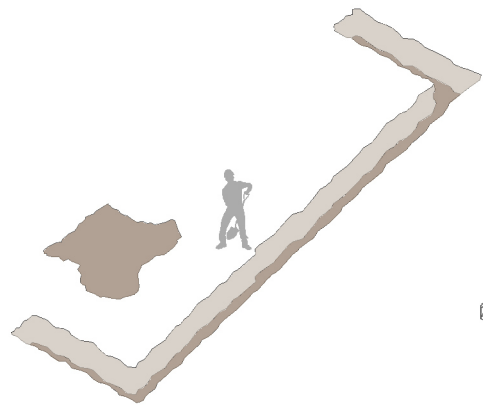
- Es un material saludable, ya que no emite materiales volátiles y sus emisiones de radón es 10 veces menor que en el cemento. Además la composición de la tierra es capaz de absorber contaminantes, almacena el calor y equilibra la humedad del aire, por lo que mejora la calidad del aire interior.
- La tierra actúa como aislante acústico e ignífugo.
- Su ciclo de vida es de bajo costo energético: la preparación, transporte y puesta en obra de la tierra requiere cerca del 1% de la energía requerida cuando hablamos de materiales como el hormigón armado o los ladrillos.
- Tiene un ciclo de vida cerrado, es decir, la tierra puede ser devuelta íntegramente al medio a bajo coste o ser reutilizada.

#### Desventajas:

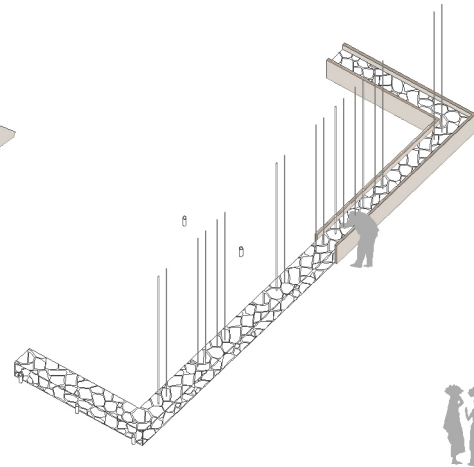
- La tierra no es un material de construcción estandarizado, es decir, dependiendo del emplazamiento la tierra tendrá unas características físicas y mecánicas diferentes que tendrá que tenerse en cuenta para la preparación.
- No es resistente al agua, por lo que debe ser protegida del agua y el hielo especialmente en climas húmedos. Además de la protección de aleros que sobresalgan como mínimo 60 cm y un sobrecimiento de 30 cm, se propone realizar un mantenimiento regular del revoco para garantizar la buena conservación del muro.
- La tierra se agrieta cuando se seca debido a la evaporación del agua utilizada durante la mezcla. Este agrietamiento puede ser minimizado reduciendo el contenido de arcilla o agua, u optimizando la distribución granulométrica.
- También tiene limitaciones estructurales, sismorresistentes y de altura.



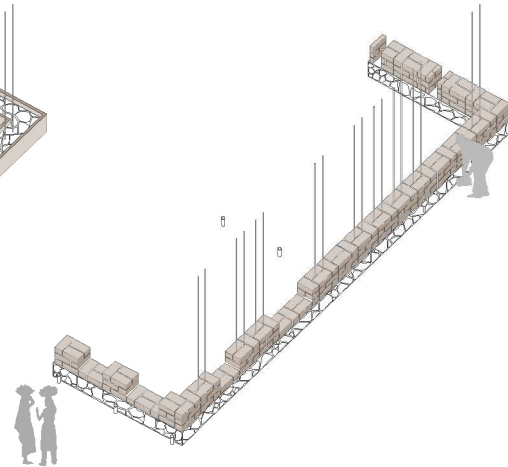
PERSPECTIVAS  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



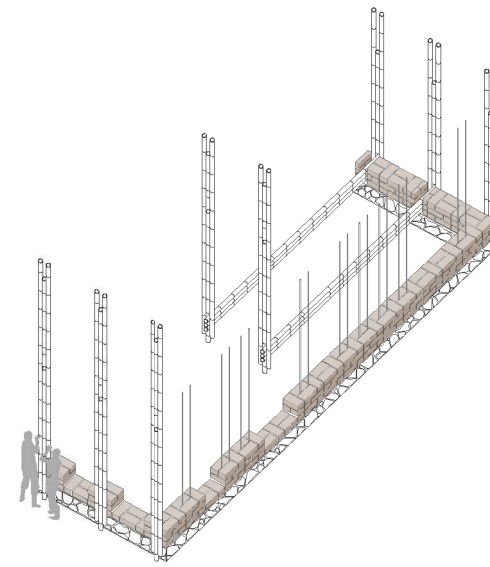
Se realiza la excavación y nivelación según los planos de cimentación. Se ensaya el terreno, corrigiendo la cantidad de arcilla si fuese necesario, para poder utilizar el terreno que sobre en la realización de adobes.



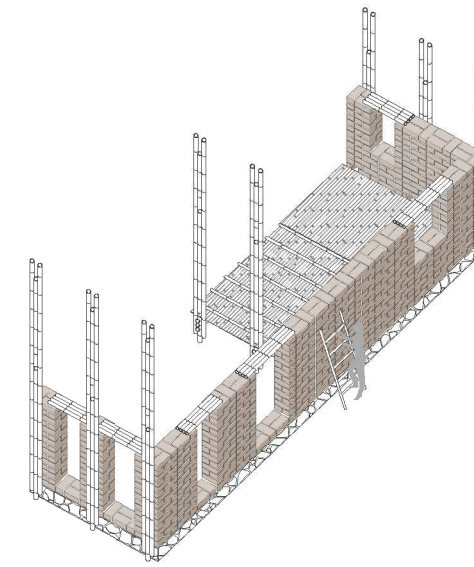
Se ejecuta la cimentación mientras se colocan los tubos que servirán como anclaje perdido entre el bambú y la cimentación. Se elabora el sobrecimiento colocando los arriostros verticales del muro de adobe.



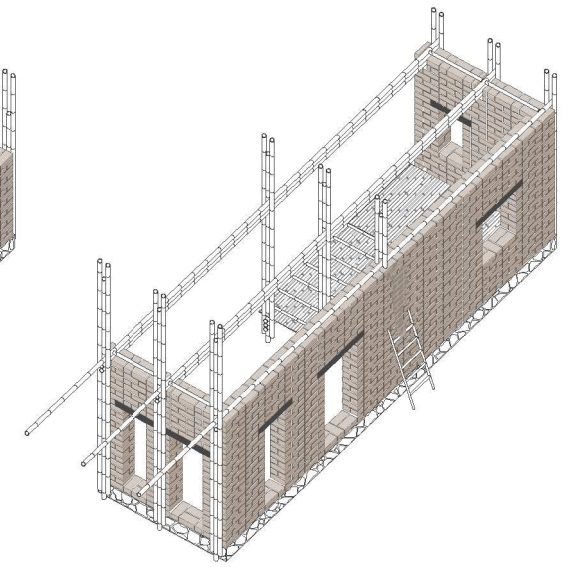
Se colocan los adobes con juntas del mismo material de 2 mm de grosor.



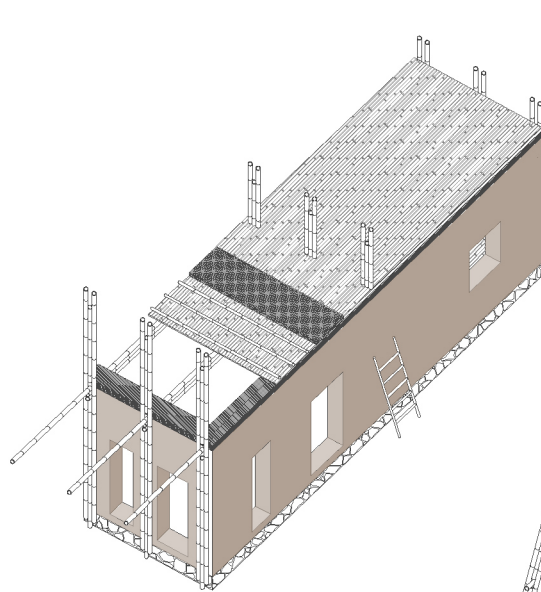
Se sitúan los pilares de bambú en sus correspondientes lugares, de manera que al mismo tiempo que se realiza el muro de adobe se va arriostando verticalmente con los pilares de bambú.



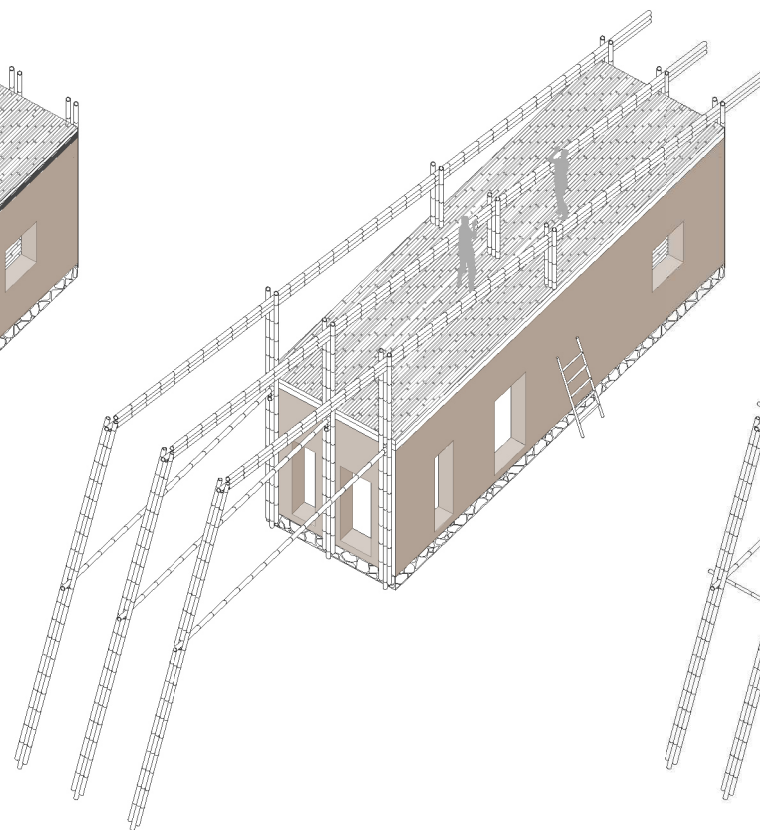
Una vez alcanzada la altura correspondiente de las ventanas, se colocan los dinteles de bambú.



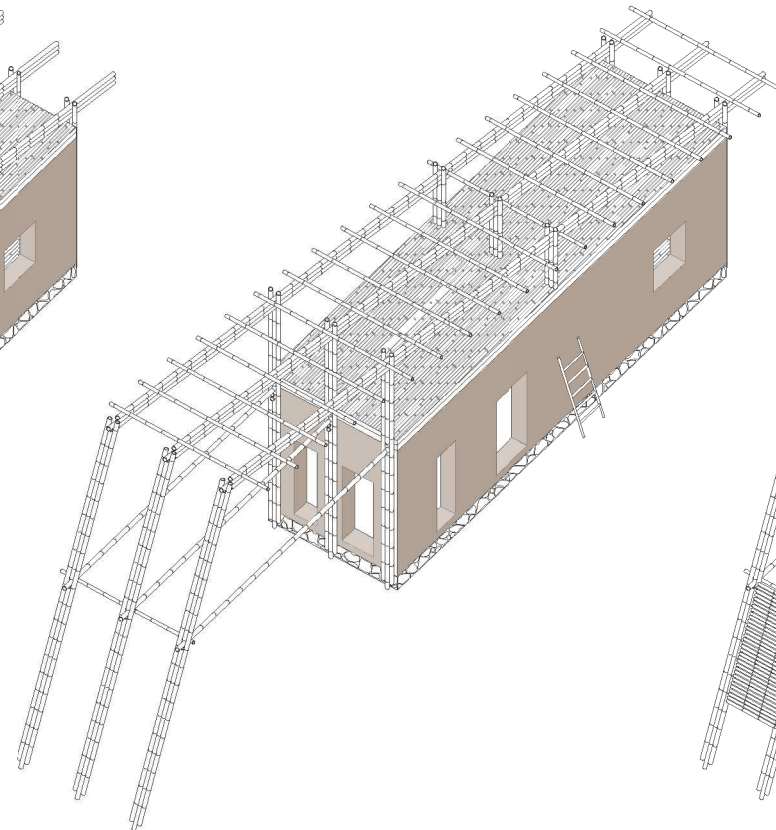
Continuando el muro de adobe, éste se termina con una viga de coronación de bambú y material similar al de los adobes y se colocan las vigas de bambú en sus correspondientes huecos previstos anteriormente.



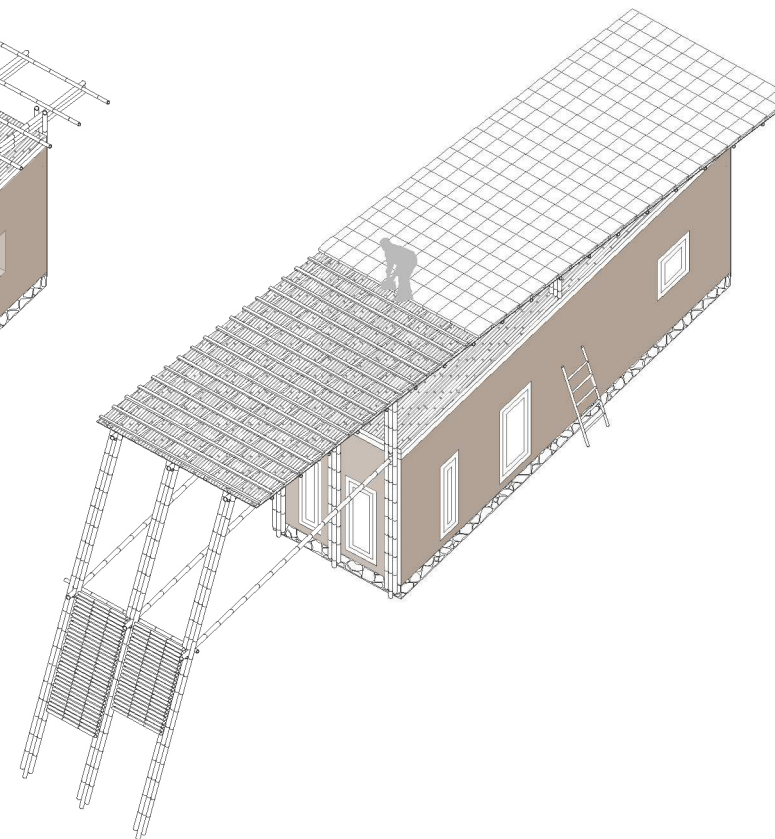
Se coloca el techo de bambú y aislante de lana de oveja tratada, cerrando así el espacio interior.



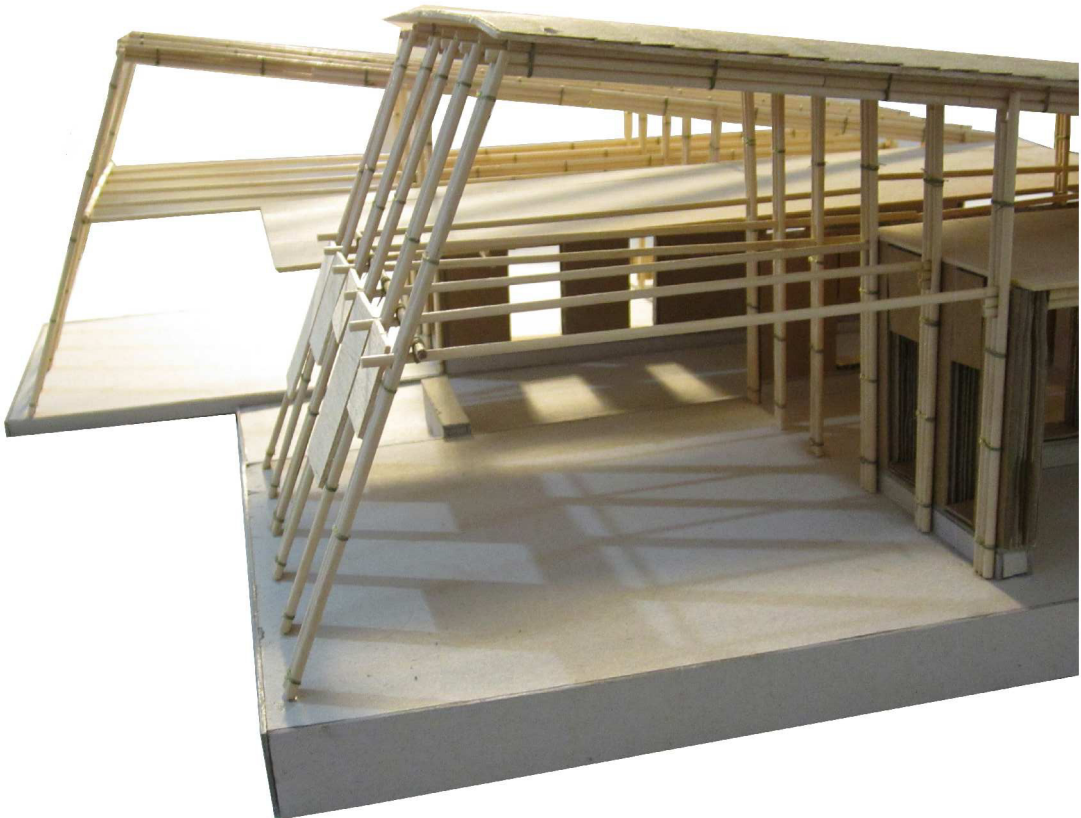
Se disponen las vigas que sostendrán la segunda cubierta.



Sobre estas vigas se atan los rastreles de bambú al mismo tiempo que se arriostran los pilares de mayor longitud.

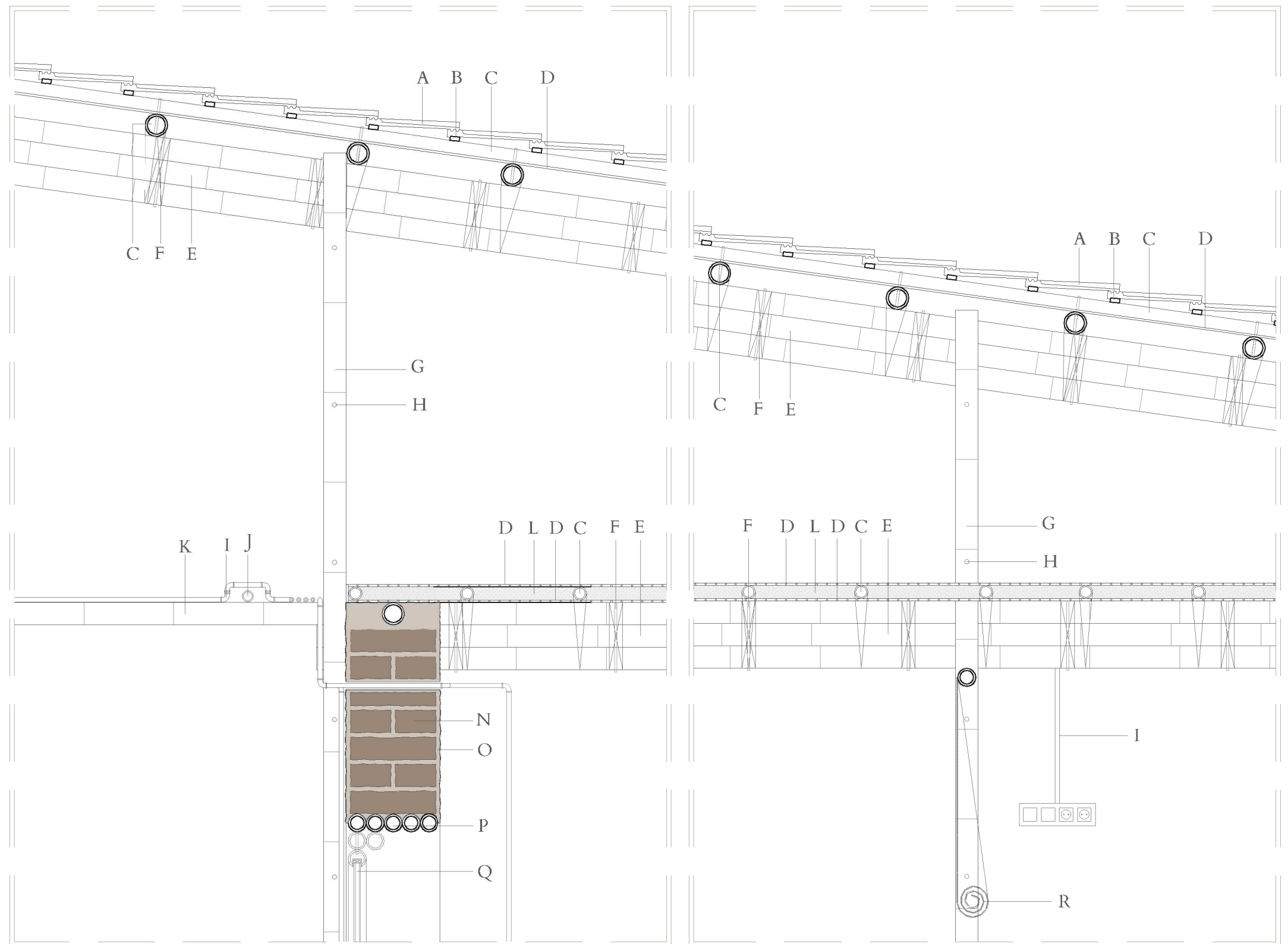


Se sitúa el tablero de bambú y sobre este los rastreles que sostendrán las tejas cerámicas. Para terminar, se realizan las carpinterías y otros detalles.

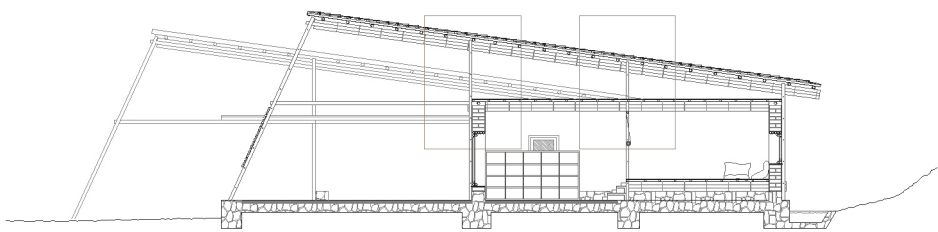


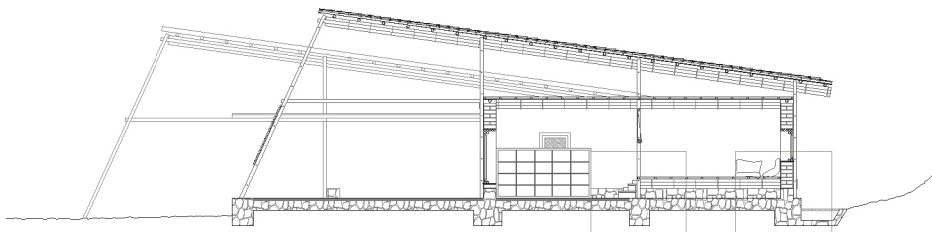
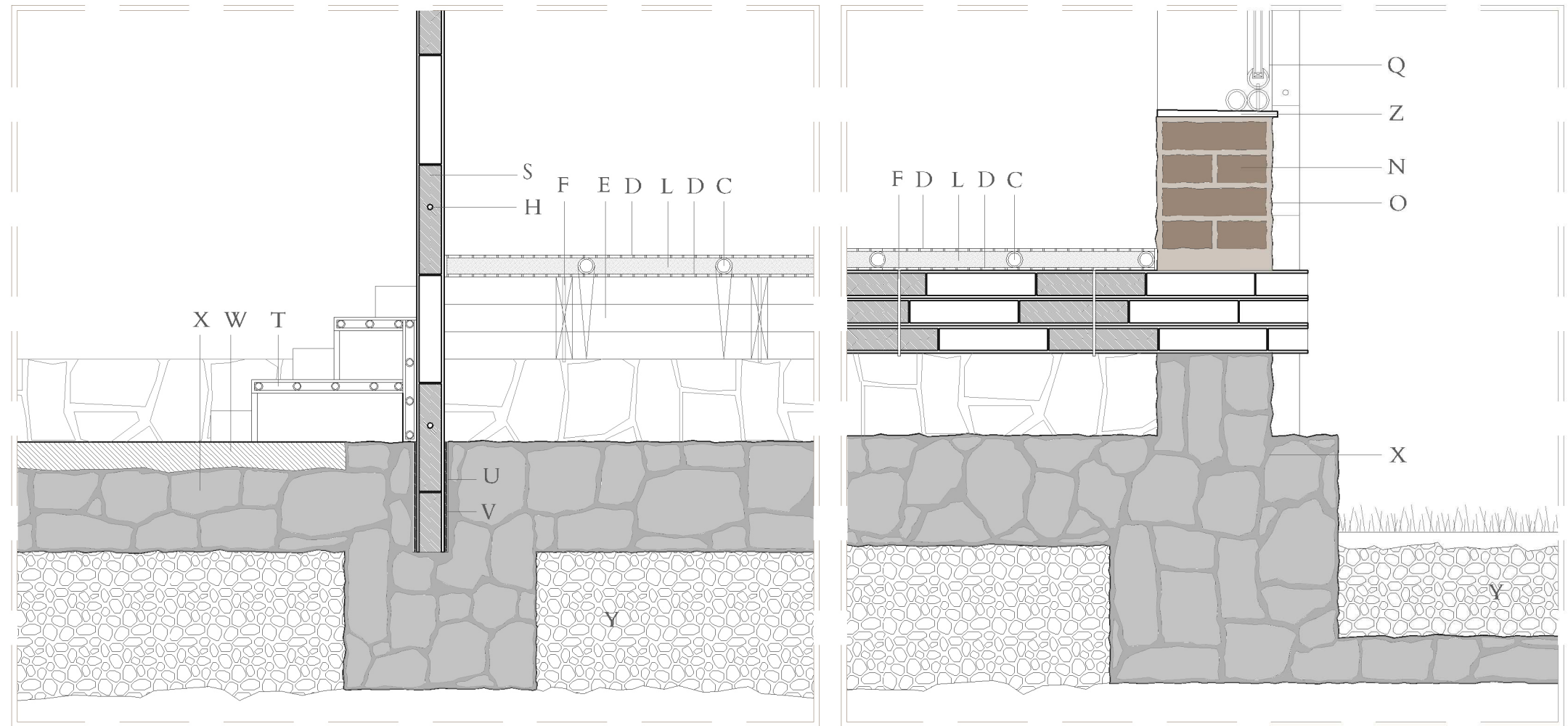
MAQUETA DETALLE  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



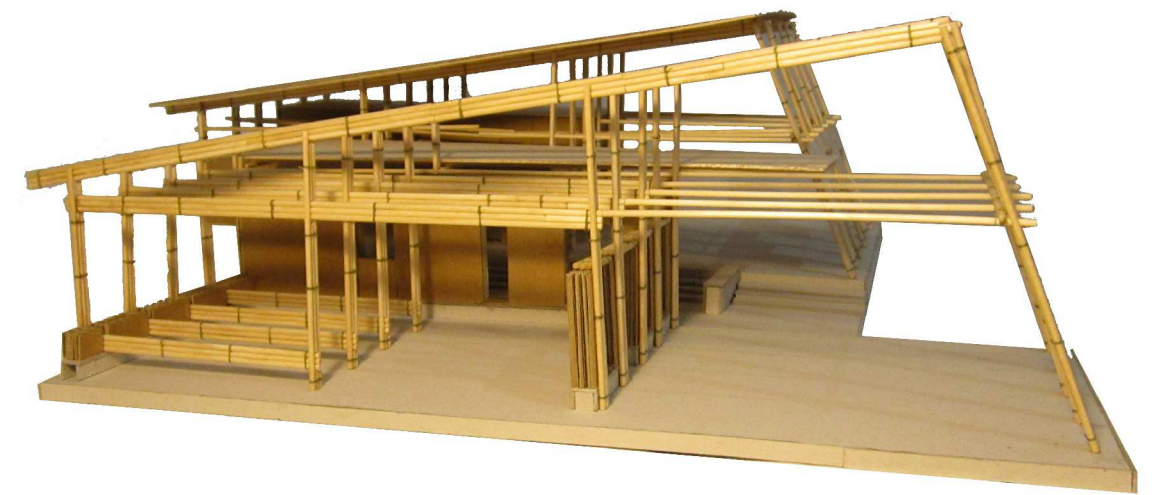


- |   |  |  |
|---|--|--|
| A. Teja cerámica plana                          | I. Instalación eléctrica   | R. Persiana de bambú                                   |
| B. Rastreles de madera                          | J. Instalación hidráulica  | S. Entrenudo reforzado con mortero                     |
| C. Rastreles de Bambú (80mm)                    | K. Arriostramiento de Bambú (100mm)                                | T. Escaleras-gradas de tablero de bambú                |
| D. Tablero de Bambú                             | L. Aislante de lana de oveja tratada (60 mm <sup>9</sup> )         | U. Tubo metálico, anclaje del bambú con la cimentación |
| E. Viga de sección compuesta de Bambú (300 mm)  | M. Viga de coronación  | V. Asfalto   |
| F. Tornillo actuando como conector de viga      | N. Adobe (180x380x100 mm)  | W. Mortero autonivelante antideslizante                |
| G. Pilar de sección compuesta de Bambú (300 mm) | O. Revoco de barro multicapa (20 mm)                               | X. Cimentación de piedra, arena y mortero              |
| H. Tornillo actuando como conector de pilar     | P. Dintel de bambú   | Y. Relleno de gravas                                   |
|   | Q. Carpintería de Bambú con doble vidrio laminado y cámara de aire | Z. Alféizar cerámico                                   |

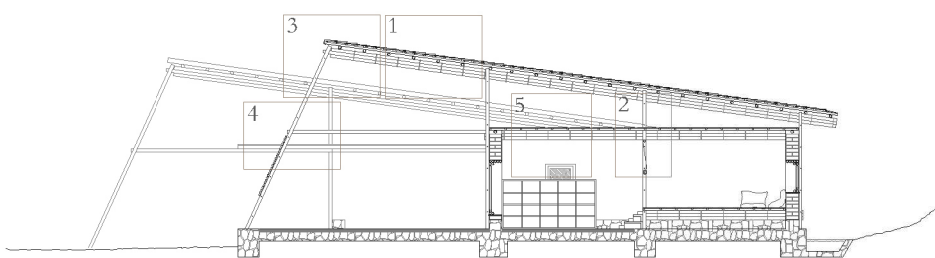
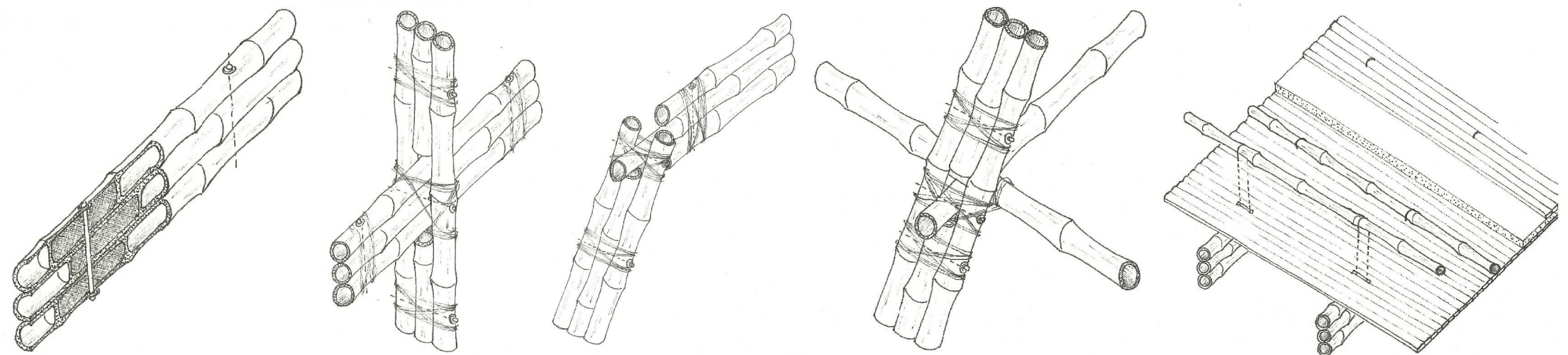




- |   |  |  |
|---|--|--|
| A. Teja cerámica plana                          | I. Instalación eléctrica   | R. Persiana de bambú                                   |
| B. Rastreles de madera                          | J. Instalación hidráulica  | S. Entrenudo reforzado con mortero                     |
| C. Rastreles de Bambú (80mm)                    | K. Arriostramiento de Bambú (100mm)                                | T. Escaleras-gradas de tablero de bambú                |
| D. Tablero de Bambú                             | L. Aislante de lana de oveja tratada (60 mm <sup>9</sup> )         | U. Tubo metálico, anclaje del bambú con la cimentación |
| E. Viga de sección compuesta de Bambú (300 mm)  | M. Viga de coronación  | V. Asfalto   |
| F. Tornillo actuando como conector de viga      | N. Adobe (180x380x100 mm)  | W. Mortero autonivelante antideslizante                |
| G. Pilar de sección compuesta de Bambú (300 mm) | O. Revoco de barro multicapa (20 mm)                               | X. Cimentación de piedra, arena y mortero              |
| H. Tornillo actuando como conector de pilar     | P. Dintel de bambú   | Y. Relleno de gravas                                   |
|   | Q. Carpintería de Bambú con doble vidrio laminado y cámara de aire | Z. Alféizar cerámico                                   |



MAQUETA DETALLE  
APRENDIENDO ENTRE ÁRBOLES. ESCUELA INFANTIL EN CHANDIGARH



Para la realización de los diferentes empalmes y nudos de la estructura de bambú se utilizarán tornillos que impedirán el movimiento de un bambú sobre otro, además de atar las diferentes barras con cuerda para garantizar una mayor seguridad. También se reforzará la unión mediante la introducción de mortero en los entrenudos a través de un agujero que se cerrará posteriormente.



## CÁLCULO ESTRUCTURAL

### I. INTRODUCCIÓN

### II. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ESTRUCTURALES ADOPTADAS

### III. CUMPLIMIENTO DEL CTE

#### 3.1. Normativa

#### 3.2. Acciones en la edificación (DB SE-AE)

Acciones permanentes (G)

Acciones variables (Qu, Qn, Qv)

#### 3.3. Situaciones de dimensionado (DB SE)

Combinaciones de acciones consideradas

Coefficientes de Seguridad

#### 3.4. Elementos estructurales de Bambú (E\_100 Bambú)

#### 3.5. Elementos estructurales de Adobe (E\_080 Adobe)

#### 3.6. Hipótesis

#### 3.7. Combinaciones

#### 3.8. Solicitaciones

### IV. MEMORIA DE CÁLCULO

#### 4.1. Comportamiento de elementos estructurales de Bambú

#### 4.2. Comportamiento de elementos estructurales de Adobe.

### V. PLANOS

#### 5.1. Cimentación

#### 5.2. Forjado inferior

#### 5.3. Forjado de cubierta

#### 5.4. Secciones

#### 5.5. Unión

## INSTALACIONES

### I. AGUA FRÍA Y CALIENTE

### II. SANEAMIENTO

### III. ELECTRICIDAD E ILUMINACIÓN

### IV. REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

## **I. INTRODUCCIÓN**

La elección del bambú y el adobe hace que la importancia de conocer las características y el comportamiento estructural de estos materiales poco corrientes sea muy conveniente. De esta forma se pretende integrar el cálculo de la estructura de bambú desde las primeras fases del proyecto para que así puedan llevarse a cabo los cambios pertinentes.

Cabe destacar que al ser materiales tan peculiares encontrar normativas que los contemple tiene bastante dificultad. Frente a la imposibilidad de encontrar una normativa vigente de la India, finalmente se decide utilizar la normativa vigente de Perú, realizando los cambios y modificaciones correspondientes y siempre escogiendo los valores que nos den un amplio margen de seguridad.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

### Muros de adobe

A efectos prácticos, los muros de adobe no tienen demasiado inconveniente estructural siempre que no excedan una determinada altura, estén correctamente arriostrados para soportar esfuerzos de sismos y siempre que se protejan de manera adecuada para que el agua u otros agentes no produzcan reducción importante de la sección y por lo tanto problemas estructurales.

### Vigas de bambú

Se utilizan tres cañas de bambú para crear una sección compuesta que tenga el canto suficiente, en este caso 30 cm, no sólo para soportar el peso de la cubierta, sino para evitar el pandeo de estos elementos, ya que salvan luces de hasta 5 metros.

### Arriostramientos de bambú

Para conseguir que los pórticos de bambú se comporten como una unidad, además de anclarse al muro de adobe, se utilizarán cañas de bambú simple que arriostarán en dos direcciones.

### Pilares de bambú

Dichos pilares tienen la misma sección que las vigas, sin embargo, estos interrumpen la caña central para dejar paso y permitir el apoyo de las vigas y los arriostramientos, de manera que en realidad sólo trabajarían dos cañas, comportándose la central como unión entre ambas.



### III. CUMPLIMIENTO DEL CTE

#### 3.1. Normativa

Debido a la singularidad de los materiales escogidos en el proyecto y con la intención de realizar un cálculo aproximado a la realidad, se utilizará parte de la normativa peruana, ya que contempla materiales como el bambú y el adobe para el cálculo estructural:

- DB SE: Seguridad estructural
- DB SE AE: Acciones en la edificación
- DB SE C: Cimientos
- E\_80: Adobe
- E\_100: Bambú
- DB SI: Incendios

#### 3.2. Acciones en la edificación (DB SE-AE)

##### Acciones permanentes (G)

##### Peso propio de la estructura

Para elementos lineales (pilares, vigas y viguetas) se obtiene su peso por unidad de longitud como el producto de su sección bruta por el peso específico del material a considerar:

Planta	Elementos lineales	
	Predimensionado	Peso Propio (kN/m <sup>3</sup> )
Vigas cubierta (bambú)	0,00104 m <sup>3</sup> **	3,8
Viguetas cubierta (bambú)	1,845 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> *	3,8
Pilar (bambú)	0,00104 m <sup>3</sup> **	3,8
Muros (adobe)	0,42 m	16,0

\* Sección de un único bambú:

$$S = \left( \frac{D_e^4 - [D_e - 2t]^4}{32D_e} \right) = \left( \frac{100^4 - [100 - 2 \cdot 10]^4}{32 \cdot 100} \right) = 18450 \text{ mm}^3$$

\*\* Sección de tres bambús:

$$S = \left( \frac{\pi(35D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{96D_e} \right) =$$

$$\left( \frac{\pi(35 \cdot 100^4 - 4 \cdot 100^2[100 - 2 \cdot 10]^2 - [100 - 2 \cdot 10]^4)}{96 \cdot 100} \right) = 10481923,89 \text{ mm}^3$$

Siendo:

S = Módulo de sección en mm<sup>3</sup>.

D<sub>e</sub> = Diámetro promedio exterior del bambú en mm.

t = Espesor promedio de la pared del bambú en mm.

##### Cargas permanentes superficiales

Son aquellas uniformemente repartidas en la planta. Representan elementos tales como pavimentos, tabiques ligeros, techos, etc.

Cargas permanentes superficiales	
Doble cubierta	Peso Propio (kN/m <sup>2</sup> )
- Cubierta de teja plana cerámica	2.00
- Aislante lana de oveja e = 4 cm	0.135
- Tablero de bambú	0.10
<b>Total:</b>	<b>2.235</b>

Cargas permanentes superficiales	
Cubierta	Peso Propio (kN/m <sup>2</sup> )
- Tablero de bambú	0.10
- Aislante lana de oveja e = 4 cm	0.135
- Tablero de bambú	0.10
<b>Total:</b>	<b>0.335</b>

Cargas permanentes superficiales	
Forjado interior	Peso Propio (kN/m <sup>2</sup> )
- Tablero de bambú	0.10
- Aislante lana de oveja tratada e = 4 cm	0.135
- Tablero de bambú	0.10
<b>Total:</b>	<b>0.335</b>

Acciones variables (Qu, Qn, Qv)

Sobrecarga de uso DB SE-AE

Cargas permanentes superficiales		
Planta	Sobrecarga de uso	Carga superficial (kN/m <sup>2</sup> )
Cubierta	G1	1
Forjado interior	C1	3

Teniendo en cuenta la tabla 3.1 del documento DB SE AE.

Tabla 3.1 Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)</sup>	2
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Carga de Nieve DB SE-AE

La carga de nieve se calcula con la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

$S_k$  = valor característico de la carga de nieve (0,4 kN/m<sup>2</sup>, el edificio se encuentra en Chandigarh, por lo que se hace una aproximación a la zona de Valencia, Zona 5, y se encuentra a una altitud de 350 m)

$\mu = 1,0$ , ya que la inclinación de la cubierta es menor a 30°.

Tabla E.2 Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal (kN/m<sup>2</sup>)

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Cuando la edificación se encuentra en un emplazamiento fuertemente expuesto a la acción del viento el valor deberá aumentarse en un 20%.

$$q_n = 1.0 \cdot 0.4 \cdot 1.2 = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

## Carga de Viento DB SE-AE

La acción del viento se calcula a partir de la presión estática  $q_e$  que actúa en la dirección perpendicular a la superficie expuesta.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

$q_b$  Presión dinámica del viento conforme al mapa eólico del Anejo D.

$c_e$  Coeficiente de exposición, determinado conforme a las especificaciones del Anejo D.2, en función del grado de aspereza del entorno y la altura sobre el terreno del punto considerado.

$c_p$  Coeficiente eólico o de presión, calculado según la tabla 3.4 del apartado 3.3.4, en función de la esbeltez del edificio en el plano paralelo al viento.

Tabla 3.3 Valores del coeficiente de exposición  $c_e$

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 3.4 Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≤ 5,00
Coeficiente eólico de presión, $c_p$	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, $c_s$	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	0,6	0,7

Debido a la imposibilidad de concretar un zona eólica determinada para Chandigarh, se toma el mayor valor expuesto en el Anejo D del DB SE-AE.

Zona eólica: C

Grado de aspereza: III. Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas.

$$q_b = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 2,0$$

$\theta = 0^\circ$ . Viento NE- SO. Cubierta a un agua  $\alpha = 8^\circ$

$$b = 16.4 \text{ m}$$

$$d = 17.2 \text{ m}$$

$$A = > 10 \text{ m}^2$$

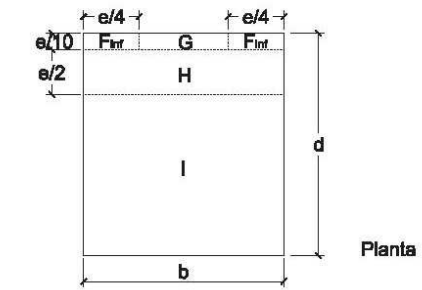
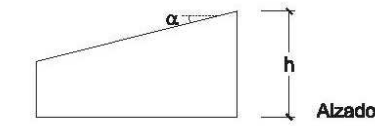
$$h = 6.1 \text{ m}$$

$$e_{\min}(b, 2h) \quad e = 12.2$$

$$e/2 = 6.1$$

$$e/4 = 3.05$$

$$e/10 = 1.22$$



A (m <sup>2</sup> )	Zonas				
	F <sub>inf</sub>	F <sub>sup</sub>	G	H	I
> 10	-2.1	-2.1	-1.8	-0.6	-0.5

Se escoge el valor más desfavorable para las zonas más amplias.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-0.6) = -0.6 \text{ kN/m}^2$$

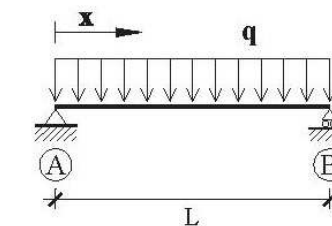
Para asegurarnos de que las partes más débiles resisten la succión del viento, se calcula la mayor succión en ese punto.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-2.1) = -2.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{M}{S} \leq f_{adm}$$

$$M_{\max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{(-2.1) \cdot 1.15^2}{8} = -0.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

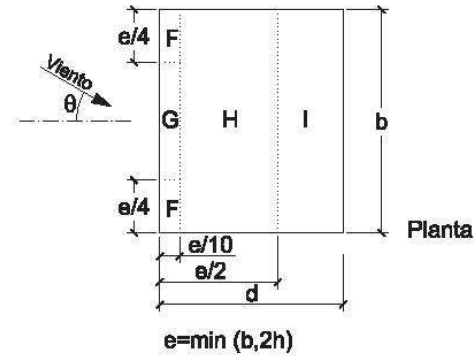
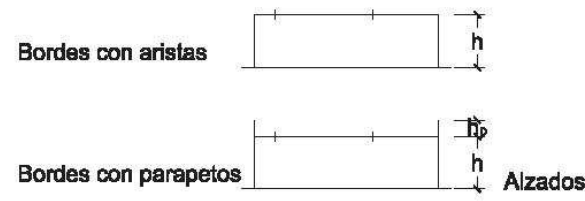
$$\frac{0.35 \text{ kN} \cdot \text{m}}{1.048 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 333.97 \text{ kN/m}^2 \leq 5000 \text{ kN/m}^2$$



$\theta = 0^\circ$ . Viento NE- SO. Cubierta plana

$b = 10.0 \text{ m}$        $d = 11.6 \text{ m}$        $A = > 10 \text{ m}^2$        $h = 3 \text{ m}$

$e_{\min}(b, 2h) \quad e = 6 \quad e/2 = 3 \quad e/4 = 1.5 \quad e/10 = 0.6$



Zonas				
A (m <sup>2</sup> )	F	G	H	I
> 10	-1.8	-1.2	-0.7	-0.2
				0.2

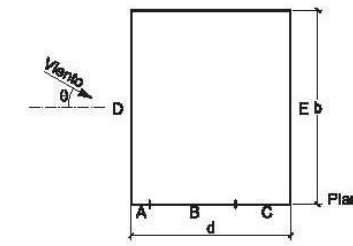
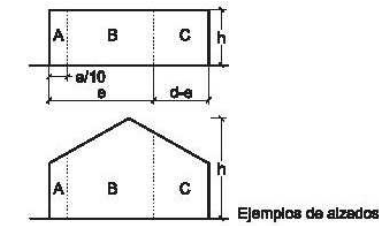
$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-0.2) = -0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (0.2) = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$\theta = 0^\circ$ . Viento NE- SO. Paramentos verticales

$b = 10 \text{ m}$        $d = 11.6 \text{ m}$        $A = > 10 \text{ m}^2$        $h = 3 \text{ m}$

$e_{\min}(b, 2h) \quad e = 6 \quad e/2 = 3 \quad e/4 = 1.5 \quad e/10 = 0.6$



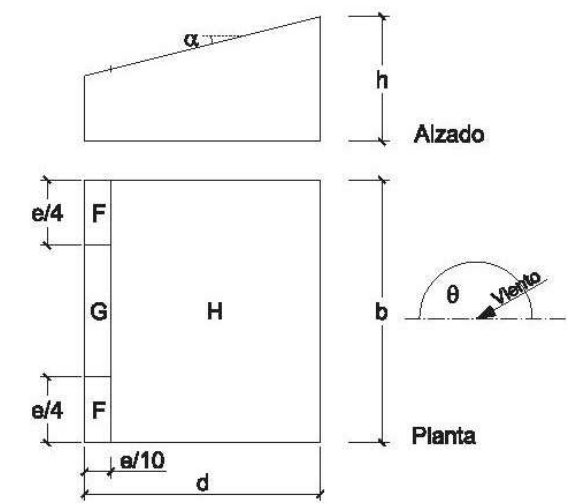
Zonas						
A (m <sup>2</sup> )	h/d	A	B	C	D	E
> 10	0.25	-	-	-	0.7	-0,3

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot 0.7 = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

$\theta = 0^\circ$ . Viento SE- NO. Cubierta a un agua  $\alpha = 8^\circ$

$b = 17.2 \text{ m}$        $d = 16.4 \text{ m}$        $A = > 10 \text{ m}^2$        $h = 6.1 \text{ m}$

$e_{\min}(b, 2h) \quad e = 12.2 \quad e/2 = 6.1 \quad e/4 = 3.05 \quad e/10 = 1.22$



Zonas			
A (m <sup>2</sup> )	F	G	H
> 10	-2.3	-1.3	-0.8

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-0.8) = -0.8 \text{ kN/m}^2$$

Para asegurarnos de que las partes más débiles resisten la succión del viento, se calcula la mayor succión en ese punto.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-2.3) = -2.3 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{M}{S} \leq f_{adm}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{qL^2}{8} = \frac{(-2.3) \cdot 1.15^2}{8} = -0.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{0.38 \text{ kN} \cdot \text{m}}{1.048 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 362.59 \text{ kN/m}^2 \leq 5000 \text{ kN/m}^2$$

$\theta = 0^\circ$ . Viento NE- SO. Cubierta plana

$b = 11.6 \text{ m}$        $d = 10.0 \text{ m}$        $A = > 10 \text{ m}^2$        $h = 3 \text{ m}$

$e_{min} (b,2h)$     $e = 6$     $e/2 = 3$        $e/4 = 1.5$        $e/10 = 0.6$

A (m <sup>2</sup> )	Zonas			
	F	G	H	I
> 10	-1.8	-1.2	-0.7	-0.2 0.2

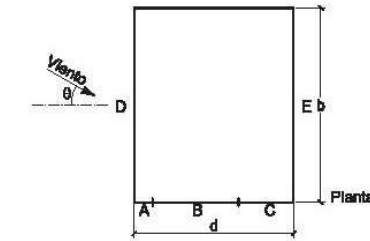
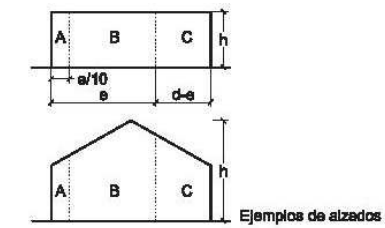
$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (-0.2) = -0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot (0.2) = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$\theta = 0^\circ$ . Viento SE- NO. Paramentos verticales

$b = 11.6 \text{ m}$        $d = 10 \text{ m}$        $A = > 10 \text{ m}^2$        $h = 3 \text{ m}$

$e_{min} (b,2h)$     $e = 6$        $e/2 = 3$        $e/4 = 1.5$        $e/10 = 0.6$



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zonas				
		A	B	C	D	E
> 10	0.25	-	-	-	0.7	-0,3

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0.5 \cdot 2.0 \cdot 0.7 = 0.7 \text{ kN/m}^2$$

### 3.3. Situaciones de dimensionado (DB SE)

En la determinación de las situaciones de dimensionado se adopta la clasificación que establece el CTE DB-SE en 3.1.4, de forma que quedan englobadas "todas las condiciones y circunstancias previsibles durante la ejecución y la utilización de la obra, teniendo en cuenta la diferente probabilidad de cada una" (CTE DB-SE-3.1.3)

#### Combinaciones de acciones consideradas

Para cada situación de dimensionado y criterio considerado, los efectos de las acciones se han determinado a partir de la correspondiente combinación de acciones e influencias simultáneas para la verificación de la capacidad portante y de la aptitud al servicio, respectivamente.

#### Capacidad portante - Estados límites últimos

- Situación persistente o transitoria

$$\sum \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_P \cdot P + \sum \gamma_{Gi} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{ki}$$

- Situación extraordinaria (Incendio)

$$\sum \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{Q1} \cdot \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + A_d + \gamma_P \cdot P + \sum \gamma_{Gi} \cdot \Psi_{2,i} \cdot Q_{ki}$$

#### Aptitud al servicio - Estados límites de servicio

- Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar irreversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado característica, a partir de la expresión 4.6 del CTE DB-SE:

$$\sum G_{kj} + P + Q_{k1} \sum \Psi_{0,i} \cdot Q_{ki}$$

- Los efectos debidos a las acciones de corta duración que pueden resultar reversibles, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado frecuente, a partir de la expresión 4.7 del CTE DB-SE:

$$\sum G_{kj} + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{ki}$$

- Los efectos debidos a las acciones de larga duración, se determinan mediante combinaciones de acciones, del tipo denominado casi permanente, a partir de la expresión 4.8 del CTE DB-SE:

$$\sum G_{kj} + P + \sum \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

### Coefficientes de Seguridad

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) para las acciones

Tipo de verificación <sup>(1)</sup>	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

<sup>(1)</sup> Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán los coeficientes correspondientes a una situación extraordinaria (incendio) serán 1,00, si su efecto es desfavorable, y 0,00 si su efecto es favorable.

Se adoptan los coeficientes de simultaneidad reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\psi$ )

	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		<sup>(1)</sup>	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

<sup>(1)</sup> En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Coefficientes parciales de seguridad ( $\gamma$ ) (SE-11)

$\gamma_G = 1,35$

$\gamma_Q = 1,50$

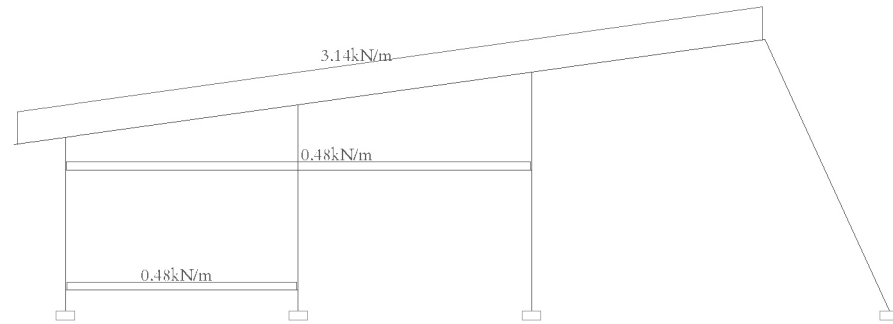
Coefficientes de simultaneidad ( $\Psi$ ) (SE-11)

$\Psi_{OU} = 0,70$

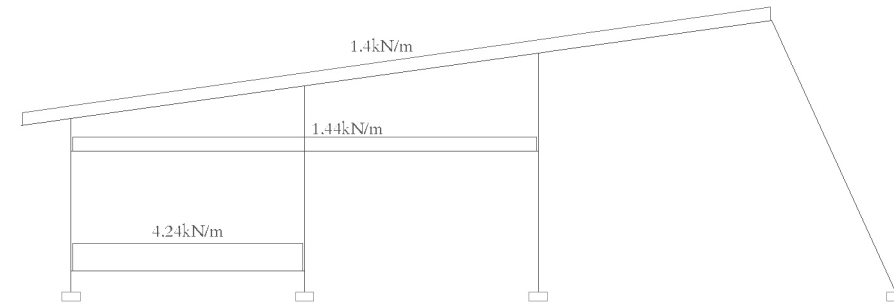
$\Psi_{ON} = 0,50$

$\Psi_{OV} = 0,60$

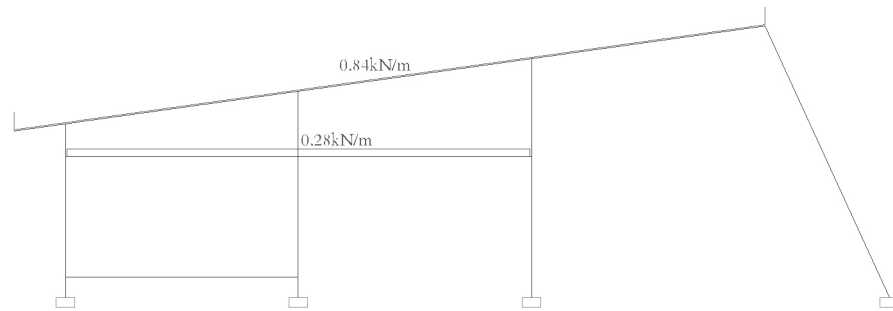
Hipótesis 1. Peso propio.



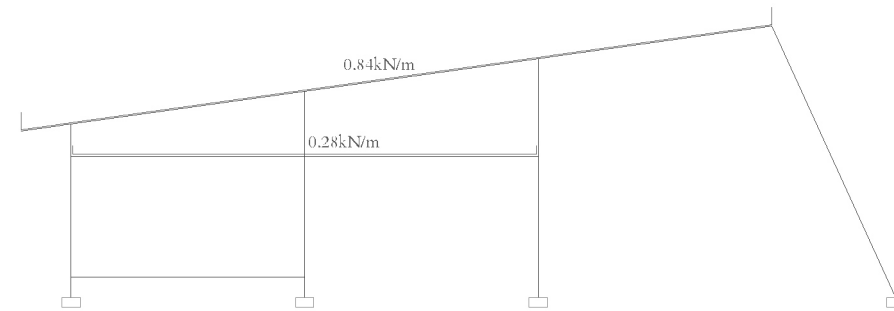
Hipótesis 2. Uso



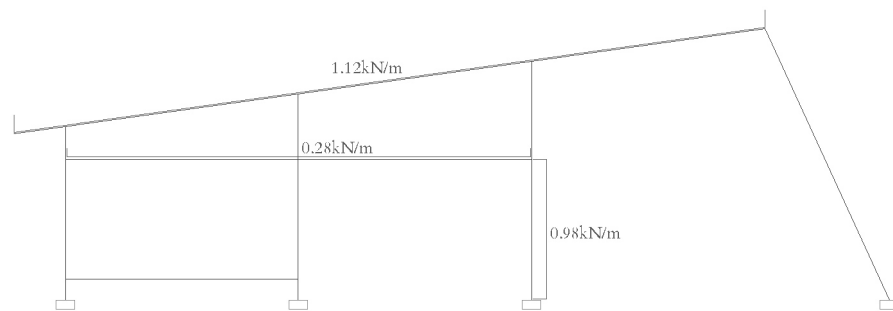
Hipótesis 3. Viento NE-SO. Presión.



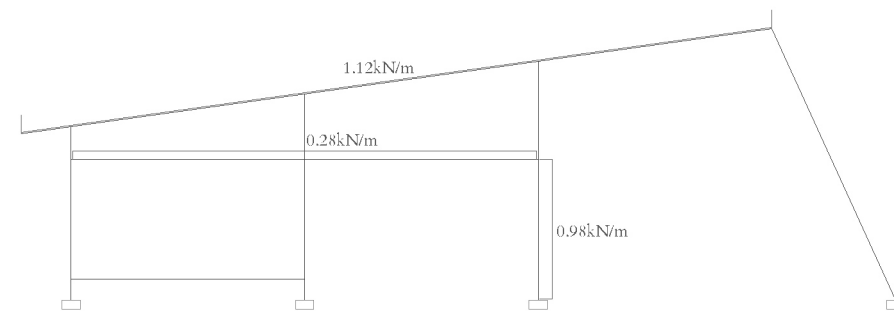
Hipótesis 4. Viento NE-SO. Succión.



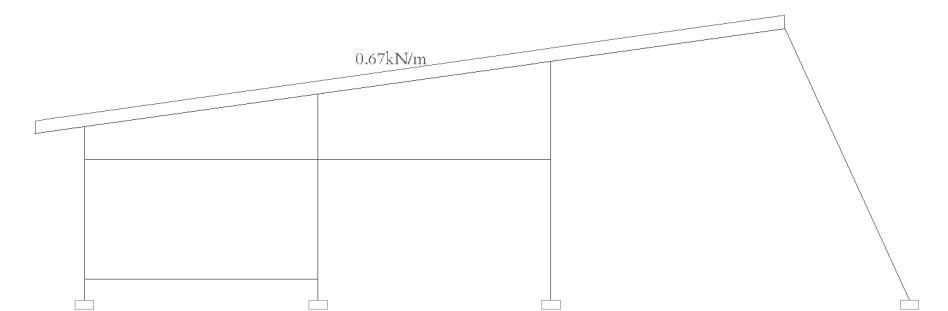
Hipótesis 5. Viento SE-NO. Succión.



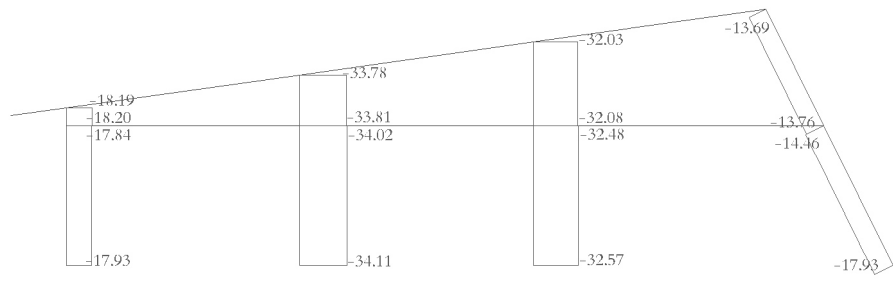
Hipótesis 6. Viento SE-NO. Presión.



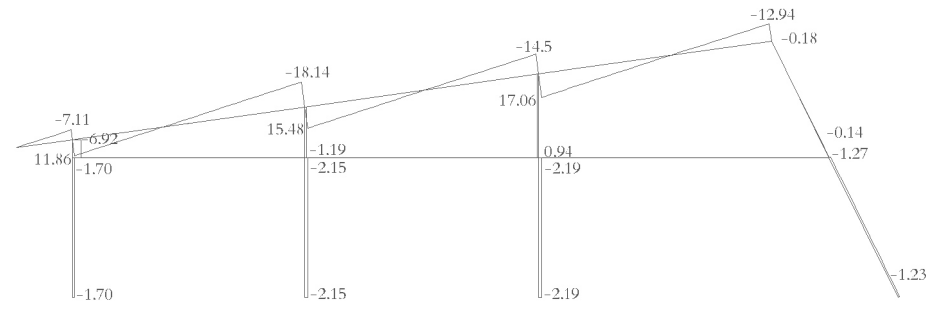
Hipótesis 7. Nieve.



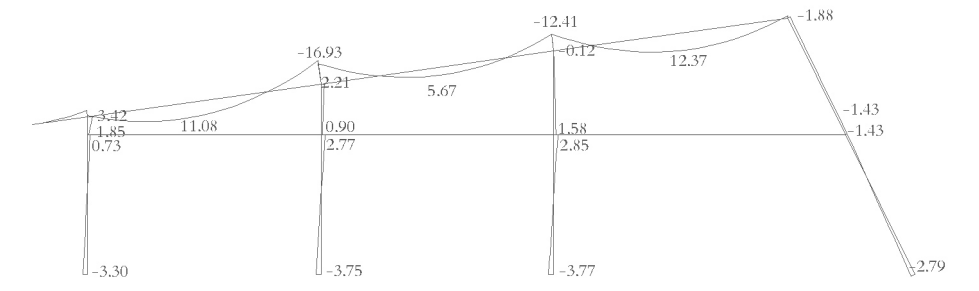
Pórticos 1. Peso propio y uso. Axiles. (kN)



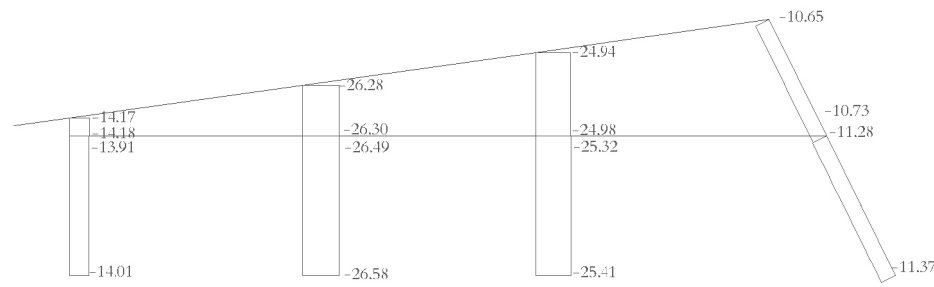
Pórticos 1. Peso propio y uso. Cortantes. (kN)



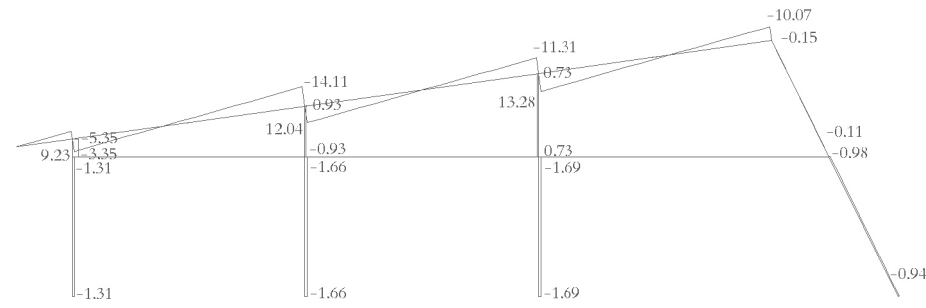
Pórticos 1. Peso propio y uso. Momentos. (kNm)



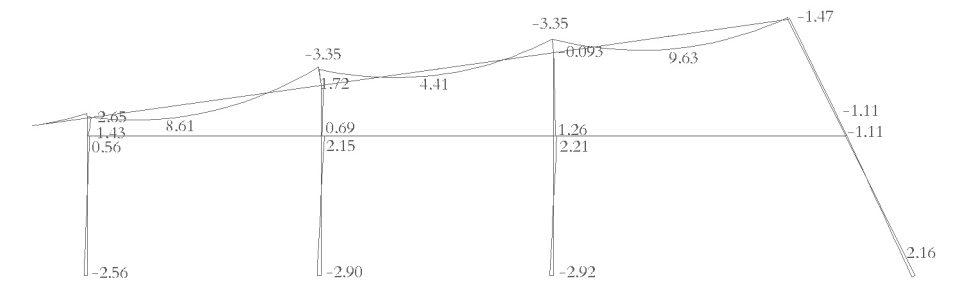
Pórticos 1. Envoltente. Axiles. (kN)



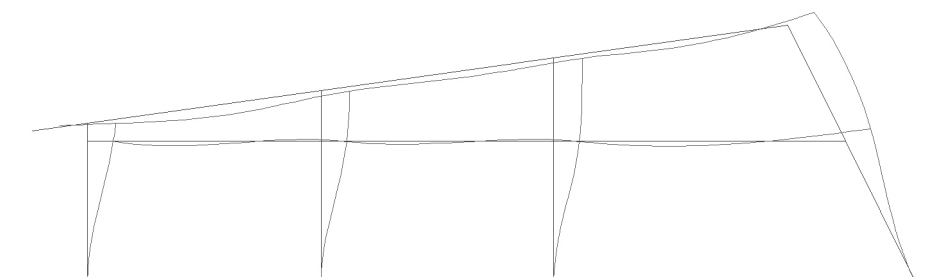
Pórticos 1. Envoltente. Cortantes. (kN)



Pórticos 1. Envoltente. Momentos. (kNm)

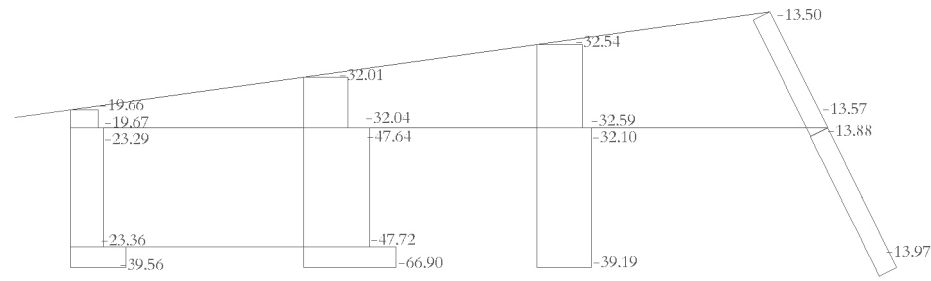


Pórticos 1. Envoltente. Deformada.

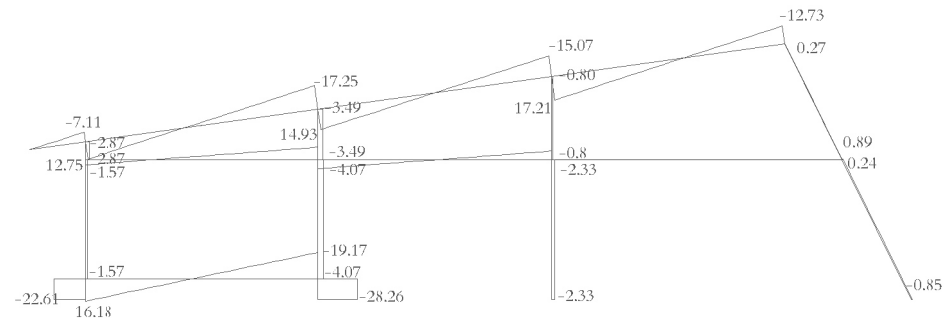




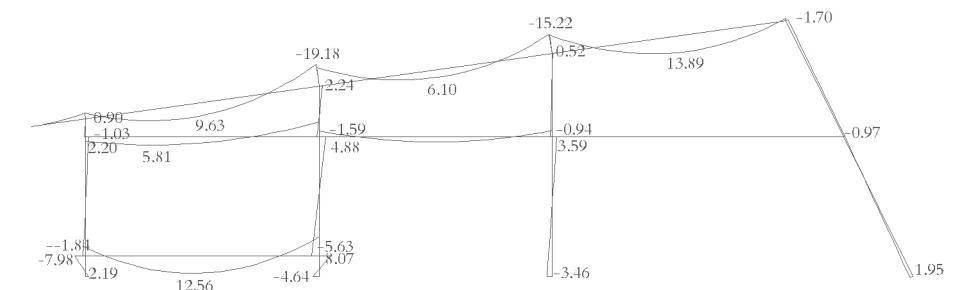
Pórticos 2. Peso propio y uso. Axiles. (kN)



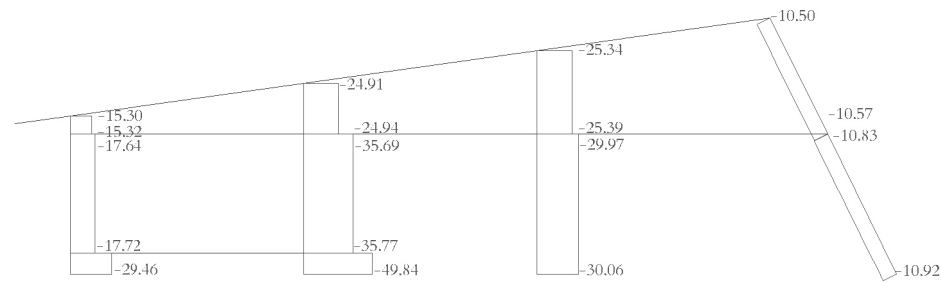
Pórticos 2. Peso propio y uso. Cortantes. (kN)



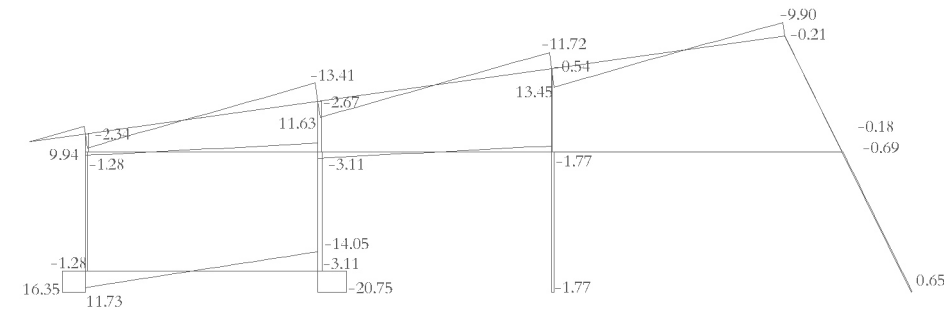
Pórticos 2. Peso propio y uso. Momentos. (kNm)



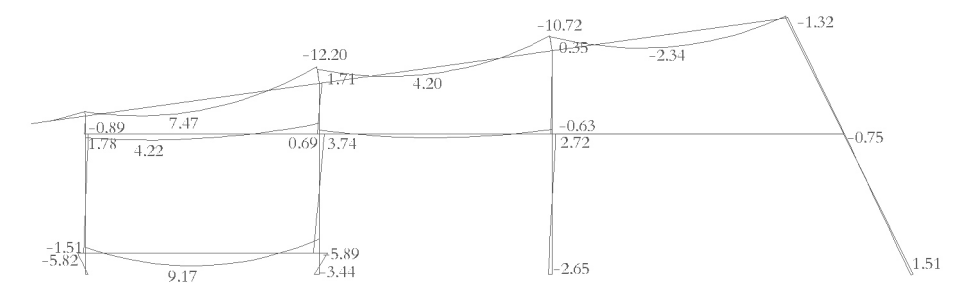
Pórticos 2. Envoltente. Axiles. (kN)



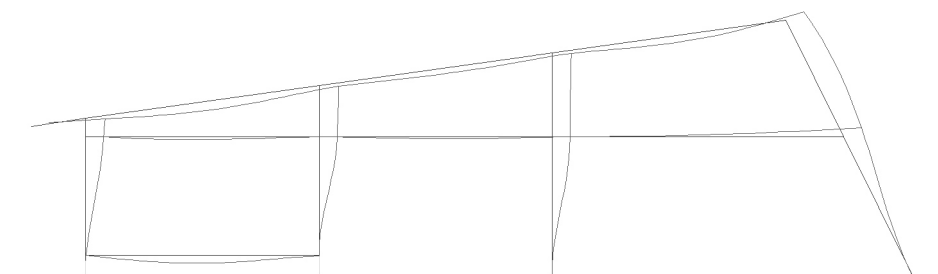
Pórticos 2. Envoltente. Cortantes. (kN)



Pórticos 2. Envoltente. Momentos. (kNm)



Pórticos 2. Envoltente. Deformada.



## IV. MEMORIA DE CÁLCULO

### 4.1. Comportamiento de elementos estructurales de Bambú

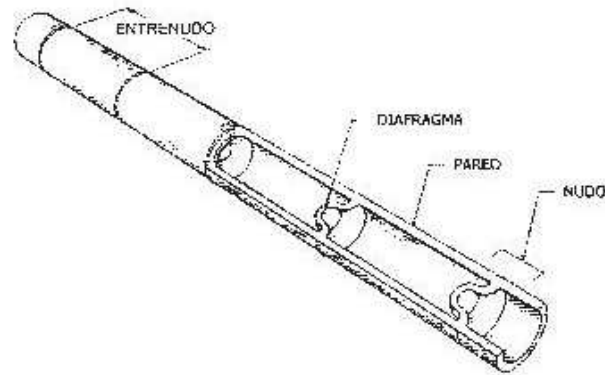
#### Introducción

En este punto se recogen aquellos apartados de la normativa peruana E\_100 que afectan al proyecto, con lo que se pretende realizar un acercamiento al cálculo de las estructuras de bambú.

El bambú es un recurso natural renovable, una planta herbácea con tallos leñosos, perteneciente a la familia de las Poaceae (gramíneas), sub familia Bambúsoideae, tribu Bambúeseae.

La caña de bambú es el tallo de la planta que por lo general es hueco y nudoso y está conformado por las siguientes partes:

- a) Nudo: Parte o estructura del tallo que lo divide en secciones por medio de diafragmas.
- b) Entrenudo: Parte de la caña comprendida entre dos nudos.
- c) Diafragma: Membrana rígida que forma parte del nudo y divide el interior de la caña en secciones.
- d) Pared: Parte externa del tallo formada por tejido leñoso.



#### Características técnicas para el bambú estructural

• Para la aplicación de la presente norma, debe utilizarse la especie Guadua angustifolia. Por lo que para nuestro proyecto se elige la especie Dendrocalamus Balcoa, cuyas características son similares a la Guadua utilizada en Perú.

El Dendrocalamus Balcoa crece en la India y es utilizado para la construcción de edificios, alcanza alturas de 20 m y su diámetro máximo es de 20 cm.

- La edad de cosecha del bambú estructural debe estar entre los 4 y los 6 años.
- El contenido de humedad del bambú estructural debe corresponderse con el contenido de humedad de equilibrio del lugar.
- El bambú estructural debe tener una buena durabilidad natural y estar adecuadamente protegido ante agentes externos (humos, humedad, insectos, hongos, etc.).
- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar una deformación inicial del eje mayor al 0.33% de la longitud del elemento. Esta deformación se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana y observar si existe separación entre la superficie de apoyo y la pieza.
- Las piezas de bambú estructural no deben presentar una conicidad superior al 1.0%
- Las piezas de bambú estructural no pueden presentar fisuras perimetrales en los nudos ni fisuras longitudinales a lo largo del eje neutro del elemento. En caso de tener elementos con fisuras, estas deben estar ubicadas en la fibra externa superior o en la fibra externa inferior.
- Piezas de bambú con agrietamientos superiores o iguales al 20% de la longitud del tronco no serán consideradas como aptas para uso estructural.
- Las piezas de bambú estructural no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos antes de ser utilizadas. No se aceptan bambúes que presenten algún grado de pudrición.

## Análisis y diseño estructural

### Requisitos de rigidez

- Las deformaciones deben evaluarse para las cargas de servicio.
- Se consideraran necesariamente los incrementos de deformación con el tiempo (deformaciones diferidas) por acción de cargas aplicadas en forma continua.
- Las deformaciones de los elementos y sistemas estructurales deben ser menores o iguales que las admisibles.
- En aquellos sistemas basados en el ensamble de elementos de bambú se incluirán adicionalmente las deformaciones en la estructura debidas a las uniones, tanto instantáneas como diferidas.

### Esfuerzos admisibles

Tabla n° 8.4.1. Esfuerzos admisibles

Esfuerzos admisibles				
Flexión (fm)	Tracción paralela (ft)	Compresión paralela (fa)	Corte (fv)	Compresión perpendicular (fc1)
5 Mpa (50 Kg/cm <sup>2</sup> )	16 Mpa (160 Kg/cm <sup>2</sup> )	13 Mpa (130 Kg/cm <sup>2</sup> )	1 Mpa (10 Kg/cm <sup>2</sup> )	1.3 Mpa (13 Kg/cm <sup>2</sup> )

Con base en los valores de esfuerzos admisibles de la Tabla N° 8.4.1 y los módulos de elasticidad de la Tabla N° 8.5, afectados por los coeficientes de modificación a que haya lugar por razón de la duración de carga, esbeltez y cualquier otra condición modificatoria, se determinan los esfuerzos (o solicitaciones) admisibles modificados de todo miembro estructural de acuerdo con la formula general:

$$f_i' = f_i C_D C_L C_r$$

Donde:

$f_i'$ : Esfuerzo admisible modificado para la solicitación i

$f_i$ : Esfuerzo admisible en la solicitación i

$C_D$ : Coeficiente de modificación por duración de carga (0.9 para carga permanente y 1 para carga viva)

$C_L$ : Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas (ver 8.6.3 Estabilidad para elementos de flexión)

$C_r$ : Coeficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta. Para el caso de diseño de viguetas, correas, entablados y entramados, donde exista una acción de conjunto garantizada, estos esfuerzos podrán incrementarse en un 10% ( $C_r= 1,1$ ) siempre y cuando la separación entre elementos no sea superior a 0.6 m

TABLA N° 8.5. Módulo de elasticidad

Módulo de elasticidad (E)	
$E_{PROM}$	$E_{MIN}$
9500 Mpa (95000Kg/cm <sup>2</sup> )	7300 Mpa (73000 Kg/cm <sup>2</sup> )

## Diseño de elementos en flexión

Los elementos sometidos a flexión son elementos horizontales o casi horizontales que soportan cargas perpendiculares, o casi perpendiculares a su eje: Vigas, viguetas y correas.

En el diseño de miembros o elementos de bambú sometidos a flexión se deben verificar los siguientes efectos y en ningún caso pueden sobrepasar los esfuerzos admisibles modificados para cada solicitación. (a) Deflexiones (b) Flexión, incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas. (c) Cortante paralelo a la fibra.(d) Aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra).

Se debe garantizar que los apoyos de un elemento de bambú sometido a flexión no fallen por aplastamiento (compresión perpendicular). Si los nudos no proveen la suficiente resistencia, se deben rellenar los entrenudos de los apoyos con mortero de cemento, taco de madera u otro material que garantice una rigidez similar.

Cuando exista una carga concentrada sobre un elemento, ésta debe estar aplicada sobre un nudo. Se deben rellenar los entrenudos adyacentes a la carga con mortero de cemento, taco de madera u otro material que garantice una rigidez similar.

- Cuando en la construcción de vigas se utiliza más de un bambú los conectores deben diseñarse para resistir las fuerzas que se generan en la unión.

- Debe evitarse practicar perforaciones en las vigas. De requerirse, debe indicarse en los planos y cumplir con las siguientes limitaciones:

- No son permitidas perforaciones a la altura del eje neutro en secciones donde se tengan cargas puntuales o cerca de los apoyos.

- En casos diferentes al anterior, las perforaciones deben localizarse a la altura del eje neutro y en ningún caso serán permitidas en la zona de tensión de los elementos.

- El tamaño máximo de la perforación será de 4 cm de diámetro.

- En los apoyos y los puntos de aplicación de cargas puntuales se permiten las perforaciones, siempre y cuando éstas sirvan para poder rellenar los entrenudos con mortero de cemento.

### a. Deflexiones admisibles para elementos en flexión

Las deflexiones deben calcularse para los siguientes casos:

a) Combinación más desfavorable de cargas permanentes y sobrecargas de servicio.

b) Sobrecargas de servicio actuando solas.

Las deflexiones máximas admisibles deberán limitarse a los siguientes valores:

a) Para cargas permanentes más sobrecarga de servicio en edificaciones con cielo raso de yeso: L/300; sin cielo raso de yeso: L/250. Para techos inclinados y edificaciones industriales: L/200.

b) Para sobrecargas de servicio en todo tipo de edificaciones, L/350 ó 13 mm como máximo.

Siendo "L" la luz entre caras de apoyos o la distancia de la cara del apoyo al extremo, en el caso de voladizos.

Por lo tanto:

Cubierta plana:

$$\frac{1.4}{250} = 5.6 \cdot 10^{-3}$$

Cubierta inclinada:

$$\frac{1.4}{200} = 7 \cdot 10^{-3}$$

Voladizo:

$$\frac{1.4}{250} = 4.6 \cdot 10^{-3}$$

### Requisitos de resistencia para elementos en flexión

#### Flexión

c) Los esfuerzos de compresión o de tracción producidos por flexión " $\sigma_m$ ", no deben exceder el esfuerzo admisible para flexión  $f'_m$ , especificado.

#### Corte paralelo a las fibras

a) Los esfuerzos cortantes " $\tau$ " calculados, no deben exceder el esfuerzo máximo admisible para corte paralelo a las fibras  $f'_v$  especificado.

b) Sección crítica.

- Si el elemento está apoyado en su parte inferior y cargado en su parte superior es suficiente verificar la resistencia al corte en secciones ubicadas a una distancia del apoyo igual al peralte, excepto cuando se trata de volados.

### Compresión perpendicular a las fibras

a) En los apoyos y otros puntos sujetos a cargas concentradas, deberá verificarse que el esfuerzo en compresión perpendicular a las fibras " $\sigma_r$ " calculado, no exceda al esfuerzo en compresión perpendicular a las fibras admisibles  $f'_{c\perp}$ , para el grupo de bambú.

Para el cálculo de los esfuerzos actuantes, podrá tomarse como referencia el ANEXO B (INFORMATIVO): AYUDA DE CÁLCULO PARA ESFUERZOS A FLEXIÓN:

#### b1. Esfuerzo a flexión

El esfuerzo a flexión actuante ( $f_b$ ) sobre cualquier sección de guadua, no debe exceder el valor del esfuerzo a flexión admisibles ( $f'_b$ ) modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\sigma_m = \frac{M}{S} \leq f'_m$$

$\sigma_m$  = esfuerzo a flexión actuante, en Mpa

$f'_m$  = esfuerzo admisible modificado, en Mpa

M = momento actuante sobre el elemento N mm

S = módulo de sección en mm<sup>3</sup>.

El módulo de sección S, para una guadua se expresa con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\pi(D_e^4 - [D_e - 2t]^4)}{32D_e} = 18450mm^3$$

En donde:

S = módulo de sección en mm<sup>3</sup>.

$D_e$  = diámetro promedio exterior del bambú en mm (100 mm)

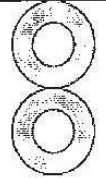
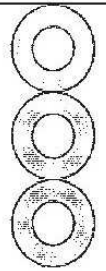
t = espesor promedio de la pared del bambú en mm (10 mm)

$$\sigma_m = \frac{12370000}{10481923,89} \leq 5.23 MPa$$

$$\sigma_m = 1,18 \leq 5.23 MPa$$

Por lo que cumple lo establecido con una sección de 3 bambús.

**b2.** Para verificar la **resistencia a la flexión de secciones compuestas de 2 o más bambúes**, se debe calcular el modulo de sección para cada condición particular. En la siguiente tabla se presentan algunos módulos de sección para secciones compuestas.

Sección	S (mm <sup>3</sup> )
	$\frac{\pi(5D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{32D_e} \quad (\text{G.12.8-6})$
	$\frac{\pi(35D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{96D_e} \quad (\text{G.12.8-7})$

$$S = \left( \frac{\pi(35D_e^4 - 4D_e^2[D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4)}{96D_e} \right) = 10481923,89 \text{ mm}^3$$

**b3.** Cuando se empleen varios bambúes para conformar un elemento a flexión, la **inercia del conjunto** se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los bambúes ( $I = \sum I_i$ ). Si el constructor garantiza un trabajo en conjunto la inercia podrá ser calculada con el teorema de los ejes paralelos:

$$I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i = (2780 \cdot 200^2) + (2780 \cdot 100^2) + (280.5) + (280.5) = 1.39 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

I = inercia de la sección compuesta, en mm<sup>4</sup>.

A<sub>i</sub> = área para el i-esimo bambú, en mm<sup>2</sup>.

d<sub>i</sub> = distancia entre el centroide del conjunto de bambúes y el centroide de i-esimo bambú, en mm.

I<sub>i</sub> = la inercia individual de cada bambú referida a su propio centroide, en mm<sup>4</sup>.

**b4.** Los **esfuerzos máximos de corte** serán calculados a una distancia del apoyo igual a la altura (h) del elemento. Para vigas conformadas por un solo bambú dicha altura será igual al diámetro exterior (D<sub>e</sub>) de la misma, exceptuando en voladizos donde el esfuerzo máximo de corte será calculado en la cara del apoyo. Para vigas conformadas por dos bambúes la altura (h) corresponde a la altura real del elemento. El máximo esfuerzo cortante debe ser determinado teniendo en cuenta la distribución no uniforme de los esfuerzos en la sección y debe ser inferior al máximo esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras (F'<sub>v</sub>) establecido para los bambúes TABLA N° 8.4.1. Esfuerzos admisibles, modificado por los coeficientes a que haya lugar.

### b5. Esfuerzo cortante paralelo a las fibras

El esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante (f<sub>v</sub>) sobre cualquier sección de guadua, no debe exceder el valor del esfuerzo cortante paralelo a las fibras admisible (F'<sub>v</sub>), modificado por los coeficientes correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left( \frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

$$f_v = \frac{2V}{3 \cdot 8340} \left( \frac{30000 - 4000 + 400}{10000 - 2000 + 200} \right) \leq F'_v$$

$$f_v = \frac{V}{25020} (3.22) \leq 1.05 \text{ MPa}$$

$$f_v = \frac{12490}{25020} (3.22) \leq 1.05 \text{ MPa}$$

$$f_v = 1.12 \leq 1.05 \text{ MPa}$$

Dónde:

f<sub>v</sub> = esfuerzo cortante paralelo a las fibras actuante, en MPa

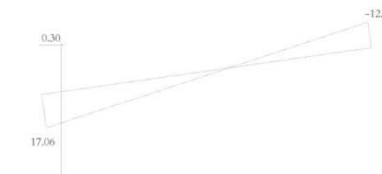
A = área de la sección transversal del elemento de guadua, en mm<sup>2</sup> (3 · 2780 = 8340mm<sup>2</sup>)

D<sub>e</sub> = diámetro externo promedio de la sección de guadua, en mm (100 mm)

t = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm (10 mm)

F'<sub>v</sub> = esfuerzo admisible para corte paralelo a las fibras, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

V = fuerza cortante en la sección considerada, en N



$$M_x = \frac{qx}{2} (l - x) = \frac{17.06 \cdot 0.30}{2} (5.18 - 0.30) = 12.49$$

### b6. Aplastamiento

Los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras (f<sub>p</sub>), deben verificarse especialmente en los apoyos y lugares en los que haya cargas concentradas en áreas pequeñas. El esfuerzo de compresión perpendicular a las fibras actuante no debe exceder al esfuerzo admisible de compresión perpendicular modificado por los coeficientes a que haya lugar.

## b7. Aplastamiento

El esfuerzo a compresión perpendicular a la fibra actuante se calcula con la siguiente fórmula:

$$f'_{c\perp} = \frac{3RD_e}{2t^2l} < F'_p$$
$$f'_{c\perp} = \frac{100 \cdot 12490}{200 \cdot 420} < 1.3 \text{ MPa}$$
$$f'_{c\perp} = 1.5 < 1.36 \text{ MPa}$$

En donde:

$f'_{c\perp}$  = esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

$d_c$  = esfuerzo actuante en compresión perpendicular a la fibra, en MPa

$D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua, en mm

$t$  = espesor promedio de la sección de guadua rolliza, en mm

$l$  = longitud de apoyo, en mm

$R$  = Fuerza aplicada en el sentido perpendicular a las fibras, en N.

## b8. Aplastamiento

Todos los entrenudos que estén sometidos a esfuerzos de compresión perpendicular a la fibra deben estar llenos de mortero de cemento, tacos de madera u otro material que garantice una rigidez similar. En el caso en que esto no se cumpla el valor del esfuerzo admisible  $F'_p$  se debe reducir a la cuarta parte  $F'_p/4$

## b9. Elementos solicitados a compresión axial

- El radio de giro de la sección constituido por un solo bambú será calculado con la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sqrt{(D_e^2 + (D_e - 2t)^2)}}{4} = \frac{\sqrt{(10000 + (100 - 20)^2)}}{4} = 32.02$$

En donde:

$D_e$  = diámetro externo promedio de la sección de guadua, en mm

$t$  = espesor promedio de la sección de guadua, en mm

$r$  = radio de giro de la sección

## b10. Elementos solicitados a compresión axial

En el diseño de elementos solicitados a compresión constituidos por dos o más bambú la medida de esbeltez será calculada usando la ecuación B.9 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL de este mismo Anexo, con el radio de giro  $r$  calculado con la siguiente expresión:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1.39 \cdot 10^8}{8340}} = 129.1$$

Donde:

$I$  = Inercia de la sección calculada de acuerdo con B.11 ELEMENTOS SOLICITADOS A COMPRESIÓN AXIAL.

$A$  = área de la sección transversal, en  $\text{mm}^2$ .

$r$  = radio de giro de la sección.

## b11. Elementos solicitados a compresión axial

Cuando se empleen varios bambúes para conformar un elemento a compresión, la inercia del conjunto se calcula como la suma de las inercias individuales de cada uno de los bambúes ( $I = \sum I_i$ ). Si el constructor garantiza un trabajo conjunto la inercia podrá ser calculada con las siguientes expresiones: Para elementos de compresión tipo celosía, la inercia será calculada como ( $I = \sum(A_i d_i^2)$ ), siendo  $A_i$  el area para el i-esimo bambú y  $d_i$  la distancia entre el centroide del conjunto de bambú y centroide del i-esimo bambú. Para elementos de compresión unidos en toda su longitud, la inercia será calculada como ( $I = \sum(A_i d_i^2) + \sum I_i$ ), siendo  $I_i$  la inercia individual de cada bambú referida a su propio centroide.

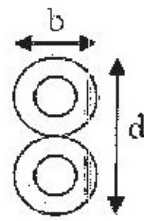
## Estabilidad para elementos en flexión

Debe arriostrarse para evitar el pandeo lateral de las fibras en compresión.

- Un bambú, es estable naturalmente.
- Dos ó más bambús son necesariamente inestables, requieren restricción en los apoyos.
- En el caso de vigas de sección compuesta (dos o más guaduas), cuya relación alto (d) ancho (b) sea mayor que 1 ( $d/b > 1$ ), deben incluirse soportes laterales para prevenir el pandeo o la rotación.

$$d/b > 1$$

$$300/100 > 1$$



- Estabilidad Lateral de Vigas Compuestas:

Para vigas de sección compuesta por dos o más bambús se debe reducir el esfuerzo admisible a flexión ( $F_b$ ), por el valor de  $C_L$  de la TABLA 8.6.3.4.

TABLA 8.6.3.4 Coeficientes  $C_L$  para diferentes relaciones  $d/b$

$d/b$	$C_L$
1	1.00
2	0.98
3	0.95
4	0.91
5	0.87

Si  $d/b = 2$  no se requerirá soporte lateral

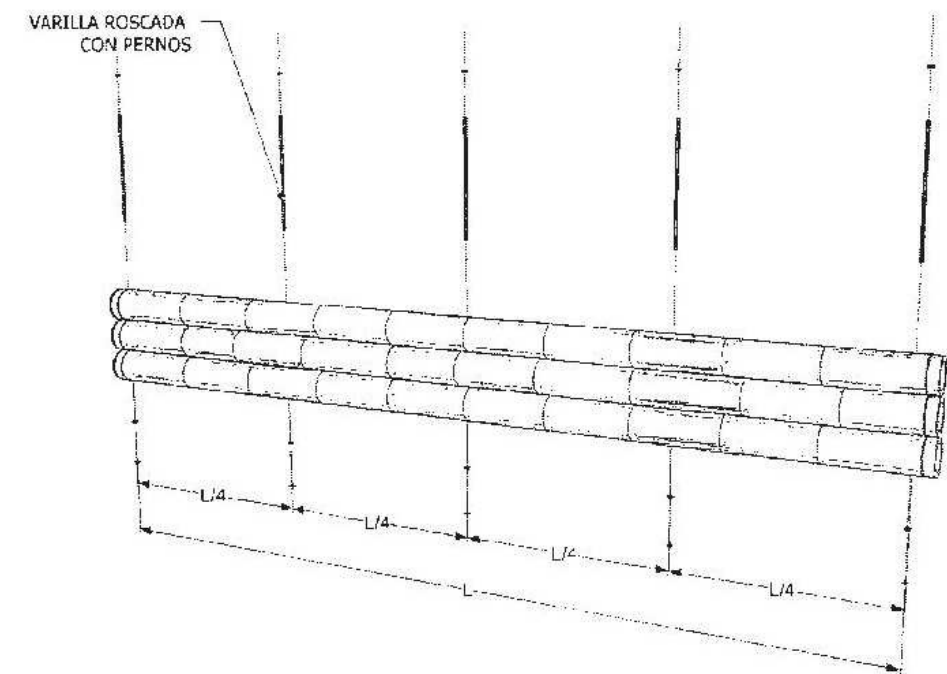
Si  $d/b = 3$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos.

Si  $d/b = 4$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y del borde en compresión mediante correas o viguetas.

Si  $d/b = 5$  se debe restringir el desplazamiento lateral de los apoyos y proveer soporte continuo del borde en compresión mediante un entablado.

## Distribución de conectores en vigas de sección compuesta

Cuando se construyen vigas con dos o más bambús se debe garantizar su estabilidad por medio de conectores transversales de acero, que garanticen el trabajo en conjunto. El máximo espaciamiento de los conectores no puede exceder el menor valor de tres veces el alto de la viga o un cuarto de la luz.



Detalle de conectores de sección compuesta

En nuestro caso utilizaremos la longitud de las vigas más cortas, de manera que se facilite la construcción. De manera que  $4.6 \text{ m}/4 = 1.15 \text{ m}$ .

Como  $3 \cdot 0.3 \text{ m} = 0.9 \text{ m}$ , finalmente esta será la distancia entre los conectores que garantice su estabilidad.

## Diseño de elementos solicitados por fuerza axial

Los elementos que serán diseñados por fuerza axial son aquellos solicitados en la misma dirección que el eje longitudinal que pasa por el centroíde de su sección transversal.

- Elementos solicitados a tensión axial: El esfuerzo de tensión axial actuante ( $f_t$ ) para cualquier sección de guadua, no debe exceder el valor del esfuerzo admisible a tensión axial ( $F'_t$ ) modificado por los coeficientes de modificación correspondientes, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t$$

$$f_t = \frac{34110}{5560} \leq 16.72 \text{ MPa}$$

$$f_t = 6.13 \leq 16.72 \text{ MPa}$$

En donde:

$f_t$  = esfuerzo a tensión actuante, en MPa

T = fuerza de tensión axial aplicada, en N

$F'_t$  = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa

$A_n$  = área neta del elemento, en  $\text{mm}^2$  ( $2780 \cdot 2 = 5560$ )

- Elementos solicitados a compresión axial: La longitud efectiva es la longitud teórica de una columna equivalente con articulaciones en sus extremos. La longitud efectiva de una columna puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$l_e = l_u k$$

$$l_e = 3380 \cdot 1 = 3380 \text{ mm}$$

Donde:

$l_e$  = longitud no soportada lateralmente del elemento, en mm

$l_u$  = longitud efectiva, en mm

k = coeficiente de longitud efectiva, según las restricciones en los apoyos de la siguiente tabla.

Condición de los apoyos	k
Ambos extremos articulados (Ambos extremos del elemento deben estar restringidos al desplazamiento perpendicular a su eje longitudinal)	1.0
Un extremo con restricción a la rotación y al desplazamiento y el otro libre	2.0

Para columnas, la esbeltez se da por la fórmula:

$$\lambda = \frac{l_e}{r}$$

$$\lambda = \frac{3380}{158.1} = 21.38$$

En donde:

$\lambda$  = relación de esbeltez del elemento.

$l_e$  = longitud efectiva del elemento, en mm

r = radio de giro de la sección, en mm

$$\left( r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1.39 \cdot 10^8}{5560}} = 158.1 \right)$$

Clasificación de columnas según su relación de esbeltez:

Columna	Esbeltez
Corta	$\lambda < 30$
Intermedia	$30 < \lambda < C_k$
Larga	$C_k < \lambda < 150$

La esbeltez  $C_k$  es el límite entre las columnas intermedias y las columnas largas y esta dado por la siguiente fórmula:

$$C_k = 2565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

$$C_k = 2565 \sqrt{\frac{7300}{13}} = 60782.3$$

Donde

$F'_c$  = esfuerzo admisible en compresión paralela a las fibras, modificado, en MPa

$E_{0.05}$  = módulo de elasticidad percentil 5, en MPa

Bajo ninguna circunstancia es aceptable trabajar con elementos de columna que tengan esbeltez mayor de 150.



- Elementos solicitados a flexión con tensión axial: Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de tensión axial y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

$$\frac{6.13}{16.72} + \frac{1.18}{5.23} = 0.59 \leq 1.0$$

Donde:

$f_t$  = esfuerzo a tensión actuante, en MPa.

$F'_t$  = esfuerzo de tensión admisible, modificado por los coeficientes a que haya lugar, en MPa.

$F_b$  = esfuerzo a flexión actuante, en MPa.

$F'_b$  = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa.

- Elementos solicitados a flexo-compresión: Los elementos de la estructura que se encuentren sometidos simultáneamente a fuerzas de compresión y flexión deben ser diseñados para cumplir la siguiente ecuación:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

$$\frac{f_c}{13.58} + \frac{-1.72 \cdot 10^{-6} \cdot 1.18}{5.23} \leq 1.0$$

Donde:

$f_c$  = esfuerzo de compresión paralela a la fibra actuante, en MPa.

$F'_c$  = esfuerzo de compresión paralela al fibra admisible, modificado, en MPa

$f_b$  = esfuerzo a flexión actuante, en MPa.

$F'_b$  = esfuerzo a flexión admisible modificado, en MPa.

$K_m$  = coeficiente de magnificación de momentos, calculado con la siguiente fórmula :

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(34110/0.0878)} = -1.72 \cdot 10^{-6}$$

Donde:

$K_m$  = coeficiente de magnificación de momentos

$N_a$  = carga de compresión actuante, en N

$N_{cr}$  = carga crítica de Euler, calculada con la siguiente fórmula:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{l_e^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 7300 \cdot 1.39 \cdot 10^8}{3380^2} = 0.0878$$

Donde:

$N_{cr}$  = carga crítica de Euler, en N

$E_{0.05}$  = módulo de elasticidad del percentil 5, en MPa

$I$  = momento de inercia de la sección, en mm<sup>4</sup>

$l_e$  = longitud efectiva del elemento, en mm

- Cargas admisibles en elementos sometidos a compresión: Los elementos sometidos a compresión axial deben ser diseñados si considerar una excentricidad mínima, siempre que se utilicen las expresiones presentadas en los tres párrafos siguientes.

**Columnas cortas.** Su carga admisible debe calcularse multiplicando el valor del esfuerzo admisibles en compresión paralela a las fibras por el área de la sección.

$$N_{adm} = f_c A$$

$$N_{adm} = 13 \cdot 8340 = 108420$$

**Columnas intermedias.** Para columnas intermedias, que fallan por una combinación de aplastamiento e inestabilidad se podrá adoptar la ecuación.<sup>1</sup>

$$N_{adm} = f_c A \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

La carga admisible de **columnas largas** se debe determinar por consideraciones de elasticidad. Considerando una adecuada seguridad al pandeo la carga máxima se determinará por la fórmula de Euler. La fórmula general de las columnas de secciones de cualquier forma es:

$$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2,5(\lambda)^2}$$

Para **columnas circulares**

$$N_{adm} = 0,2467 \frac{EA}{(\lambda)^2}$$

- Diseño de elementos sometidos a flexocompresión: Los elementos sometidos a esfuerzos de flexión y compresión combinados deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m |M|}{Z f_m} \leq 1.0$$
$$\frac{34110}{108420} + \frac{-1.72 \cdot 10^{-6} \cdot 3.75}{150 \cdot 5.23} = 0.32 \leq 1.0$$

Donde:

N Carga axial aplicada.

$N_{adm}$  Carga axial admisible, calculada según las fórmulas de las columnas.

$K_m$  Factor de magnificación de momentos.

M Valor absoluto del momento flector máximo en los elementos.

Z Módulo de sección con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión.

$f_m$  Esfuerzo admisible en flexión.

$N_{cr}$  Carga crítica de Euler para pandeo en la sección en que se aplican los momentos de flexión.

### Acciones accidentales: Sismo

En cuanto a su resistencia al sismo, las fuerzas de aceleración que éstas provocan a las estructurales están directamente relacionadas con el peso de la edificación. La constitución anatómica tubular le permite absorber la energía de deformación retardando las fallas o roturas. Pero es importante cuidar el arriostramiento y proveer de flexibilidad suficiente a las uniones.

### Diseño de uniones

La resistencia de las uniones dependerá del tipo de unión y de los elementos utilizados. Los valores admisibles se determinarán en base a los resultados de cinco ensayos como mínimo, con los materiales y el diseño a utilizar en la obra, considerando un Factor de Seguridad de 3.

### Proceso constructivo

-Materiales de construcción.

#### a. Madera

- La calidad de la madera aserrada debe regirse por la Norma E.010 Madera (vigente), del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- La clasificación mecánica de las maderas usadas en muros, entresijos y cubiertas debe corresponder como mínimo, al Grupo C, según lo establecido en la Norma E.010 Madera (vigente), del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### b. Elementos metálicos

- Son elementos metálicos de unión, anclaje y de refuerzo las tuercas de acero, pernos, tornillos y arandelas.

- Las tuercas de acero deben cumplir lo establecido en la NTP 341.026:1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para tuercas.

- Los pernos, tornillos y arandelas deben cumplir lo establecido en la NTP 341.028:1970 Barras de acero al carbono laminadas en caliente para pernos y tornillos formados en caliente.

- Los tornillos, pernos, tuercas y pletinas, deberán tener tratamientos anticorrosivo como el zincado o galvanizado, especialmente en áreas exteriores y ambientes húmedos.

#### c. Mortero

La calidad del mortero de cemento para el relleno de los entrenudos deberá ser en una proporción máxima de 1:4 (cemento — arena gruesa) y debe cumplir con la Norma E.70 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones. La calidad del mortero de cemento para el revoque de muros debe cumplir con la Norma E.70 Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### d. Concreto simple y armado

La calidad del concreto y del refuerzo del acero se regirá por lo establecido en la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Actividades preliminares al proceso constructivo.

Evitar la incidencia de la humedad estableciendo las condiciones adecuadas en el terreno sobre el cual se va a construir la edificación (obras preliminares, trabajos provisionales, etc.). Para la descarga, almacenamiento y montaje de piezas de Bambú así como para todo el proceso de construcción, debe tomarse en cuenta lo establecido en la Norma G.050 Seguridad Durante la Construcción (vigente) del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Por la forma irregular de las cañas de bambú, los elementos constructivos de bambú deben conformarse tomando como referencia sus ejes. El manejo y los procesos constructivos de las piezas de madera deben seguir los requisitos y recomendaciones de la NTE E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### **e. Cimientos, sobrecimientos, losas y pisos.**

Se regirán por lo establecido en la Norma E. 050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones. Se debe construir un sobre cimiento de una altura mínima de 20 cm sobre el nivel del terreno natural para recibir todos los elementos estructurales verticales de bambú (columnas y muros estructurales).

#### **f. Uniones entre piezas de bambú**

Las piezas de bambú, deben ser cortadas de tal forma que quede un nudo entero en cada extremo o próximo a él, a una distancia máxima  $D = 6$  cm del nudo.

Las piezas de bambú, no se deben unir con clavos.

### **4.2. Comportamiento de elementos estructurales de Adobe.**

Al igual que para el bambú, encontramos una normativa que contempla ciertos aspectos estructurales del adobe : la Norma E.080 de Perú, de la que se escogerán aquellos artículos que afecten al proyecto.

#### **4.2.1. Definiciones**

**a. Adobe:** Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.

**b. Adobe Estabilizado:** Adobe en el que se han incorporado otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.

**c. Mortero Material de unión de los adobes:** Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.

**d. Arriostre:** Elemento que impide el libre desplazamiento del borde del muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.

**e. Altura Libre del Muro:** Es la distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.

**f. Largo Efectivo:** Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.

**g. Esbeltez:** Relación entre la altura libre del muro y su espesor.

**h. Muro Arriostrado:** Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.

**i. Extremo Libre del Muro:** Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.

**j. Vigas Collar o Soleras:** Son elementos de uso obligatorio que generalmente conectan a los entrepisos y techos con los muros. Adecuadamente rigidizados en su plano, actúan como elemento de arriostre horizontal.

#### **4.2.2. Unidad o bloque de adobe**

##### **a. Requisitos Generales**

La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara. El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

## b. Formas y Dimensiones

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho. En nuestro caso se cumple, puesto que el largo es de 38 cm y el ancho de 18 cm.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm. Cumpliéndose en el proyecto ésta y la anterior premisa con una altura de los adobe de 10 cm.

## c. Recomendaciones para su Elaboración

Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 mm y otros elementos extraños.

Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas.

Secar los adobes bajo sombra.

## 4.2.3. Requisitos de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra

### a. Tierra.

No se debe construir con tierra sin verificar la adecuada presencia de arcilla en la tierra a utilizar. La verificación de existencia adecuada de arcilla puede realizarse mediante pruebas de laboratorio o mediante las pruebas de campo, como la prueba rápida preliminar de la “Cinta de Barro”(Ver ANEXO 1) y si fuera positiva, la prueba empírica de la “Presencia de Arcilla” (Ver ANEXO 2) las cuales deben estar garantizadas con la firma del profesional responsable.

### b. Agua.

Debe ser limpia o provenir de manantiales naturales. No se debe utilizar agua contaminada.

## 4.2.4. Comportamiento sísmico de las construcciones de adobe

### a. Comportamiento Sísmico de las Construcciones de Adobe

Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior; esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad lateral, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano. Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal. Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:

- Suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes.
- Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.
- Los vanos deben ser pequeños y de preferencia centrados.

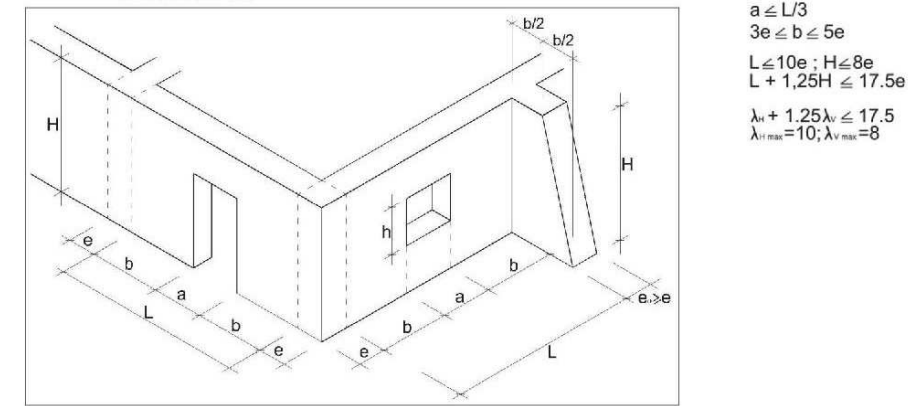
d) Dependiendo de la esbeltez de los muros, se definirá un sistema de refuerzo que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

## b. Fuerzas Sísmicas Horizontales

Las edificaciones de tierra, deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:

- Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro será de 0.40 m. En caso se opte por otras dimensiones, el ingeniero responsable deberá sustentar su propuesta mediante métodos racionales y/o experimentales.
- La densidad de muros en la dirección de los dos ejes principales tendrá el valor mínimo indicado en la TABLA 2 FACTOR DE USO Y DENSIDAD POR TIPO DE EDIFICACION. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.
- Tener una planta simétrica respecto a los dos ejes principales.
- El espesor, densidad y altura de muros, la distancia entre arriostres verticales, las dimensiones de las aberturas, así como los materiales y la técnica constructiva, para la construcción de una edificación de tierra, deben ser aplicados de manera continua y homogénea.
- Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado en la FIGURA 1. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

FIGURA 1 - ESQUEMA DE LA POSICIÓN Y DIMENSIONES DE LOS VANOS. DISTANCIA DE ARRIOSTRES VERTICALES (L) O LÍMITES DE ALTURA (H), EN FUNCIÓN AL MENOR ESPESOR DEL MUROS (e).



f) Es aconsejable que los muros tengan una esbeltez vertical ( $\lambda_v$ ) igual o menor a 6 y los muros transversales o arriostres verticales deben tener, entre si, una distancia igual o menor a 10 veces el espesor del muro, es decir una esbeltez horizontal ( $\lambda_h$ ) igual a 10. Sin embargo, la esbeltez vertical podrá llegar a ser máximo 8, si los muros transversales tienen una esbeltez horizontal más restringida igual o menor a 7.5.

En general, se podrá utilizar la expresión:  $\lambda_h + 1.25 \lambda_v = 17.5$ , para determinar las máximas esbelteces que se deben cumplir. Ver FIGURA 1.

g) Los contrafuertes o arriostres de muros verticales, no deben tener un espesor menor al de los muros que estabiliza, ni una longitud total menor a tres veces su espesor, ni mayor a cinco veces su espesor. Ver FIGURA 1.

h) Para las zonas 2 y 3 del Mapa de Zonificación Sísmica incluido en la norma E.030 Diseño Sismo resistente, la configuración de muros se debe basar según lo indicado en la FIGURA 1.

En caso se deseen aplicar lineamientos técnicos diferentes a los indicados en este numeral, el ingeniero responsable deberá sustentar su propuesta mediante métodos racionales y/o experimentales.

La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión:

$$H = SUCP$$

Donde:

S: Factor de suelo (indicado en la Tabla 1)

U: Factor de uso (indicados en la Tabla 2)

C: Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3)

P: Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.

TABLA 1

Tipo	Descripción	Factor S
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible > 3kg/cm <sup>2</sup> o 0.29MPa	1,0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible > 1kg/cm <sup>2</sup> o 0.098MPa	1,4

TABLA 2

Tipo de las Edificaciones	Factor U
Colegios, Postas Médicas, Locales Comunales, Locales Públicos	1,4
Viviendas y otras edificaciones comunes	1,0

### c. Comportamiento del Adobe Frente a Cargas Verticales

Usualmente la resistencia de la albañilería a cargas verticales no presenta problemas para soportar la carga de uno o dos pisos. Se debe mencionar sin embargo que los elementos que conforman los entresijos o techos de estas edificaciones, deben estar adecuadamente fijados al muro mediante la viga collar o solera.

TABLA 3

Zonas Sísmica	Coeficiente Sísmico C
3	0,24
2	0,16
1	0,10

### d. Protección de las Construcciones de Adobe

La humedad y la erosión producidas en los muros, son principales causantes del deterioro de las construcciones de tierra, siendo necesaria su protección a través de:

- Recubrimientos resistentes a la humedad
- Cimientos y sobrecimientos que eviten el contacto del muro con el suelo
- Veredas perimetrales
- Aleros
- Sistemas de drenaje adecuados

### e. Frente al viento, humedad y erosión.

El viento y la humedad, erosionan los muros siendo unos de los principales causantes del deterioro de las edificaciones de tierra. Por esto, es necesaria su protección a través de:

- Cimientos y sobrecimientos que eviten el humedecimiento del muro por ascensión capilar de la humedad del suelo.
- Recubrimientos resistentes a la lluvia, humedad y viento, que permitan la evaporación de la humedad del muro.
- Aleros en el techo que protejan el muro de cualquier contacto con la lluvia. En zonas lluviosas se recomiendan aleros no menores de un metro (1 m.) de voladizo, adecuadamente anclados y con peso suficiente para no ser levantados por el viento.
- Veredas perimetrales que permitan la evaporación del suelo y con pendiente hacia el exterior.
- Sistemas de drenaje adecuado (material granular suelto, tipo piedras y gravas, con pendiente y colector inferior, evacuador de agua).
- En caso de incluir patios interiores, permitir la evaporación del agua o humedad depositada en el suelo o piso.

### 4.2.5. Sistema estructural

El sistema estructural de las construcciones de adobe estará compuesto de:

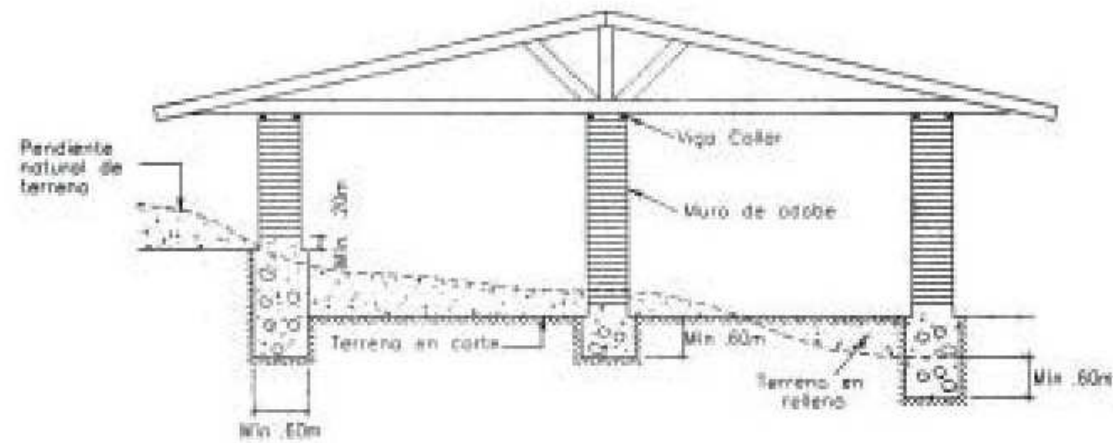
- a) Cimentación
- b) Muros
- c) Elementos de arriostre horizontal
- d) Elementos de arriostre vertical
- e) Entrepiso y techo
- f) Refuerzos

## a. Cimentación

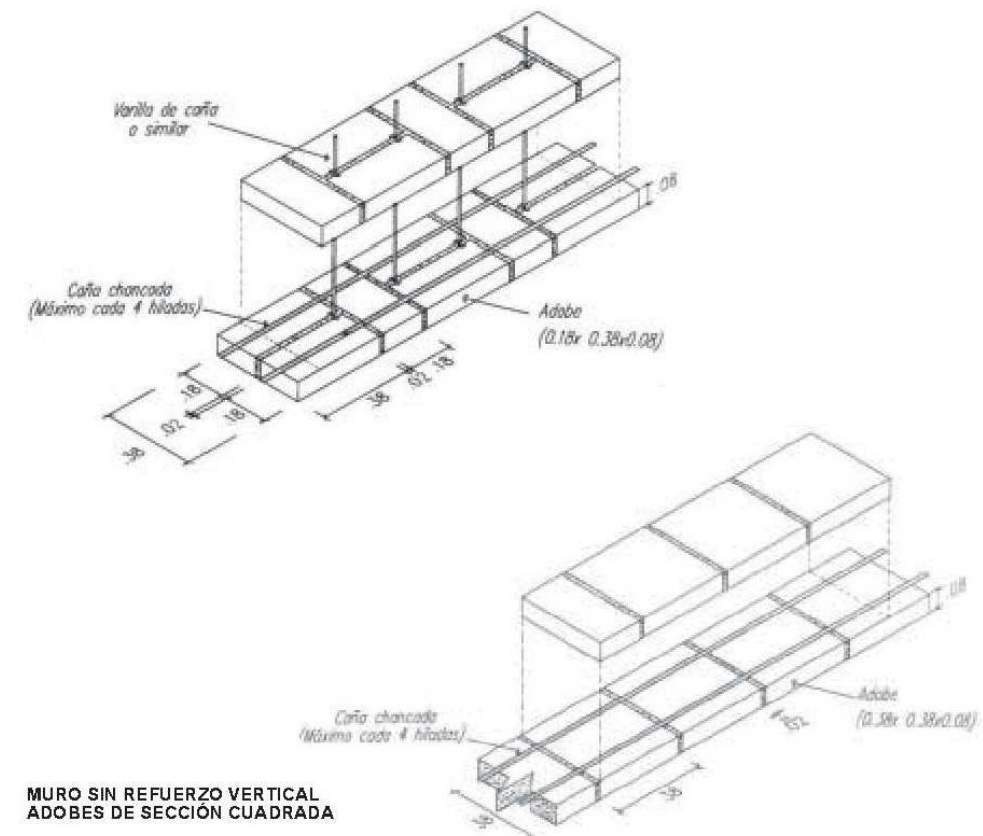
- No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos ni en arcillas expansivas.
- La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural y un ancho mínimo de 40 cm.
- Los cimientos para los muros deberán ser concreto ciclópeo o albañilería de piedra. En zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II para unir la mampostería de piedra (Ver Artículo 7 (7.2)).
- El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o albañilería de piedra asentada con mortero Tipo I (Ver Artículo 7 (7.11)), y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 30 cm sobre el nivel del suelo. (Ver Figura 2).

## b. Muros

FIGURA 2



- Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá controlando la esbeltez y utilizando arriostres o refuerzos.
- Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslape tal como se muestra en las Figuras 3 y 4.
- El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostres verticales será 12 veces el espesor del muro.
- En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre. El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro y la distancia entre el borde libre al arriostre vertical más próximo no será menor de 3 ni mayor de 5 veces el espesor del muro. Se exceptúa la condición de 3 veces el espesor del muro en el caso que el muro esté arriostrado al extremo.



- Como refuerzo se podrá utilizar cualquier material de los especificados en la Artículo 6 (6.4).
- Los muros deberán ser diseñados para garantizar su resistencia, según lo especificado en el Artículo 8.

## c. Elementos de Arriostre

- Para que un muro se considere arriostrado deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos.
- Los elementos de arriostre serán verticales y horizontales.

- Los arriostres horizontales son elementos o conjunto de elementos que poseen una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros.

Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los denominados viga collar o solera. Estas pueden ser de madera o en casos especiales de concreto madera. (Ver Artículo 6 (6.4)).

- Los elementos de arriostre horizontal se diseñarán como apoyos del muro arriostrado, considerándose al muro como una losa vertical sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a él.

- Se deberá garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deberán conformar un sistema continuo e integrado.

#### d. Refuerzos Especiales

De acuerdo a la esbeltez de los muros que se indican en la Tabla 4, se requieren refuerzos especiales. Estos tienen como objetivo mejorar la conexión en los encuentros de muros o aumentar la ductilidad de los muros. Dentro de los refuerzos especiales más usados se tienen caña, madera o similares, malla de alambre y columnas de concreto armado. Se detallarán especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.

TABLA 4

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor min. Muro (m)	Altura min. Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0,4 — 0,5	2,4 — 3,0
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0,3—0,5	2,4 — 4,0
$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0,3—0,5	2,7—4,5

En casos especiales  $\lambda$  podrá ser mayor de 9 pero menor de 12, siempre y cuando se respalde con un estudio técnico que considere refuerzos que garanticen la estabilidad de la estructura.

##### a) Caña, madera o similares

Estos refuerzos serán tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de hiladas (máximo cada 4 hiladas) y estarán unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas. Podrán usarse en los encuentros y esquineros de los muros o en toda la longitud de los muros, dependiendo de lo indicado en la Tabla 4. En el caso de que se utilicen unidades cuya altura sea mayor de 10 cm, las tiras de caña tendrán un espaciamiento máximo de 40 cm. Las tiras de caña o similares se colocarán necesariamente coincidentes con el nivel superior o inferior de todos los vanos. Se colocarán cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en un plano central entre unidades de adobe (Ver Figura 3), o en alvéolos de mínimo 5 cm de diámetro dejados en los adobes (Ver Figura 3). En ambos casos se rellenarán los vacíos con mortero. En esfuerzo vertical deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura y seca o elementos rectos y secos de eucalipto u otros similares. Se podrá usar madera en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros. La viga solera se anclará adecuadamente al muro y al dintel si lo hubiese.

#### 4.2.6. Techos

a) Los techos deberán en lo posible ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros; además, deberán estar adecuadamente fijados a éstos a través de la viga solera.

b) Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros, empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.

c) En general, los techos livianos no pueden considerarse como diafragmas rígidos y por tanto no contribuyen a la distribución de fuerzas horizontales entre los muros. La distribución de las fuerzas de sismo se hará por zonas de influencia sobre cada muro longitudinal, considerando la propia masa y las fracciones pertinentes de las masas de los muros transversales y la del techo. d) En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techado deberá garantizar la estabilidad lateral de los tijerales.

e) En los techos de las construcciones se deberá considerar las pendientes, las características de impermeabilidad, asilamiento térmico y longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar.

#### 4.2.7. Morteros

Los morteros se clasificaran en dos grupos:

a) Tipo I (en base a tierra con algún aglomerante como cemento, cal, asfalto, etc.).

b) Tipo II (en base a tierra con paja). Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán contener un mortero del tipo I ó II de buena calidad.

##### a. Mortero Tipo I

Mortero de suelo y algún aglomerante como cemento, cal o asfalto. Deberá utilizarse la cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad. Las proporciones dependen de las características granulométricas de los agregados y de las características específicas de otros componentes que puedan emplearse.

##### b. Mortero Tipo II

La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades de adobe y de ninguna manera tendrá una calidad menor que las mismas. Deberá emplearse la cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable. Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.

#### 4.2.8. Aspectos técnicos del adobe

##### a. Esfuerzos últimos o admisibles mínimos. ensayos de laboratorio.

La relación entre los esfuerzos últimos y los admisibles (coeficiente de seguridad) será de 2.5 por variación de calidad en material, calidad de ejecución y evaluación de las cargas.

##### Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos):

Resistencia Última:  $f_0 = 10,2 \text{ kg / cm}^2$

La resistencia se medirá mediante el Ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.

Los cubos de adobes o muestras de tapial deberán cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

En el caso del tapial, de no existir muestras secas, se recomienda elaborar muestras comprimidos en moldes de 0.1 x 0.1 x 0.15 m. con 10 golpes de un mazo de 5 kg de peso.

##### Resistencia del material tierra a la tracción

Resistencia última:  $0.08 \text{ MPa} = 0.81 \text{ kg / cm}^2$

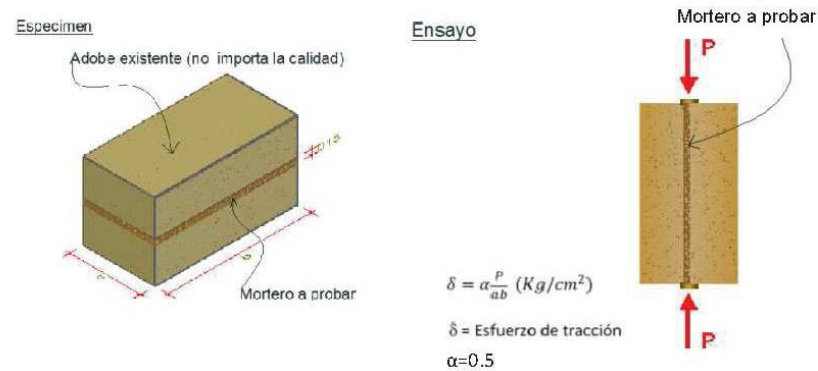
La resistencia se medirá mediante el Ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo. Las muestras deberán tener humedad inicial de 20 a 25 % para control de adobes y 10 a 15 % para control de tapial, y un secado cubierto de sol y viento de 28 días, debiendo cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

##### Resistencia del mortero a la tracción

Resistencia última  $0.012 \text{ MPa} = 0.12 \text{ kg / cm}^2$

La resistencia se medirá mediante el Ensayo de Morteros a Tracción indirecta, en probetas de dos adobes unidos por mortero de barro con o sin aditivos naturales, sujetos a compresión de manera similar al ensayo brasileño.

Se deberá cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

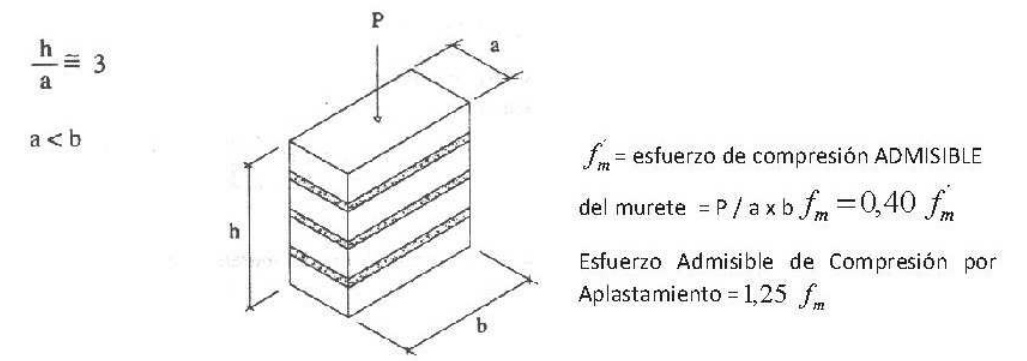


##### Resistencia del murete de tierra a la compresión

Resistencia última  $0.6 \text{ MPa} = 6.12 \text{ kg / cm}^2$

Ensayo de compresión en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente). Se deberá cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

FIGURA 2. Ensayo de Compresión. Muretes de adobe o Tapial



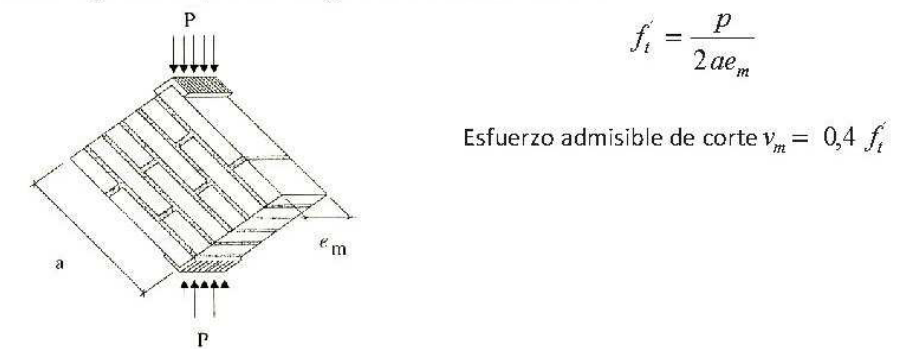
##### Resistencia del murete a la tracción indirecta

Resistencia última  $0.025 \text{ MPa} = 0.25 \text{ kg / cm}^2$

Ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes de adobe o tapial de aproximadamente 0,65 m. x 0.65 m. x em.

Se deberá cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Figura 3. Ensayo de Compresión Diagonal o Tracción indirecta.



##### Resistencia de muros a tracción por flexión

Resistencia última  $0.14 \text{ MPa} = 1.42 \text{ kg / cm}^2$



#### 4.2.9. Anexos

##### **Anexo 1: Prueba “cinta de barro”**

Para tener una primera evaluación de la existencia de arcilla en un suelo se puede realizar la prueba rápida de la cinta (en un tiempo aproximado de 10 minutos).

Utilizando una muestra de barro con una humedad que permita hacer un cilindro de 12mm de diámetro, colocado en una mano, aplanar poco a poco entre los dedos pulgar e índice, formando una cinta de 4mm de espesor, que se deja descolgar lo mas que se pueda. Si la cinta alcanza entre 20 cm y 25 cm de longitud, el suelo es arcilloso. Si se corta a los 10 cm o menos, el suelo tiene poco contenido de arcilla.

##### **Anexo 2: Prueba “presencia de arcilla” o “resistencia seca”**

Pasos a seguir para la prueba “Presencia de Arcilla” o “Resistencia Seca”:

**Paso 1:** Formación de cuatro bolitas. Utilizar la tierra de la zona que se considera apropiada para emplearla como material de construcción y agregarle una mínima cantidad de agua para hacer cuatro bolitas. La cantidad de agua será la mínima necesaria para formar sobre las palmas de las manos cada una de las bolitas, sin que estas se deformen significativamente a simple vista, al secarse.

**Paso 2:** Tiempo de secado. Las cuatro bolitas deben dejarse secando 48 horas, asegurando que no se humedecerán o mojaran por lluvias, derrames de agua, etc.

**Paso 3:** Ensayo de “las bolitas”. Una vez transcurrido el tiempo de secado, se debe presionar fuertemente cada una de las bolitas con el dedo pulgar y el dedo índice de una mano.

En caso que luego de la prueba, se quiebre, rompa o agriete al menos una sola bolita se debe volver a formar una bolita con los mismos materiales y dejando secar en las mismas condiciones anteriores.

Luego del tiempo de secado, se debe repetir la prueba. Si se vuelve a romper, quebrar o agrietar, se debe desechar la cantera de suelo donde se ha obtenido la tierra. Salvo que se mezcle con arcilla o suelo muy arcilloso.

En caso de que luego de la prueba no se rompa, no se quiebre o no se agriete ninguna de las cuatro bolitas, dicha cantera podrá utilizarse como material de construcción.

##### **Anexo 4. Prueba “contenido de humedad” para la construcción con tapial.**

- Formar una bola de tierra del tamaño de un puño y comprimirla fuertemente. Soltarla a un suelo firme y plano desde una altura de 1.10 m.
- Si la bola de tierra se rompe en 5 pedazos o más, el contenido de humedad es correcto.
- Si la bola se aplasta sin desintegrarse, el contenido de humedad es demasiado alto.
- Si la bola se desintegra en el piso, el suelo es demasiado seco.

##### **Anexo 5. Prueba de “control de fisuras” o “dosificación suelo-arena gruesa”**

Se preparan especímenes de prueba (emparedados de dos adobes existentes unidos por morteros nuevos).

Los morteros deberán tener la mínima cantidad de agua necesaria para una mezcla trabajable.

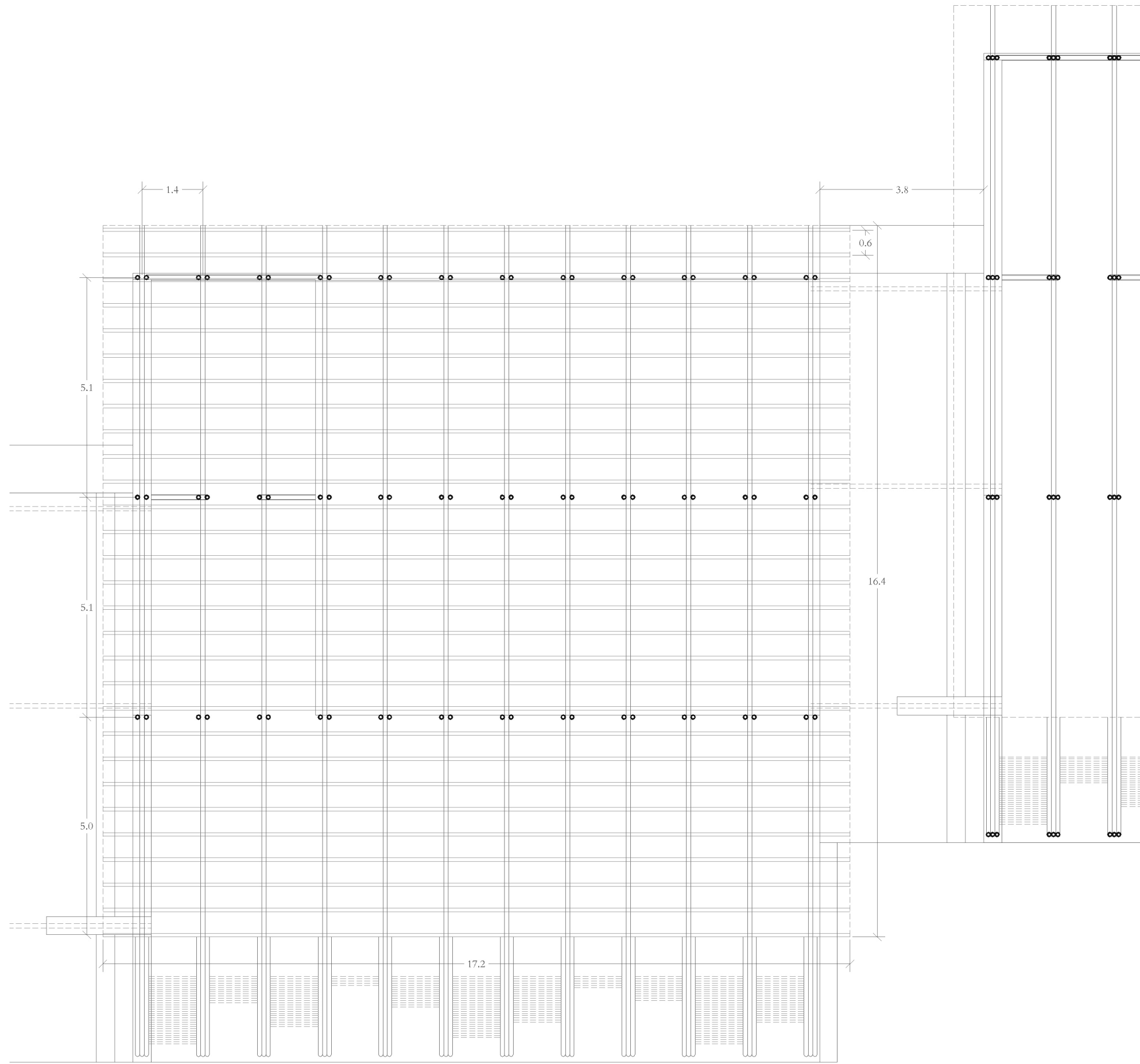
En la preparación de los diferentes especímenes, el mortero irá aumentando la cantidad de arena gruesa en cada muestra y la cantidad de agua necesaria, empezando por una proporción de una parte de suelo y cero partes de arena gruesa, es decir, una proporción 1:0.

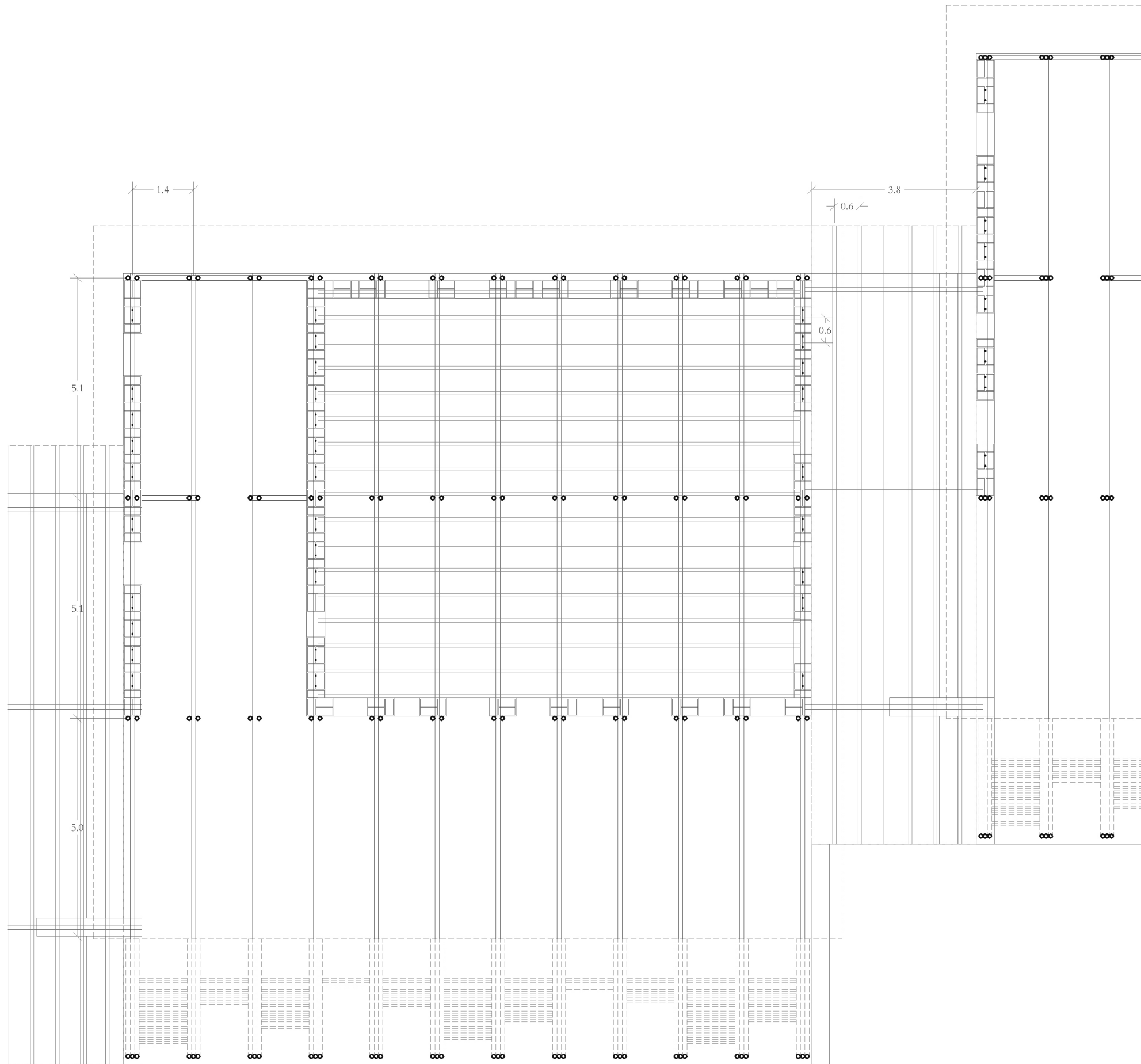
Para el segundo espécimen, una parte de suelo y 1/2 parte de arena gruesa, es decir, una proporción de 1: 1/2

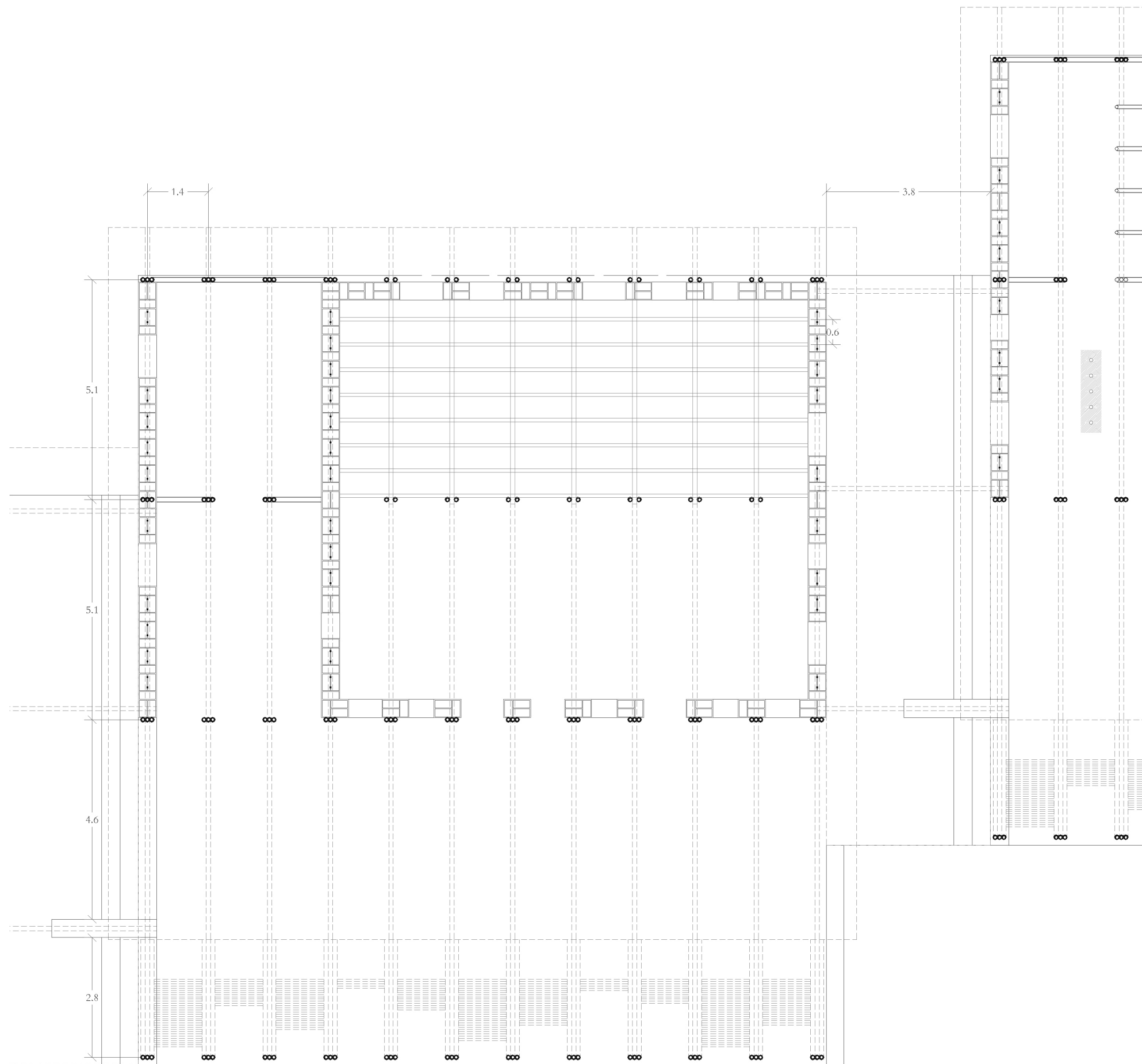
En el siguiente espécimen, una parte de suelo y otra de arena gruesa, es decir, 1: 1, y así sucesivamente hasta la proporción 1: 3.

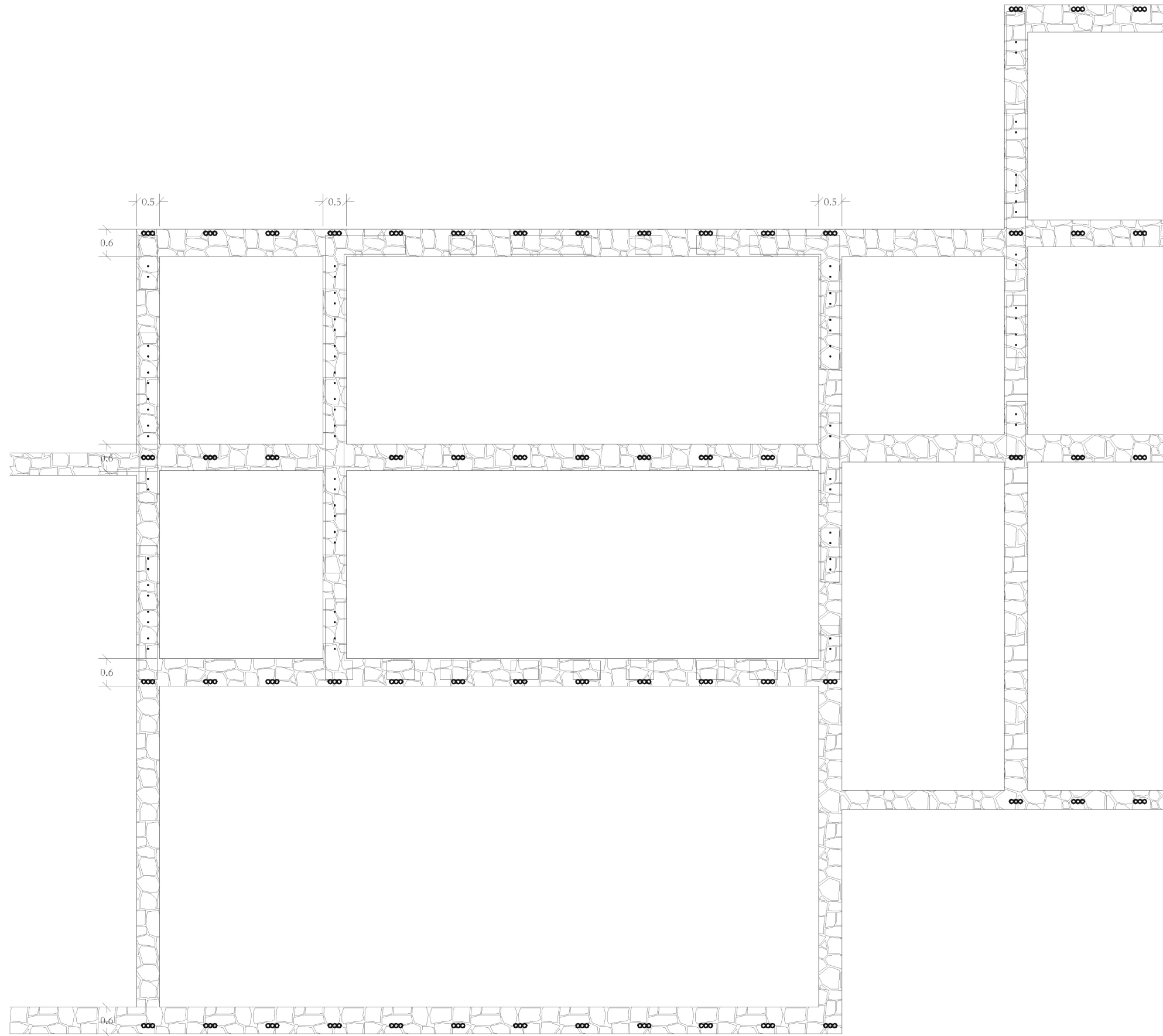
Luego de secarlos por 48 horas, se irán abriendo los especímenes en el mismo orden, para observar el agrietamiento del mortero.

Para la albañilería de adobe, la proporción óptima es la que corresponde al espécimen que no presente fisuras visibles. Si el suelo, teniendo suficiente presencia de arcilla, no muestra fisuras en ningún espécimen, significa que no requiere añadirle arena gruesa, porque ya está equilibrado.

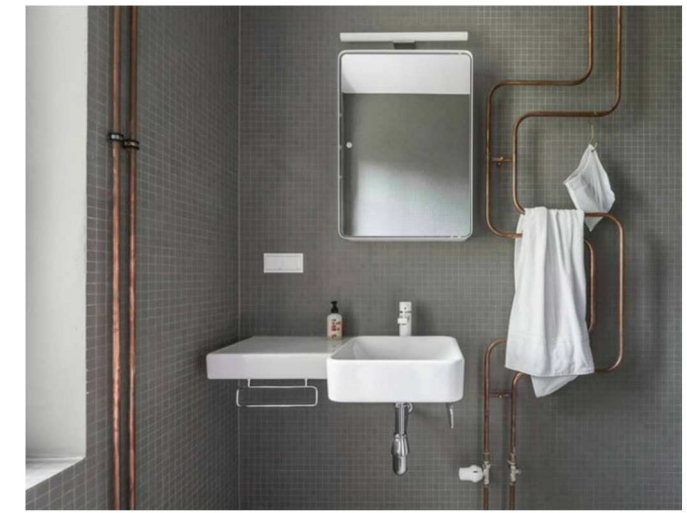








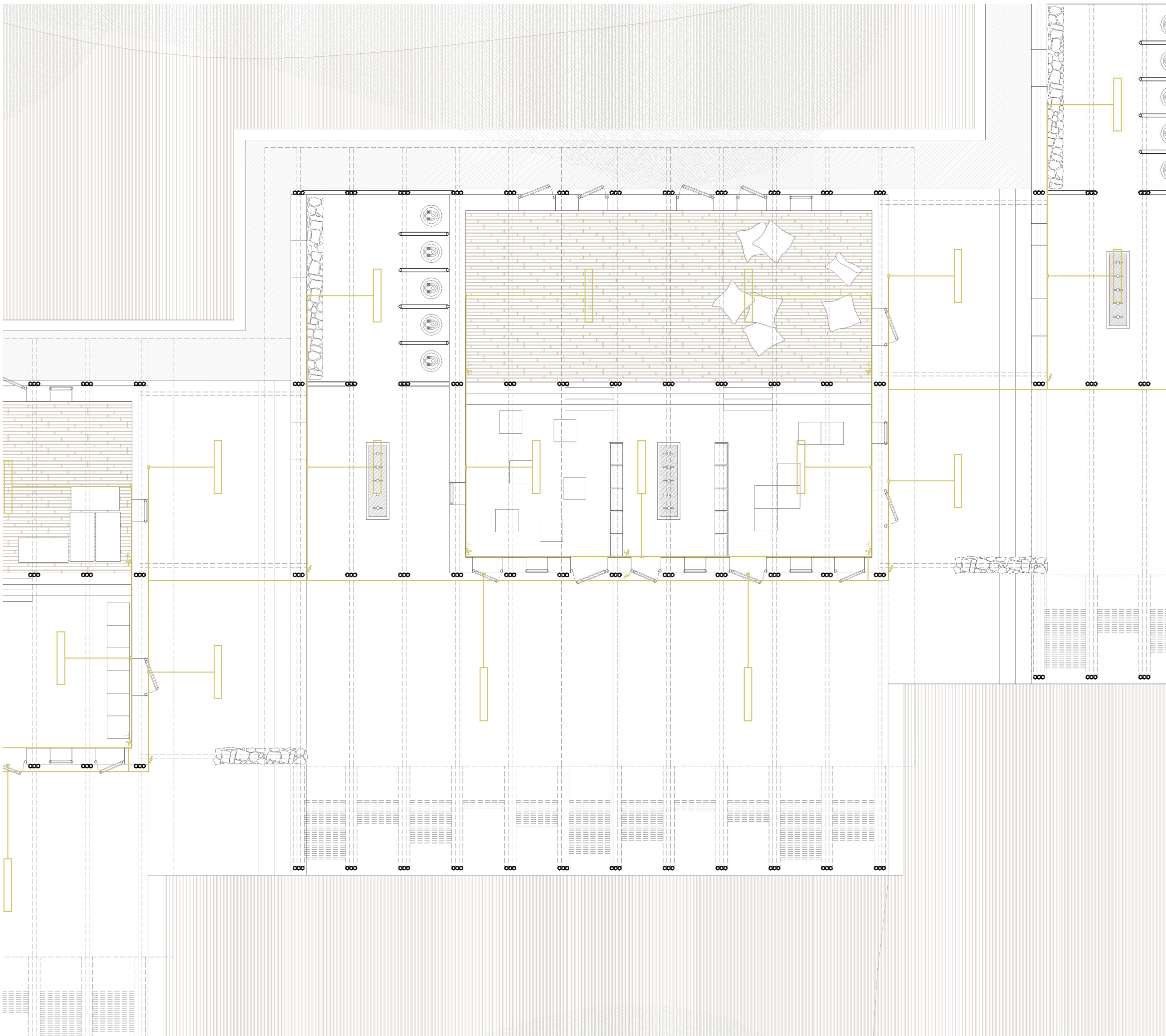




Teniendo en cuenta el carácter público del edificio y, por lo tanto, la necesidad de que sus **instalaciones sean accesibles**, además de la intención de que sea de construcción y mantenimiento factible, surge la necesidad de que las instalaciones sean vistas. Por ello se pretende que las instalaciones cuelguen y se apoyen de la estructura de bambú, atravesando por el exterior los diferentes pórticos e introduciéndose de manera puntual cuando sea necesario.

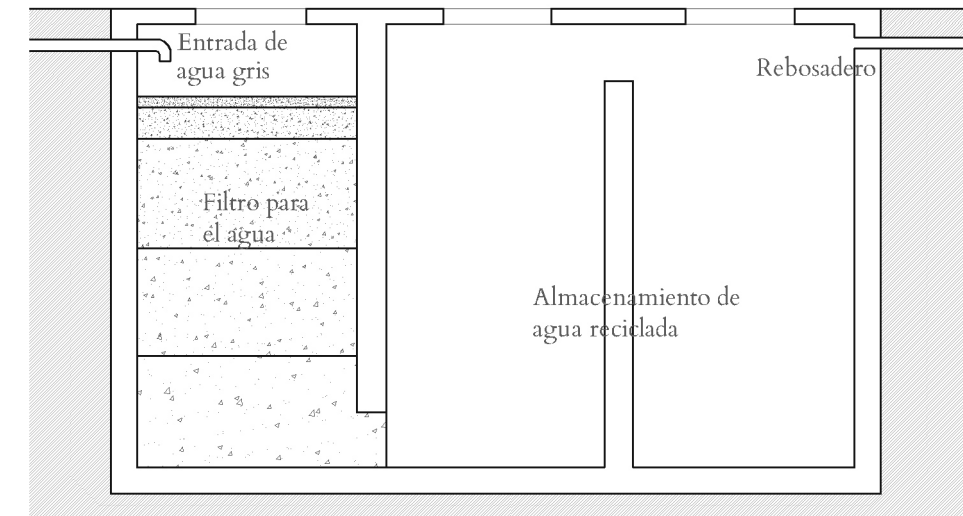
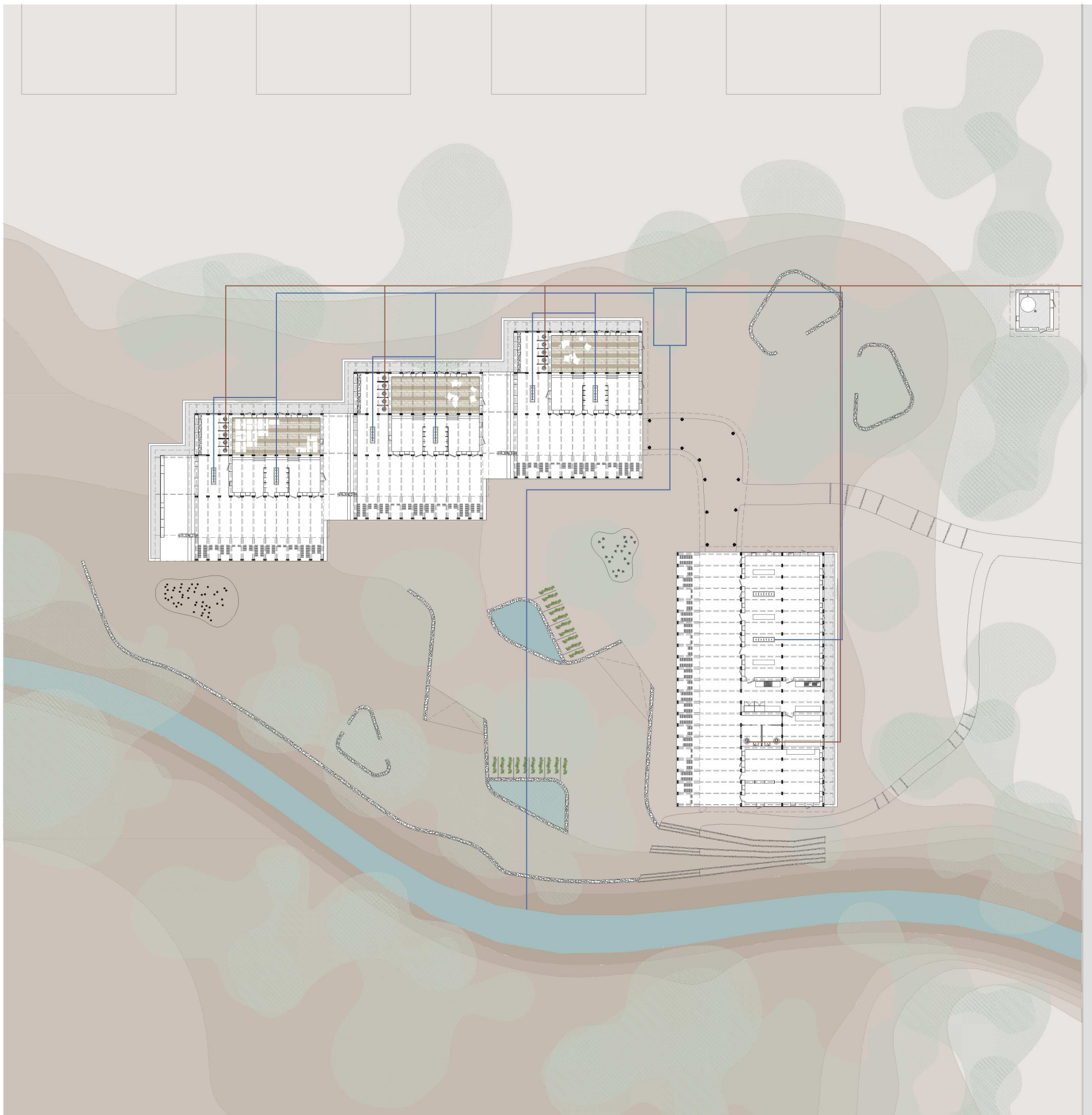






"La presencia de algunas instalaciones en muchos ámbitos arquitectónicos no solo es inevitable sino que a veces es muy conveniente. Se trata de un elemento más a resolver al plantearse el diseño de esos espacios y probablemente la solución más sensata esté en algún pacto inteligente entre la discreción y la accesibilidad"

El tendido de las instalaciones. Ignacio Paricio.



Haciendo referencia al carácter bioclimático del edificio, se plantea un sistema de reutilización de agua básico mediante un filtro biológico para aguas grises.

Con este se pretende recoger el agua de los lavabos y hacerla pasar por un filtro que cuenta con diferentes niveles de gravas que van disminuyendo su diámetro para conseguir eliminar todas las impurezas.

De aquí pasará a un espacio de almacenamiento que se vaciará conforme el agua rebose y se llevará hasta las láminas de agua del jardín para que pueda ser utilizada para el riego. En el caso de que las láminas de agua rebosen, ésta irá a parar al río.

Con este sistema se evita mantener el agua estancada durante demasiado tiempo y se permite su reutilización o su vuelta al medio.

En cuanto a las aguas negras, se dirigirán hacia el exterior del edificio utilizando arquetas puntuales accesibles para su mantenimiento y de ahí se llevarán a la red común.