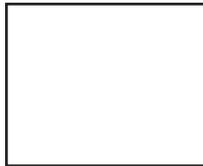


AUTOR: BEATRIZ GONZÁLEZ YAGÜE  
TUTOR: SALVADOR MATA PÉREZ

# ARQUITECTURA PARA LA COMUNIDAD

Estudio y aplicación de la arquitectura  
vernácula del Africa Subsahariana



TRABAJO DE FIN DE GRADO  
SEPTIEMBRE 2018



**Universidad de Valladolid**



Según los últimos datos de la OMS, África es el continente con mayores tasas de pobreza a nivel mundial. Una de las zonas con mayor problema se encuentra en la parte subsahariana de la región, donde los valores de desarrollo a lo largo de los años permanecen invariables. Ésta inflexión evolutiva provoca un estancamiento en el avance del continente como potencia. Es por ello que resulta necesaria la incorporación de diseños que faciliten el progreso en estas comunidades.

Este trabajo, incluido en el ámbito de cooperación al desarrollo, trata de estudiar y analizar las construcciones populares de la zona de África subsahariana, orientando su interés principal hacia el estudio de tres espacios de reunión situados a lo largo de la franja subsahariana.

Palabras clave:

África Subsahariana, Construcción vernácula, Bambú, Tierra, Centros de aprendizaje.



---

## 1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 Desarrollo económico y urbano en África
- 1.2 Principales problemas sociales
- 1.3 Abastecimiento de agua y Saneamiento

## 2. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

- 2.1 Estudio de regiones seleccionadas
- 2.2 Clima

## 3. ARQUITECTURA VERNACULAR

### 3.1 Materiales

#### -Tierra

- . Ventajas
- . Propiedades del material
- . Estudios de la tierra
- . Técnicas de construcción

#### -Bambú

- . Propiedades del material
- . Estudio de elementos constructivos: Cimentación y estructuras
- . Union y conexión de elementos
- . Tratamientos de optimización y protección del material

### 3.2 Sistemas constructivos

- Cimentaciones
- Muros
- Cubiertas
- Carpinterías
- Acabados

### 3.3 Tipologías edificatorias

## 4. CASE STUDIES

- Escuela primaria en Gando (Fase 1, 2 y 3) / Diébedo Francis Kéré
- Hagamos escuela en Thionck-Essyl / Foundawtion
- New Artist Residency In Senegal / Toshiko Mori

## 5. CONCLUSIONES

## 6. BIBLIOGRAFÍA

## 7. INDICE DE FIGURAS



INTRODUCCIÓN

---

## 8 INTRODUCCIÓN

### Desarrollo económico y urbano en África

En el año 2013, África fue catalogada como el continente con mayores tasas de pobreza a nivel mundial.

El valor del PIB de África es menor que un tercio del que dispone EEUU, sin embargo, el banco mundial, tras analizar las tasas de crecimiento del continente en los últimos años, espera que en 2025 los ingresos medios por persona lleguen a los valores mínimos.

El crecimiento de África en el 2013 fue de un 5'6% anual, posicionándose como el continente con un mayor crecimiento. Así se espera que hasta 2023 el promedio aumente hasta un 6% más.

La zona en la que se ha documentado un mayor crecimiento se sitúa en la franja del África Subsahariana, donde las tasas han alcanzado el 6% en un tercio de los países que lo engloban.

Las entidades internacionales catalogan al continente como el motor de crecimiento económico del futuro, datos que surgen a partir del rápido crecimiento que se está generando en la región gracias a la explotación de sus recursos y el aumento de la estabilidad política establecidos en los últimos 10 años.



Figura 1 : Fotografía reflejo de la falta de recursos en el continente Africano.

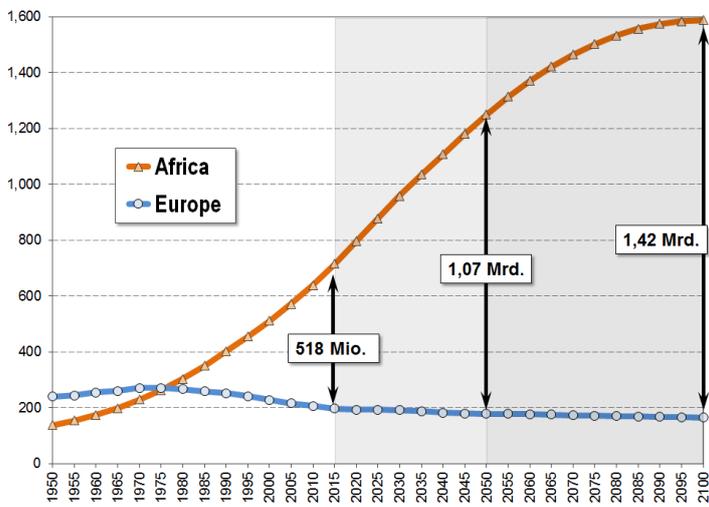


Figura 2 : Gráfico comparativo de aumento de población

Durante los últimos años, la población africana ha crecido hasta aumentar sus valores en 30 millones. Según Naciones Unidas, en los próximos 10 años su valor de crecimiento llegará a los 42 millones de personas anuales y en pocos años pasará a duplicar su población posicionándose con 2.400 millones de personas.

A su vez, las viviendas deben tener una calidad adecuada, facilitando la inclusión social e incentivando el desarrollo social. Es por ello que el continente se ve obligado a orientar las construcciones hacia nuevos enfoques de viviendas asequibles que provoquen un cambio demográfico en el que las ciudades sean inclusivas e incentiven y estimulen el crecimiento económico, ampliando las oportunidades de vida con diferentes infraestructuras socio-educativas.

Debido a este gran crecimiento de población, África se enfrenta a una grave crisis de vivienda.

Según informes del sector de la vivienda, en la zona del África subsahariana, podrían darse valores de 4,5 millones de nuevos residentes en asentamientos informales cada año.

Muchos de los países que conforman esta fracción se encuentran con poblaciones en las que solo el 5-10% de su población es capaz de pagar una vivienda formal. Esto conlleva que un 90% restante viva en hogares en los que los recursos básicos como el abastecimiento de agua, electricidad y saneamiento sean inexistentes.

Este hecho pone alerta las políticas de vivienda actuales que tiene el continente e impulsa al desarrollo desde nuevos enfoques.



Figura 3 : Fotografía que muestra la densidad de población en las ciudades

# 10 INTRODUCCIÓN

## Principales problemas sociales

En las últimas décadas, los índices de pobreza han disminuido notablemente a nivel mundial (del 40% a menos del 20%). Sin embargo, los datos reflejados en el continente africano no han variado en la misma medida.

La zona más castigada es la del desierto del sa-  
hara, en la que el 40% de las personas viven en la  
pobreza absoluta con ingresos inferiores a £ 1.50  
por día.

Las ciudades con mayor número de población con-  
tienen los niveles más bajos de PIB. Entre ellas  
destaca Etiopía.

A causa de esta pobreza extrema, la población afri-  
cana no llega a satisfacer muchas de las necesida-  
des básicas. Problemas como el hambre, el sanea-  
miento o la educación amenazan el desarrollo social  
del continente.

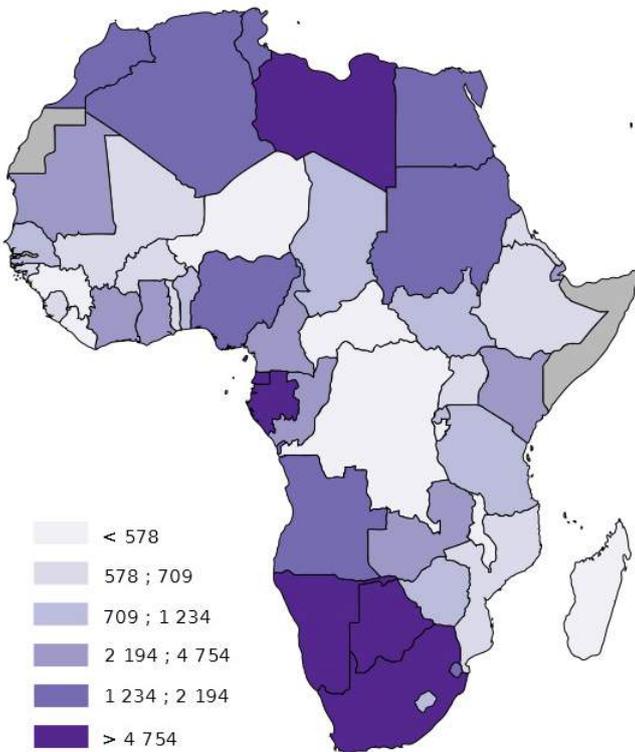


Figura 4 : Producto interior bruto per cápita (Dólares)

La temperatura también interviene en la sociedad. El valor más alto de temperatura mundial se encuentra en Etiopía, en el que la media anual llega a los 33'9º C. A éstas altas temperaturas se le debe añadir la subida causada por el cambio climático. Las altas temperaturas no solo repercuten directamente en la salud sino que también tiene una gran influencia en la productividad de los alimentos, la seguridad sanitaria y la disponibilidad de agua.



Figura 5 : Agartala durante la sequía del 2009

La crisis energética es un fiel reflejo de la situación que afronta el continente, 620 millones de personas no tienen acceso a los servicios de electricidad moderna. Con el crecimiento masivo de la población se espera que estos valores empeoren en los próximos años. Se debe generar una inversión en las infraestructuras renovables ya que éstas se encuentran disponibles en el continente pero por el momento no llegan a cubrir el 5% del uso total de la energía en África.

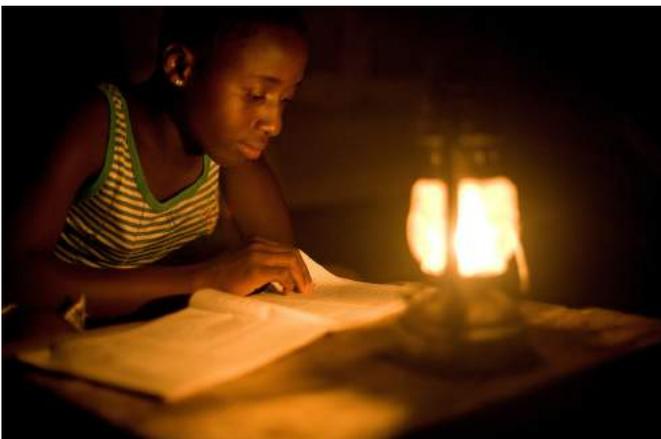


Figura 6 : Fotografía de la falta de servicios eléctricos

Sobre la educación, alrededor de 128 millones de niños se encuentran el edad de acudir a la escuela sin embargo 54 millones de los niños escolarizados no concluyen sus estudios de educación primaria. Los valores de Zambia, Malawi, Costa de Marfil, Benin, Ghana, Nigeria, Etiopía, Chad, Congo, Namibia, Comores, Sudáfrica y Senegal no superan el valor de estandar mínimo de aprendizaje en el 30% de los niños escolarizados.

Muchos de los poblados no disponen de infraestructuras en las que se puedan impartir lecciones y en muchos casos, las familias no pueden costear el valor que supone el traslado de un miembro de la familia hasta la ciudad más cercana donde se encuentre una escuela en la que se avance en su formación.

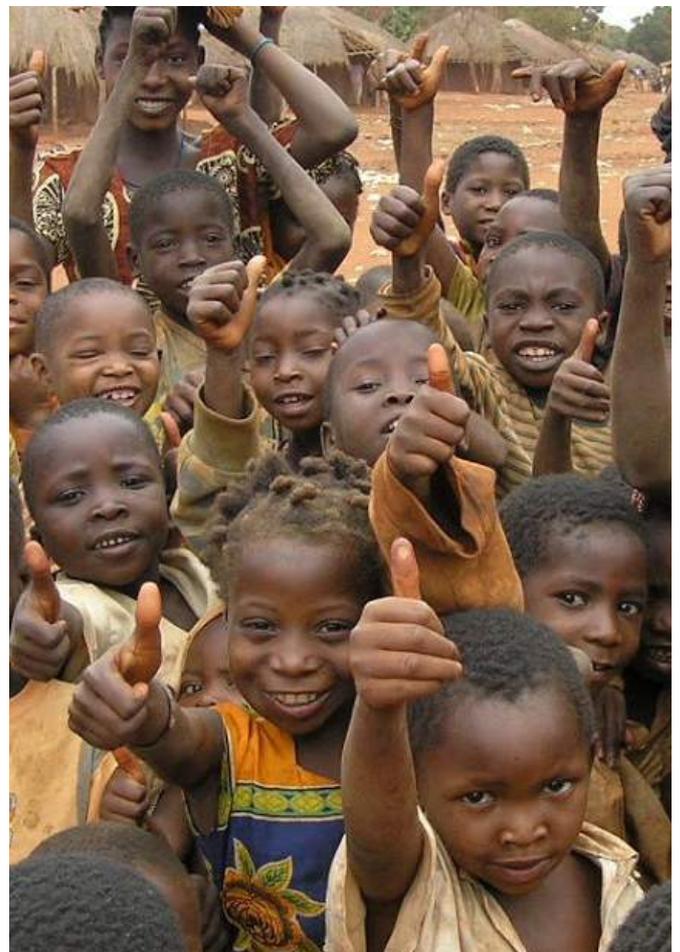
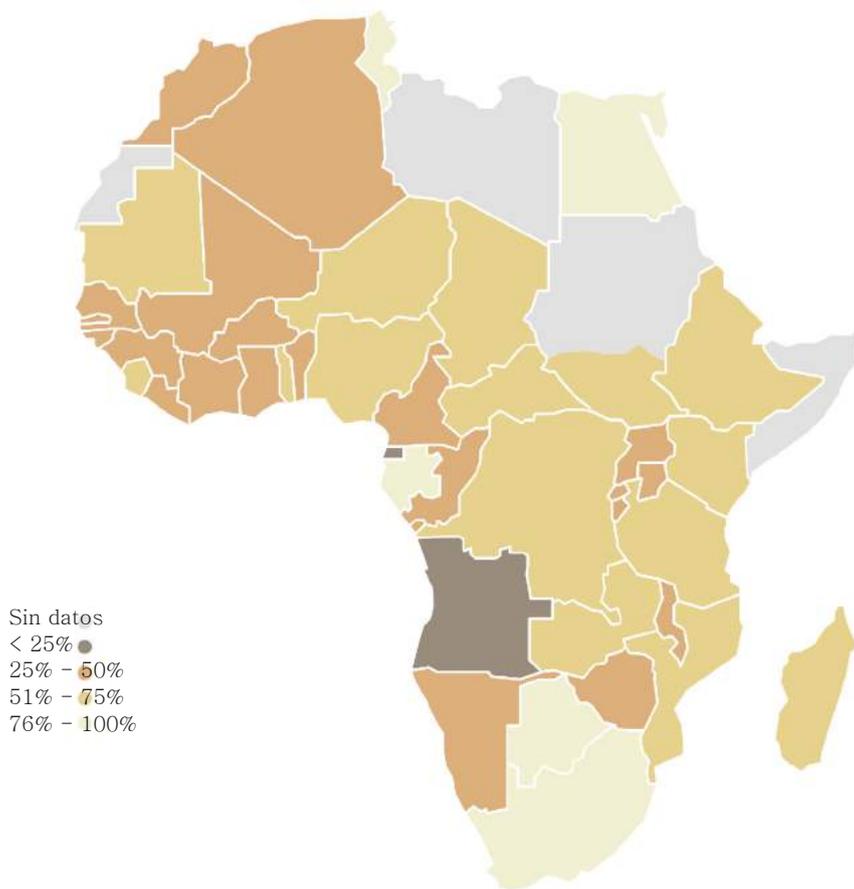


Figura 7 : Fotografía de niños en una escuela



Acceso al agua potable en Africa

En Africa , las iniciativas para mejorar el sistema hídrico tienen, a día de hoy, un gran peso en la evolución del continente.

El territorio se enfrenta a un continuo estado de pobreza , desnutrición y falta de infraestructuras, lo que provoca la minoración de los recursos económicos, y el empobrecimiento de los niveles de vida. Con esta premisa, muchas zonas en el continente africano no cumplen los objetivos de Desarrollo de Milenio (ODM) en referencia a la administración del recurso hídrico.

El progreso que está sufriendo la región no es igualitario en toda su superficie, siendo notable la diferencia existente entre la zona del Africa septentrional y el Africa subsahariana . En la parte Norte , la cobertura de los recursos híbridos llegó a alcanzar un valor del 94% en 2015. Por el contrario, los valores encontrados en el centro y sur de la región disminuyen hasta posicionar-

se en un 61% de cobertura, que podría ascender hasta conseguir un 75%. Lo que se traduce en un 40% del total de la población sin acceso a agua. Estos valores hacen imposible el cumplimiento de los valores impuestos por la ODM dejando la zona del Africa subsahariana muy por debajo de los mínimos establecidos.

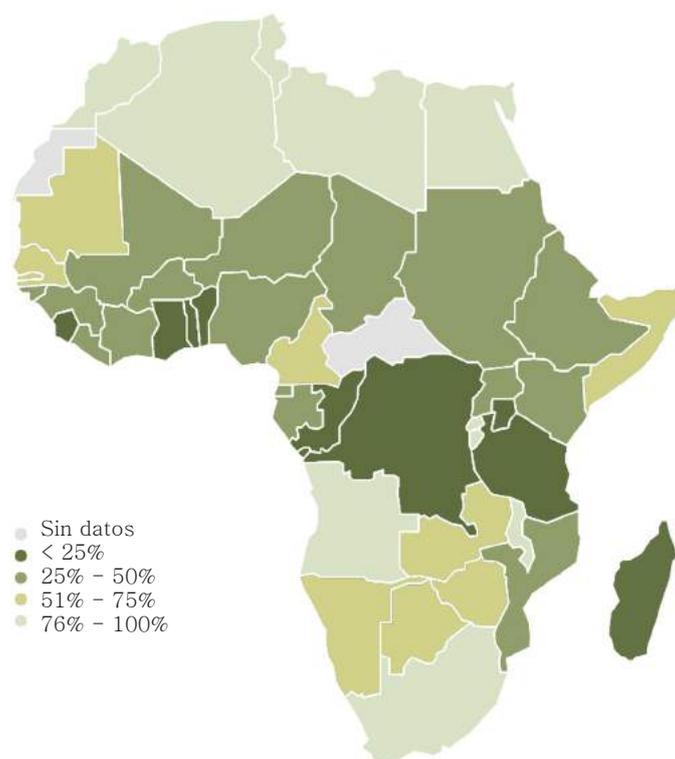
A estos datos hay que añadirles la gran diferencia existente entre sociedades de altos y sociedades de bajos recursos que se encuentran incluidas dentro de la zona urbana. En éstas áreas urbanas el 90% de la población, perteneciente a la urbe adinerada, tiene acceso a suministro de agua y el 60% de ellas además cuenta con agua canalizada en la vivienda. Sin embargo en las zonas rurales no se encuentran sistemas de canalización de agua en el 40% de las viviendas más pobres y el acceso a sistemas de agua es muy escaso llegando a abastecer a menos de la mitad de la población.

Si analizamos la situación de los sistemas de saneamiento podemos observar que también es muy escaso el número de población con acceso a los servicios de saneamiento y que la diferencia existente entre la zona de Africa Subsahariana y la parte norte de la región vuelve a cobrar una gran relevancia. Mientras en la zona Norte el porcentaje de cobertura llega a ser del 90%, en la parte subsahariana no supera el 30% consiguiendo un 4% de progreso muy lento y escaso durante los últimos veinte años.

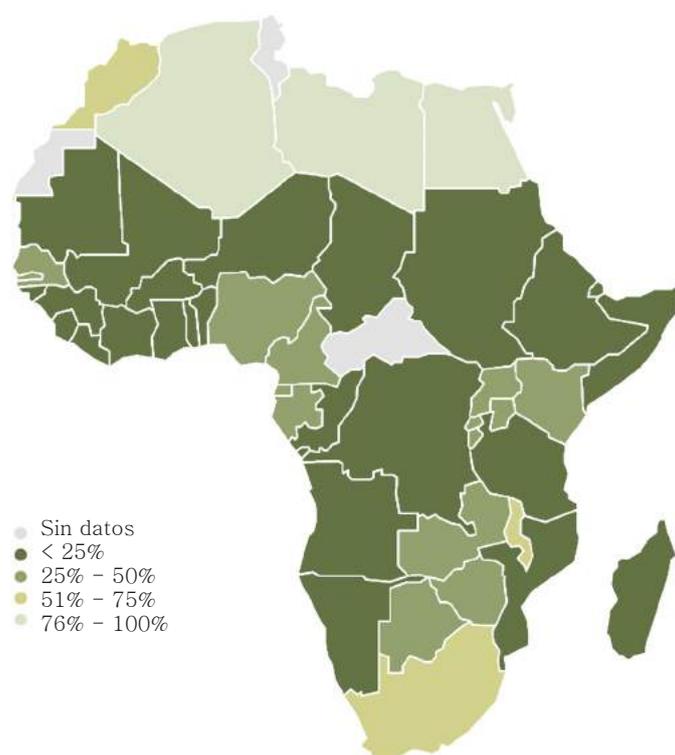
Esta falta de infraestructuras de saneamiento genera un grave problema debido a la cantidad de población que se ve obligada a llevar a cabo prácticas insalubres como son la defecación al aire libre, causa de muchas de las enfermedades actuales, sobre todo en las referentes a los niños, al tratarse de uno de los grupos más vulnerables. Otro de los graves problemas que se generan a raíz de ésta situación es el vertido de aguas residuales a los cursos del agua lo que produce una contaminación en los caudales de las aguas limpias.

Los escasos puntos de acceso al agua se sitúan en zonas puntuales localizadas entre los poblados, lo que supone un recorrido por parte de niños y mujeres para poder abastecerse de la misma, lo que les priva a estos grupos sociales de un desarrollo intelectual y laboral al tener que dedicar gran parte del tiempo diario a ir en busca de fuentes.

A pesar de los continuos propósitos para lograr una mejora en los sistemas e infraestructuras de saneamiento, higiene y acceso al agua, la zona subsahariana sigue en un estado muy por debajo del mínimo en los objetivos del desarrollo. Como consecuencia, la zona oriental y occidental de Africa se enfrenta a altas tasas de mortalidad en niños menores de cinco años, agravando la situación con la existencia de brotes de enfermedades como el cólera, que generan una fuerte dificultad hacia el desarrollo de zonas tanto urbanas como rurales.



Uso de instalaciones de saneamiento mejoradas en 2010 en zonas urbanas



Uso de instalaciones de saneamiento mejoradas en 2010 en zonas rurales



LOCALIZACIÓN DE ESTUDIO

---

## 16 LOCALIZACIÓN DE ESTUDIO

### Estudio de regiones seleccionadas

La zona de Africa Subsahariana comprende todas aquellas regiones situadas al sur del desierto del Sahara. Ésta zona está caracterizada por un clima extremo de desierto, albergando grandes áreas con condiciones poco adaptadas a la vida del ser humano.

Respecto a la situación de densidad de población encontramos que la mayoría de habitantes se concentran en las regiones situadas en la zona de la Savanna, donde destacan las áreas más cercanas a la zona de los Grandes Lagos.

Las regiones con mayor densidad de población se encuentran situadas en la zona Este y Oeste subsahariana. Destacan Etiopía, Senegal, Nigeria y Uganda donde la cantidad de habitantes por metro cuadrado es mucho mayor que en el resto de la zona. Estas regiones con mayor densidad se encuentran con valores muy bajos de producto interno bruto, sobre todo Etiopía donde el límite de pobreza inunda a la mayor parte de su población.

Respecto a su geografía, predominan las mesetas de altura moderada. Una de las características que destaca en este área es la diferencia de alturas a lo largo de su extensión, encontrando grandes diferencias de cota entre espacios relativamente cercanos. Su altura media está comprendida entre los 600m.

El paisaje de la zona varía en función del clima predominante. Aquellas regiones cercanas al ecuador cuentan con un mayor número de precipitaciones a lo largo del año lo que permite la aparición de bosques en algunas de sus zonas. Pero el clima predominante es el árido-subhúmedo en el que continuamente aparecen paisajes de estepa.



Figura 8 : Mapa geográfico de Africa

El diseño y la arquitectura deben ser capaces de solventar los problemas que pongan en riesgo las necesidades básicas del ser humano. Para poder hacer esto posible hay que tener en cuenta las características de cada zona, su geografía, clima y situación social. Es por ello que se debe considerar una zona más reducida de actuación ante la que las soluciones sean más reales y claras.

El área comprendida en la zona africana, bajo del desierto del sahara, situada en la franja que recoge desde Senegal hasta Etiopía, cuenta con características similares, lo que nos permite realizar un análisis genérico en todos sus puntos. Para ello se escogen como puntos principales de actuación aquellas regiones con un índice bajo de PID en las que los problemas sociales y climáticos son más reales.

Entre todos los países que recoge la franja escogida para el análisis se proponen como ejemplos para el estudio tres de ellos: Thionck-Essyl y Sinthian en Senegal, y Gando en Burkina Faso. Éstos países tienen características muy similares y entre los puntos escogidos se observan situaciones de densidad de población y estados sociales diversos.

Como se desarrollará en puntos posteriores, las zonas urbanas de estos países tienen entre ellas trazados bastante similares. Lo mismo ocurre con las zonas rurales, donde las casas predominantes son de baja altura tradicionales y se clasifican todas en forma de pequeño poblado.



Figura 9 : Ortofoto de Thionck-Essyl



Figura 10 : Ortofoto de Sinthian



Figura 11 : Ortofoto de los poblados cercanos a Gando

Africa es el continente más caluroso del planeta, los paisajes áridos y los desiertos comprenden el 60% del territorio total de la región. Las zonas más calurosas se sitúan en la parte sur, albergando todas aquellas áreas situadas en el desierto del sahara.

A medida que se desciende al sur del continente las temperaturas bajan, al igual que lo hacen en las zonas montañosas

Africa es considerado el continente con mejor radiación solar, esto se debe a que la radiación solar anual es mucho mayor que en el resto de áreas de la tierra.

El clima predominante es el tropical sudano-sahe-liano. Es un clima arido y seco, lo que dificulta en gran medida el abastecimiento de agua en las regiones con este clima. El año se divide en dos periodos, el humedo que comprende de julio a septiembre en los que las precipitaciones llegan a alcanzar valores de gran magnitud y el seco que deja periodos de temperaturas extremas de Marzo a Mayo.

Las precipitaciones se producen de forma desigual entre meses secos y húmedos llegando a abarcar una diferencia de 182mm entre estos dos periodos.

La zona del África subsahariana cuenta con un viento llamado Harmattan que se caracteriza por ser un viento alisio, frio, seco y polvoriento. La dirección de este viento va desde el Sáhara hasya el golfo de Guinea entre noviembre y marzo.

Este viento es muy importante ya que recoge finas partículas de arena del desierto y las deposita en diferentes sitios a su paso pudiendo llegar a causar lesiones en la arquitectura de la zona.

Figura 12 : Mapa de población

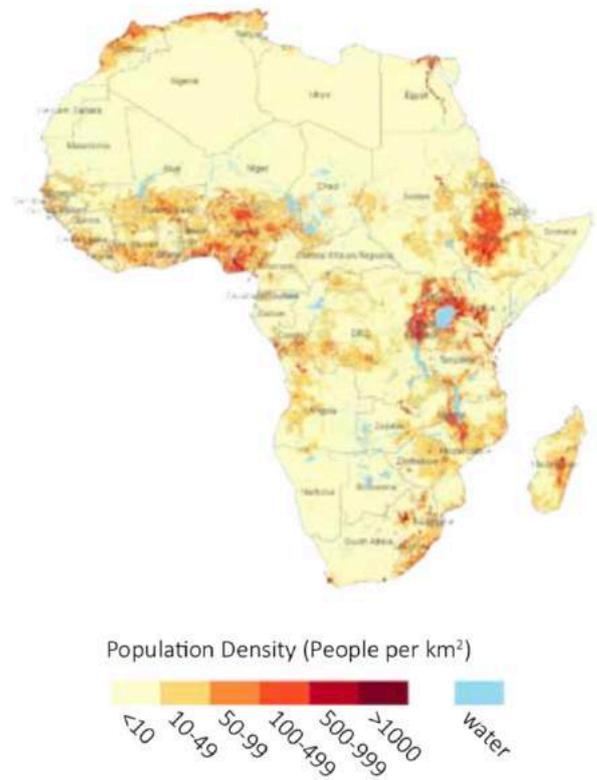


Figura 13 : Mapa de vegetación

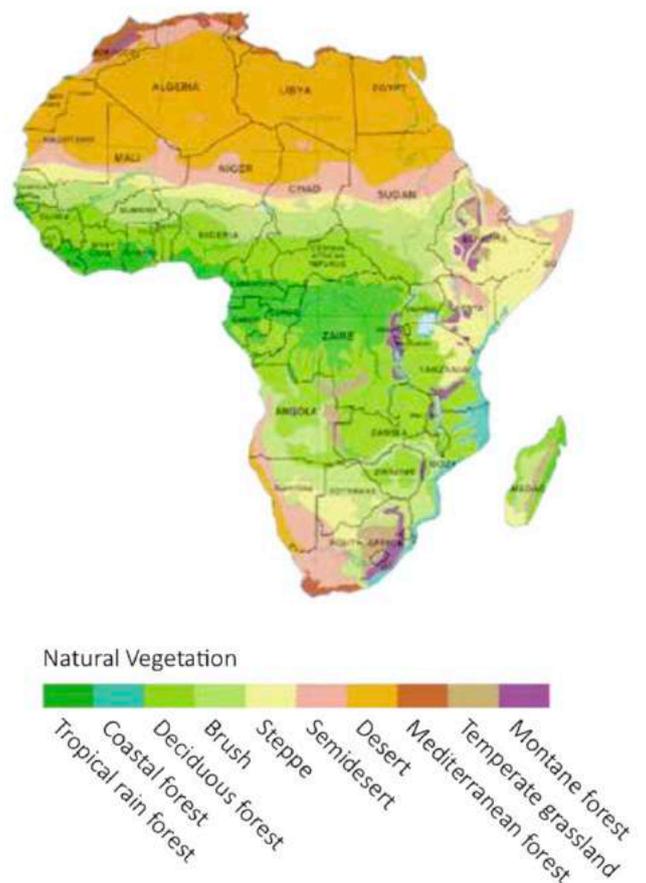


Figura 14 : Mapa económico

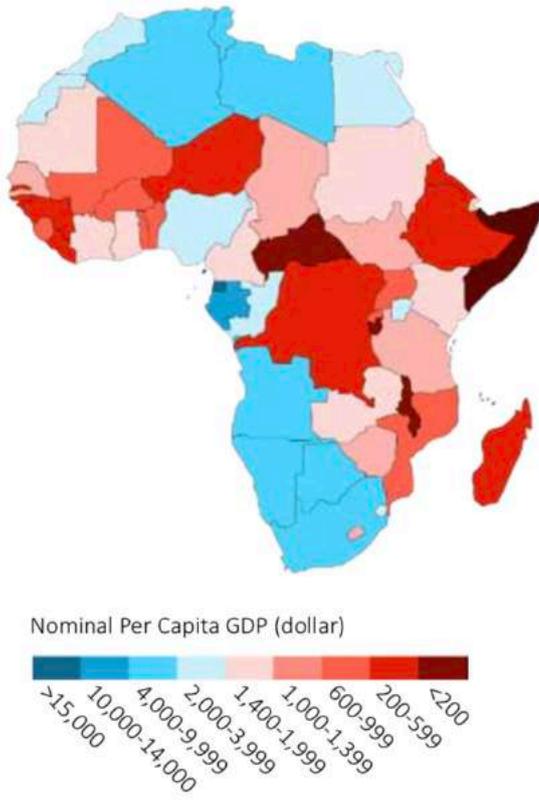


Figura 15 : Mapa geográfico

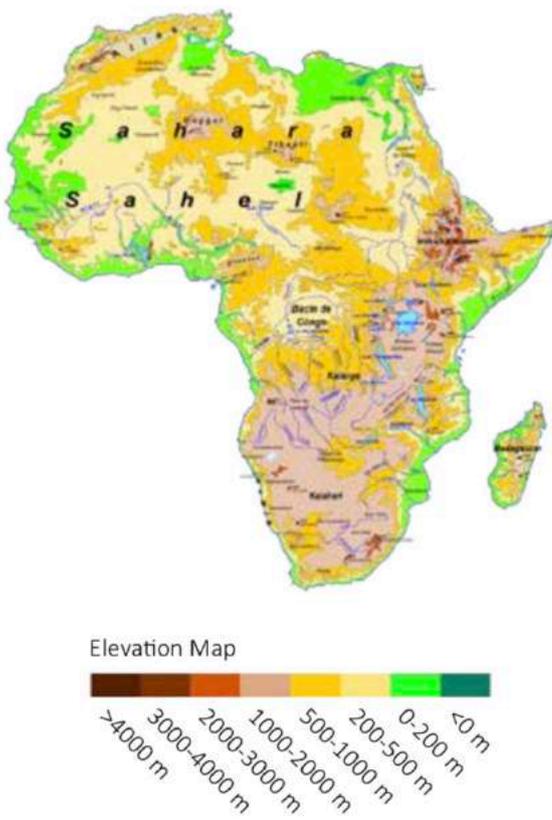


Figura 16 : Mapa climático

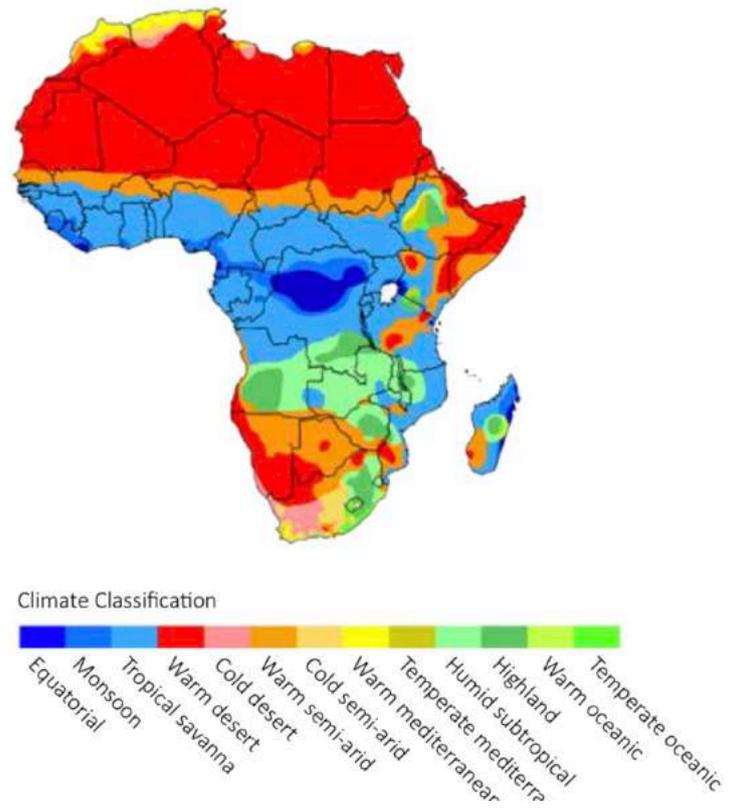
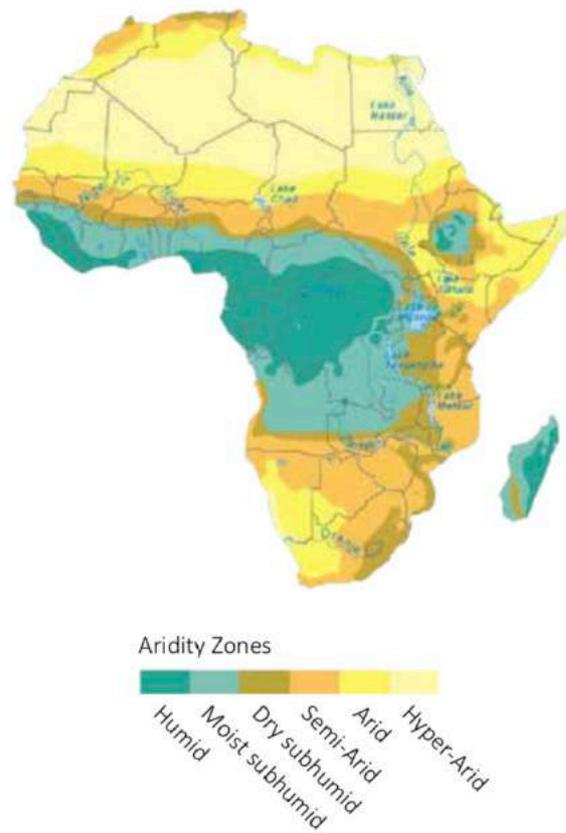


Figura 17 : Mapa de zonas áridas





ARQUITECTURA VERNACULAR

La mayoría de la arquitectura vernacula Africana se encuentra en sus poblados. Los habitantes de las áreas rurales se alojan en viviendas construidas con sistemas tradicionales y materiales locales. Las estructuras que componen las construcciones siguen técnicas utilizadas desde generaciones muy antiguas, ésto las convierte en construcciones atractivas a la vez que sustentables.

Los materiales utilizados para la construcción de las viviendas se encuentran en el paisaje que rodea los lugares en los que se establecen los poblados, así mismo, materiales como el barro, la paja, el bambú, la madera o diversos vegetales como juncos, se encuentran presentes continuamente en las construcciones que componen la trama rural.

Los métodos constructivos sin embargo, varían respecto a las diversas culturas, emplazamientos y clima de cada región. Como ejemplo más destacado tenemos la ejecución de las cubiertas. Mientras que en zonas húmedas, las cabañas que se utilizan como viviendas contienen un techo elevado que termina en punta construido con paja, , en los países con un clima más seco, es común ver un techo de menor altura ejecutado con barro. Sin embargo cuando se da un clima extremo de sequía el techo pasa a ser completamente horizontal.



Figura 18 : Fotografía de construcción tradicional subsahariana

# 24 ARQUITECTURA VERNACULAR

## TIERRA

### Conceptos generales

Desde los inicios de las construcciones, la civilización ha utilizado éste material como uno de los elementos principales para la construcción.

Aun hoy en día encontramos restos de los edificios más antiguos del planeta contruidos con la técnica de la tierra apisonada, como son algunas de las partes de la muralla china, la Alhambra de Granada, los Kasbahs del norte de África o incluso ciudades subterráneas como Derinkuyu, en Turquía, construida hace más de 3.500 años a modo de hormiguero. En la actualidad son muchas las construcciones que siguen realizandose con técnicas que precisan del material.

Los sistemas de tierra apisonada han estado muy presente, sobre todo en los continentes de Europa, Asia y América. Durante los últimos 30 años las técnicas utilizadas se han ido desarrollando y estandarizando hasta llegar a generar una técnica llamada tierra estabilizada. Este tipo de sistema se asentó en la zona de California, Canadá y Australia donde se nota más fuertemente su presencia.

En África, la técnica de tierra apisonada fue estandarizada y aprobada unánimamente en 2016 por el comité de Organización de Estándares de la región de Africa. Esto permite la utilización y oficialización de ciertos estándares en la construcción de más de un billón y medio de personas, facilitando e incentivando las construcciones.

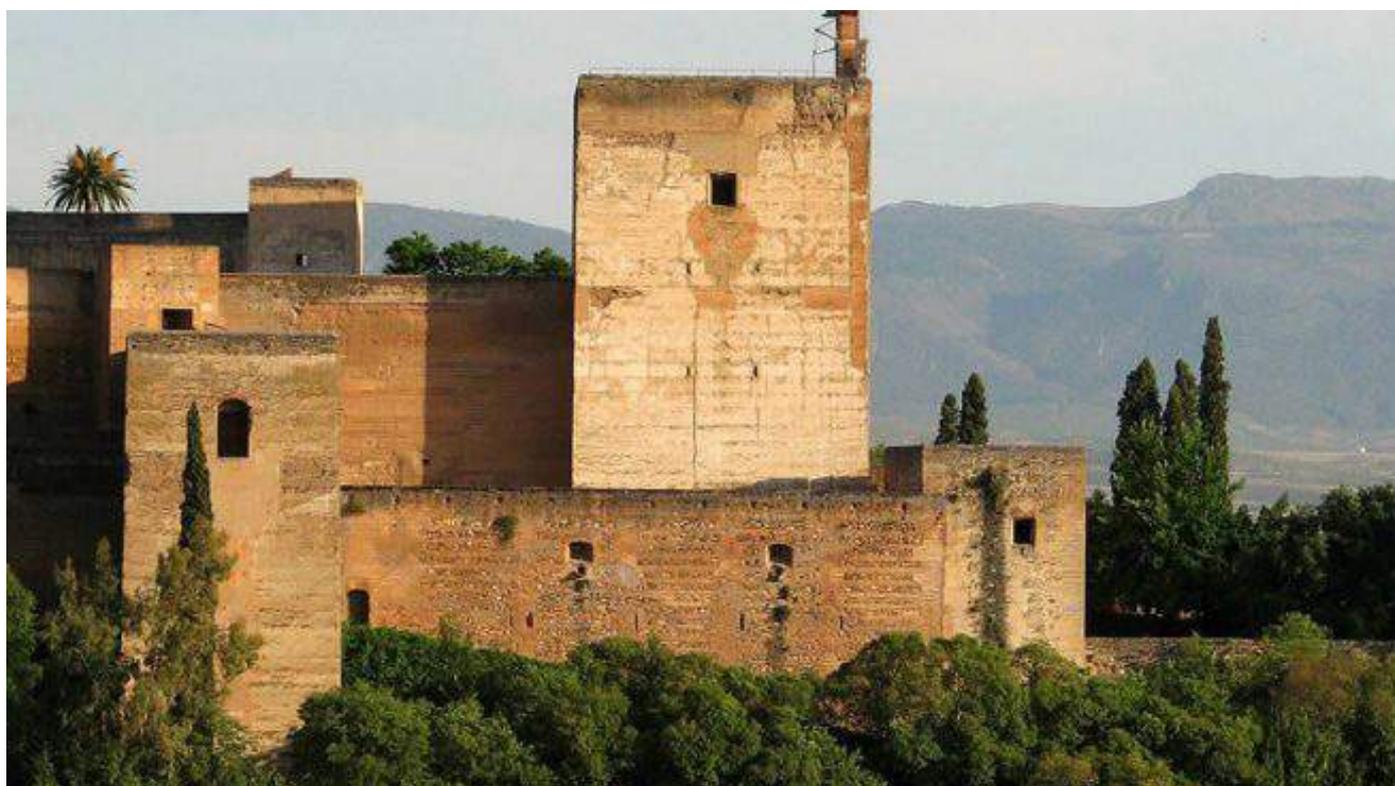


Figura 19 : Imagen de la alhambra de Granada (España)



Figura 20 : Imagen de la mezquita de Djenné (Mali)

## SOSTENIBILIDAD

La tierra es un material que no precisa de mucha energía para su ejecución como elemento constructivo. Esto produce un ahorro de energía ya que no requiere de ningún proceso de cocción u otros procesos de transformación, por lo que se produce un alto ahorro de energía obteniendo un nulo valor de contaminación ambiental. No necesita tampoco de muchos sistemas de manipulación ya que por lo general, la calidad del material suele ser suficiente para su uso en obra.

Entre sus ventajas, se encuentra el hecho de que no emite CO<sub>2</sub> a la atmósfera y el barro crudo es reutilizable, sólo precisa de un proceso de trituración y humedectación para poder ponerlo en uso una vez más.

De esta forma, las ruinas de construcciones de barro, vestigios de lo que alguna vez fue una vivienda o un edificio con un uso establecido, no deben verse como escombros inútiles, sino más bien como una fuente de material listo para ser puesto en obra ya que al no haber pasado por un proceso de cocción, las cualidades del material permanecen intactas.



Fig. 21 : Arcilla antes de ser tratada

## ALTO RENDIMIENTO

Entre todas las características que tiene la tierra podemos destacar la capacidad que tiene de absorber humedad y cederla al ambiente interior. Esto permite regular la humedad ambiental y establecer los niveles en un valor adecuado para la salud humana.

El material cuenta además con unas excelentes cualidades térmicas y su inercia permite almacenar diferentes temperaturas de una forma pasiva para más tarde ir cediéndola al ambiente. Gracias a esta cualidad, la tierra es muy utilizada en zonas con temperaturas muy extremas ya que equilibra la temperatura en el interior.

Esto es lo que sucede repetidas veces en las construcciones que vemos en los pueblos de Africa. Muchas de ellas están construidas con amplios muros de tierra, lo que permite contener el calor durante toda la época de temperaturas bajas mientras que con temperaturas altas, el interior se mantiene con valores más bajos que los existentes en el exterior.

## PRECIO BAJO

A partir de el resto de cualidades explicadas, se puede entender que el proceso de transformación, transporte, puesta en obra y posterior uso de la tierra como material constructivo no supone un alto coste en la obra.

La extracción de la tierra se puede realizar en las zonas locales de la construcción, lo que ahorra una gran cantidad de coste en transporte.

Además, la regulación de la temperatura interior de la construcción conseguida gracias a los muros, permite un notable ahorro energético al minimizar el impacto de otros sistemas de energía.

Tras su construcción, las obras no requieren de un mantenimiento muy estricto. La tierra es capaz de aguantar sin ningún tipo de actuación para su conservación periodos de entre 10 y 20 años.

## FACILIDAD Y RAPIDEZ DE EJECUCIÓN

En el proceso de puesta en obra, la tierra actúa de la misma manera que el hormigón. Al inicio su aspecto es fluido permitiendo una mayor facilidad de manipulación del material, sin embargo con el paso del tiempo y tras pasar por un proceso de secado, su estado se convierte en un estado sólido que da rigidez a la estructura. Además todos los procesos por los que pasa, desde su extracción hasta su puesta en obra, pueden realizarse de una forma manual, facilitando la manipulación del material en cada una de sus fases.

A partir de la tierra y a través de diferentes transformaciones se pueden realizar muchos de los materiales con los que se trabaja habitualmente hoy en día en las obras así como los ladrillos cocidos, las bovedillas, los bloques cerámicos, plaquetas, azulejos, baldosas de gres...

También pueden encontrarse mezclados con otros para formar materiales de mejores cualidades, como ejemplos encontramos los bloques de cemento, el hormigón, la termoarcilla...



Fig. 22 : Imagen de construcción con tierra

# 28 ARQUITECTURA VERNACULAR

## TIERRA

### Propiedades del material

La capa sólida del planeta es la litosfera, cuya superficie es utilizada por el hombre para el desarrollo de muchas de sus actividades. Cuando las rocas de la litosfera se exponen directamente a la atmósfera, éstas se someten a diferentes agentes como son las lluvias, el viento, la luz solar... esto produce una serie de cambios continuos en el aspecto físico de los suelos. También se ven modificada sus propiedades y las posibilidades que el tipo de suelo ofrezca para su puesta en obra.

El suelo se compone principalmente de tres elementos: Minerales, presentes aproximadamente en un 50% del total de volumen; líquidos, generalmente compuestos de agua que ocupan un 25% y gases que suelen tratarse de aire y que engloba el 25% restante. Los elementos líquidos y gases suelen variar en sus porcentaje no pasando del 50% entre la suma de ambos. el 50% restante siempre suele ser el volumen de los minerales.

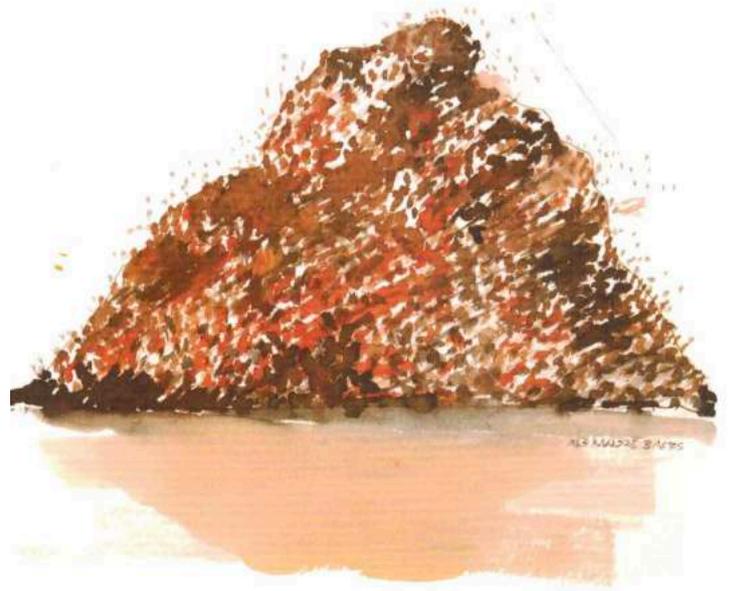


Fig. 23 : Ilustración de tierra

Entre los componentes del suelo se pueden identificar dos tipos, la materia orgánica y la inorgánica. Para la utilización de la tierra como elemento constructivo la presencia de materia orgánica, compuesta por residuos de plantas, animales, microorganismos o materia en descomposición, no es apta ya que su presencia en la tierra no puede superar el 2% del total.

Sucede lo contrario con los suelos ricos en materiales inorgánicos, los minerales, presentes en gravas y arenas son unidos por un aglutinantes, ya sea cemento o arcilla, que mejora la resistencia del material.

Los componentes minerales de la tierra se clasifican según el diámetro de los elementos que los componen.

Clasificación	Dimensión
Guijarros	20-200 mm
Grava	2-20 mm
Arena	0,06-2 mm
Limo	0,002-0,06 mm
Arcilla	<0,002 mm



Fig. 24 : Textura de guijarros



Fig. 25 : Textura de grava



Fig. 26 : Textura de arena



Fig. 27 : Textura de limo



Fig. 28 : Textura de arcilla

## ESTABILIZANTES

Los estabilizantes son elementos que se le añaden principalmente al limo y la arcilla para actuar contra el agua y proporcionar cierta estabilidad cuando existe una presencia de agua que ponga en peligro sus capacidades. En la construcción moderna, los estabilizantes más comunes son el cemento y la cal. El cemento tiene mayor presencia como estabilizador de suelos arenosos consiguiendo aumentar su resistencia en un periodo reducido de tiempo. La cal se destina para suelos muy arcillosos que requieran un periodo más amplio de tiempo para endurecer. Con la incorporación del elemento de cal, se consiguen reacciones químicas que estabilizan el suelo. En base a la calidad del suelo la presencia de estabilizadores suele encontrarse entre el 5% para elementos de cemento y un 6% para los de cal.

A parte de los estabilizantes modernos, en las construcciones tradicionales encontramos otros elementos muy variados como son la paja, pelo, juncos, látex... La paja se utiliza para generar una superficie continua que no se agriete tras el proceso de secado por las fuerzas de contracción desiguales a lo largo del área de superficie.

La fábricas sintéticas también se utilizan para sustituir las fibras naturales.

El uso de estabilizantes depende de la técnica utilizada de construcción y de la calidad de ejecución en la puesta en obra de cada uno de los materiales. Se debe realizar un mantenimiento óptimo.



Fig. 29 : Suelo de limo con juncos



Fig. 30 : Textura de paja como material estabilizante



Fig. 31 : Presencia de paja en el barro como refuerzo



Fig. 32 : Extracción de laterita

En la zona del clima tropical y subtropical existen diversos tipos de tierra entre los que destaca las llamadas lateritas. Éste tipo de tierra es especialmente interesante para su utilización en la ejecución de edificaciones.

Esta arcilla es muy común en toda la zona de la región de África. Es rica en hierro y aluminio gracias a su formación bajo las condiciones de calor y humedad dadas en la zona. El tipo de tierra suele situarse bajo la capa superficial de amplias praderas en zonas de trópicos y subtrópicos.

Es común verlo en muchas de las construcciones Africanas. Nigeria utiliza este tipo de material local para dar solución a muchas de las viviendas construidas por su durabilidad, su aceptación, su bajo costo y su nulo riesgo ante la salud humana. Es por ello que el material podría dar solución a diversas viviendas sostenibles albergando tanto términos relacionados con cantidad como con calidad.

Uno de los usos de la laterita es su presencia en la ejecución de ladrillos para construcción. A partir de diversos estudios realizados durante los últimos años, se ha observado que la laterita actúa mejor que la arcilla como componente de ladrillos de tierra comprimidos estabilizados. La mezcla de tierras de diferente tamaño hace posible el buen comportamiento del material cuando los elementos de menor tamaño rellenan los espacios que se crean entre los de mayor diámetro. Tras estas pruebas se determinó que el porcentaje 1:8:2, cemento, suelo, arena respectivamente era adecuado para producir ladrillos de laterita.



Fig. 33 : Bloques de laterita

Además, los finos de menos de 10 mm pueden dar salida a elementos sustitutivos de la arena para el resto del sector constructivo gracias a que los procesos de meteorización de ambas son similares, concediéndolas características similares. Poco a poco se va introduciendo este material en los sistemas modernos de construcción, como en la producción pero su incorporación es lenta debido al desconocimiento técnico del material.



Fig. 34 : Textura de laterita

## 32 ARQUITECTURA VERNACULAR

### TIERRA

#### Pruebas y estudios

Las pruebas realizadas para determinar las características y la categoría de un terreno se pueden hacer en laboratorios o en la zona interviniente.

Si se decide realizar la prueba en el área de extracción se deben realizar observaciones detalladas a través de especialistas. Tras recoger la muestra de terreno se evalúa de las diferentes maneras para determinar su clasificación.



Fig. 35 : Muestra del terreno

Para realizar una correcta clasificación de la tierra se debe tener en cuenta los cuatro tipos de suelo que nos encontraremos, siendo estos grovosos, arenosos, limosos o arcillosos. Para cada tipo de suelo se debe aplicar diferentes tipos de tecnologías y sistemas constructivos, por ejemplo, en un suelo arenoso, la tierra apisonada puede usarse sin necesidad de procesos de transformación. Si el suelo tiene la suficiente cohesión será más fácil tratarlo a través de sistemas de adobe o bloques de arcilla. En el siguiente apartado se desarrollarán los cinco tipos de pruebas más comunes, a pie de campo y en laboratorios.

**Caída de bola** Esta técnica comienza cogiendo una sección de tierra del suelo que contenga los valores de humedad naturales propios. Se compacta y moldea una bola de aproximadamente 4cm de diámetro. Se hace caer la bola desde una altura de 2m sobre una superficie plana. Si la bola se deforma, pudiendo presentar alguna grieta, sin llegar a romperse, el terreno es considerado arcilloso. Si la bola se rompe en 3 o 4 piezas el terreno presentará una mayor presencia de arenas. Si la bola se disgrega en diversas piezas pequeñas, significa que la tierra contiene altas cantidades de agregados.

**Corte de bola** Siguiendo la misma técnica anterior, se realiza la bola pero esta vez se secciona por la mitad con un cuchillo de hoja fina. Si la parte interior de la bola se refleja en un tono mate oscuro significa que la tierra es limosa, si por el contrario tiene un aspecto brillante, el terreno estará compuesto por un material más rico en arcilla.

**Cigar test** Este análisis comienza recogiendo una fracción de la tierra a analizar. Se humedece y mezcla hasta obtener una pasta homogénea. Tras tener la porción, se deja reposar durante 30 minutos o más si es posible para conseguir el acabado más suave posible. A continuación se le da forma con las manos hasta conseguir un cilindro de longitud 5cm y diámetro de 3cm. Se coloca la pieza sobre la palma de la mano extendida y se comienza a ejercer presión progresivamente con la otra mano, de modo que la pieza vaya a sobresalir por ambos lados de la palma. Llegado el punto en el que la pieza no puede sobresalir más, se mide la dimensión a la que la pieza haya roto. El proceso debe repetirse varias veces.

Este tipo de test permite saber la cohesión del material y su relación sobre la cantidad y calidad de las arcillas que presenta.

**Interpretaciones**

- Menos de 5cm: El contenido de arena es muy alto
- Más de 15 cm: El contenido de arcilla es muy alto
- Entre 5 y 15 cm: Los contenidos están estabilizados

Las pruebas realizadas en los laboratorios se basan en una recopilación de datos a partir de unas muestras precisas. Aun así, el primer paso para clasificar un suelo es la observación del mismo en el sitio de actuación ya que el material a extraer va a tener las propiedades del suelo con las proporciones de elementos desconocidas.

Existen dos métodos:

**Efecto vinculante** Se eliminan las partículas de más de 2mm y se martillea la tierra sobre una superficie plana a la vez que se incorpora agua. Se deja reposar doce horas (cuanta más arcilla contenga más debe reposar).

Una vez transcurrido el tiempo, se toma una pequeña muestra y se realiza una bola de pequeña dimensión en la mano. Esta bola se deja caer desde una altura de 2m para comprobar que, con una deformación de menos de 50mm, el material tiene una consistencia correcta para la siguiente prueba. Si el diámetro es mayor, el terreno continúa teniendo demasiada humedad, si por el contrario es menor, es necesario añadir unas gotas más de agua.

Con este resultado se introduce la porción en un molde y se mueve con trayectos en forma de '8' hasta que la muestra quede compacta. Tras realizar este proceso, se lleva a dos soportes metálicos. Con un aparato de carga que ejerce una fuerza sobre los moldes con la tierra se mide la cantidad de material que se ha desprendido tras aplicar la carga sobre el. Este valor se divide entre el peso del área equivalente a  $5\text{cm}^2$ . Si el valor resultante se encuentra en la tabla el suelo quedará clasificado en función de la misma. De no ser así el suelo se cataloga como no apto para la construcción.

**Contracción**

La muestra se ejecuta con los mismos procesos que el apartado anterior pero la compactación se hace con un molde de madera de 22cm de largo y 4cm de alto. Una vez compactado, se retira y se marca una serie de muescas a 1cm de los bordes exteriores. Tras tres días de reposo, la tierra habrá conseguido un estado de secado a temperatura ambiental. Es entonces cuando se vuelve a medir la longitud de las marcas realizadas anteriormente. Al resultado obtenido de la nueva longitud se le resta los 200mm iniciales y se divide entre 200. Éste será el resultado total de la contracción. Éste resultado debe verificarse en las tablas para clasificar el suelo. Tras esta prueba, se deber realizar otras de compresión y contracción para asegurar que la mezcla utilizada en la prueba es la más correcta.

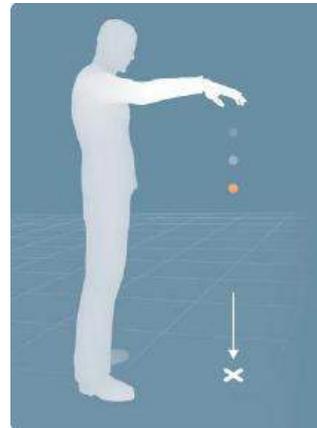


Fig. 36 : Test de caída



Fig. 37 : Resultados 1



Fig. 38 : Resultados 2

# 34 ARQUITECTURA VERNACULAR

## TIERRA

### Técnicas de construcción

---

Existen diversas técnicas de ejecuciones constructivas para tierra curada a lo largo del mundo sin incluir todas aquellas que no presentan documentación. En el trabajo se abordarán cuatro de ellas destacadas en las construcciones realizadas en la zona de estudio, siendo estas la construcción con tecnica de COB, adobe, arcilla apisonada y la utilización de bloques de tierra comprimida.

Estas técnicas se ven a lo largo de la arquitectura presente en la zona estudiada, es por ello que es de vital importancia el conocimiento del uso de estas técnicas para comprender las construcciones posteriormente analizadas.



Fig. 39 : Ejemplo de construcciones vernaculares en el Africa shubsahariana

## COB

Cob es un término inglés que se le asigna a la siguiente técnica de construcción con tierra. La palabra 'Cob' hace referencia al golpeo o acto de golpear una superficie.



Fig. 40 : Muro de COB

Se comienza mezclando las materias primas y preparando las porciones de masas en forma de bulto.



Fig. 41 : Porciones de tierra

La masa más común está compuesta por arena, arcilla y fibras vegetales. También se pueden encontrar componentes de fibras minerales (silex o ladrillos rotos) .



Fig. 42 : Ejecución de muro con fibras vegetales

La arcilla se retira del suelo, se humedece y se amasa en su estado plástico (con un 15-30% de humedad). La mezcla se acumula en recipientes como cestas o cubos para su posterior colocación.

La acumulación de las masas se realizan hasta alcanzar una altura de 50-60cm, es entonces cuando los lados del muro son golpeados para evitar posibles grietas durante sus dos primeras semanas de secado.



Fig. 43 : Amasado del material

Un tapial construido con esta técnica tiene alrededor de 40-60cm de espesor y su carácter es parecido al de la tierra apisonada.

Para conseguir una esbeltez estable, los laterales de la pared se regulan con una pala o herramienta similar que sirva de corte. Los restos de materiales como paja que sobresalen por la pared se eliminan para conseguir un acabado liso. Si se opta por un acabado enlucido, es aconsejable aumentar la rugosidad del muro para darle mayor facilidad de adherencia al yeso.



Fig. 44 : Golpeo y estabilización del muro

# 36 ARQUITECTURA VERNACULAR

## TIERRA

### Técnicas de construcción

#### ADOBE

El adobe es un material constructivo conformado por tierra y materiales orgánicos. Adobe es un término Español, su traducción es mudbrick (bloque de barro) ya que es una de las técnicas más antiguas de los ladrillos en tierra.



Fig. 45 : Bloques de adobe

La técnica de adobe es una de las más destacadas en la zona estudiada debido a que en climas secos, estas estructuras presentan una gran durabilidad. A su vez, al estar compuesto por tierra y gracias a su masa térmica ( $1740 \text{ KJ/ m}^3\text{K}$ ) también tiene un muy buen comportamiento ante un clima tropical húmedo.



Fig. 46 : Uso del adobe en construcciones tradicionales

Los bloques pueden ser moldeados uno a uno a mano, pero lo más común es realizar un molde en el que se vierta la tierra mezclada con agua y otros componentes orgánicos como paja o fibras que faciliten su secado evitando la aparición de grietas durante el proceso de secado. Tras haber desmoldado la pieza, se coloca en forma vertical para conseguir un secado más uniforme y se deja secar a temperatura ambiente, conformándose, pasados un par de días, un bloque lo suficientemente resistente como para soportar las cargas de un muro. Si los ladrillos se dejan secar a la sombra, se reducirá la posibilidad de grietas durante el proceso de secado.



Fig. 47 : Elaboración de bloques de adobe



Fig. 48 : Proceso de secado de los bloques

A diferencia de los ladrillos cocidos, la fabricación de estos ladrillos se puede realizar en cualquier zona, evitando los altos costes del transporte del material.

Una vez estén secos se retiran y almacenan para su posterior colocación en obra.

Para la unión de los ladrillo se utiliza una alternativa al mortero de cemento. Éste consiste en la mezcla de arcilla y barro o arcilla y arena.



Fig. 49 : Unión con mortero entre bloques de adobe

Además, este material puede utilizarse para acabados interiores y exteriores a modo de yeso como encontramos en algunos ejemplos de decoraciones tradicionales. Sin embargo tiene un inconveniente y es su mal comportamiento frente al agua. En alguno de los ejemplos vemos la utilización de productos ricos en cal como protector del material frente a la lluvia.



Fig. 50 : Acabado exterior con cal

La cimentación que se ocupe de transmitir las cargas del muro de adobe al terreno debe estar óptimamente comprimida y aplanada. La profundidad de la zapata debe ser superior al nivel de heladicidad de la tierra y el muro debe comenzar en el nacimiento del zócalo que conecta con la zapata. En ocasiones, las cimentaciones y los muros de arranque irán reforzados con cañas de bambú para aumentar su resistencia.

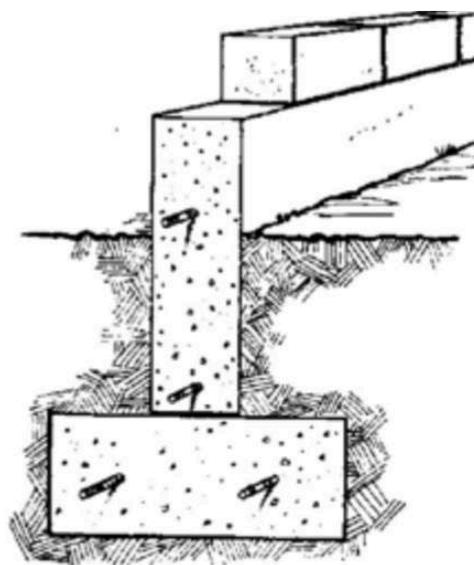


Fig. 51 : Cimentaciones para muros de adobe

Las paredes de adobe no se suelen elevar más de dos pisos si están soportando cargas debido a la baja resistencia estructural del adobe. Si se ejecutan huecos en los muros, se debe colocar una línea en la parte superior a modo de dintel que soporte las cargas superiores del muro.



Fig. 52 : Ejecución de vanos

## ARCILLA APISONADA

La arcilla apisonada posibilita la ejecución de muros de carga resistente a través de la compactación de capas de tierra vertidas sobre un encofrado. El acabado final ofrece el tono natural y cálido de la tierra cruda sin modificaciones.

Ésta técnica es muy antigua. Los elementos empleados son de origen natural utilizando tierra mezclada con agua y paja o estiércol. La tierra del suelo suele contener un grado de grava, arena, limo o arcilla.

Este técnica se encuentra en construcciones milenarias, durante el siglo XIX, tomó popularidad en Estados Unidos y fue allí donde se realizaron continuas investigaciones sobre el sistema hasta los años 40. Tras la II Guerra Mundial y con el descenso de coste de otros materiales constructivos incorporados al mercado, la técnica de la tierra apisonada pasó a un segundo plano.



Fig. 53 : Muro de arcilla apisonada

A día de hoy, ésta técnica se está recuperando por tener un alto valor de sostenibilidad y bajo coste. La técnica moderna incorpora estabilizadores como la cal y el cemento, que mejoran el rendimiento estructural y la durabilidad de las construcciones.

La técnica de la tierra apisonada se puede utilizar también para la ejecución de bloques de gran tamaño, que posteriormente quedarán apilados y unidos como bloques regulares con una fina capa de lodo que actúa a modo de cemento.



Fig. 54 : Acabado de muro de arcilla apisonada

El proceso de ejecución de los muros de tierra apisonada requiere la presencia de un encofrado adicional que suele ser de madera o de metal. En las zonas de estudio predomina el uso de madera para estos elementos constructivos debido a su presencia local. Éste encofrado puede tener el carácter de ser un elemento fijo o móvil.

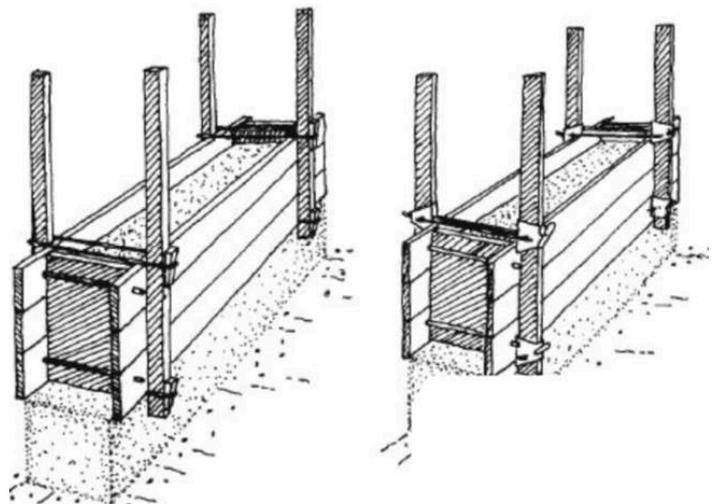


Fig. 55 : Ejecución de muro de arcilla apisonada

Una vez diseñado el encofrado con el espesor deseado de muro, se vierte una capa de mezcla de tierra con agua y materiales orgánicos. Ésta capa se apisona con un pistón que puede ser manual o neumático. Tras haber concluido el apisonado de esta capa, se pasa a verter la siguiente y se vuelve a ejecutar el mismo proceso.

El muro resultante queda formado por diferentes capas realizadas de forma sucesiva que se hacen visibles una vez se retira el encofrado.

La construcción con encofrado deslizante permiten elevar el encofrado sin tener que desmontarlo, pudiendo disponer de marcos continuos. Si por el contrario, los marcos son de la misma dimensión que los paneles del encofrado, deben elevarse primero los marcos y tras ello desplazar los paneles.

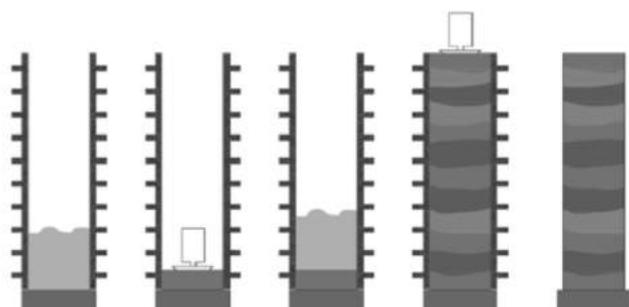


Fig. 56 : Ejecución de muro

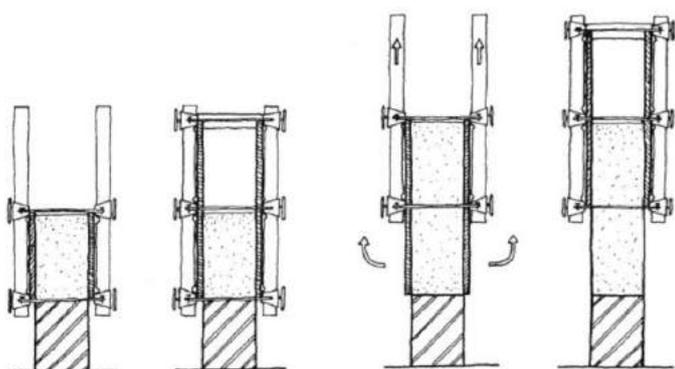


Fig. 57 : Movimiento de los paneles del encofrado



Fig. 58 : Ejecución de muro: Colocación del encofrado



Fig. 59 : Ejecución de muro: Vertido de material



Fig. 60 : Ejecución del muro: Apisonado



Fig. 61 : Ejecución del muro: Acabado

## BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

A principios del siglo XIX, en Europa comienza a desarrollarse un bloque constructivo a base de tierra comprimida. A diferencia del adobe, éste bloque contiene una mayor densidad, lo que le hace más fuerte y resistente gracias a la compresión del mismo.

La compresión se puede ejecutar con presas de forma manual o mecánica. Se realiza con tierra húmeda que contenga arcilla, limo, arena o grava fina. A ésta masa se le puede añadir componentes de cemento o cal que incrementen las propiedades mecánicas del elemento final y su resistencia al agua. Su realización mediante procesos industriales no suele ser económica debido al coste del transporte. En la zona estudiada predomina la técnica manual ejecutada en el lugar de actuación a través de prensas manuales portátiles.

Así mismo, es necesario un desplazador y un mezclador encargado de unir de forma homogénea las materias primas.

Si comparamos el precio de  $1\text{m}^3$  de ladrillo cocido y ladrillo compactado, éste se reduce entre un 15 y un 20% facilitando así su utilización en zonas con bajos recursos económicos.

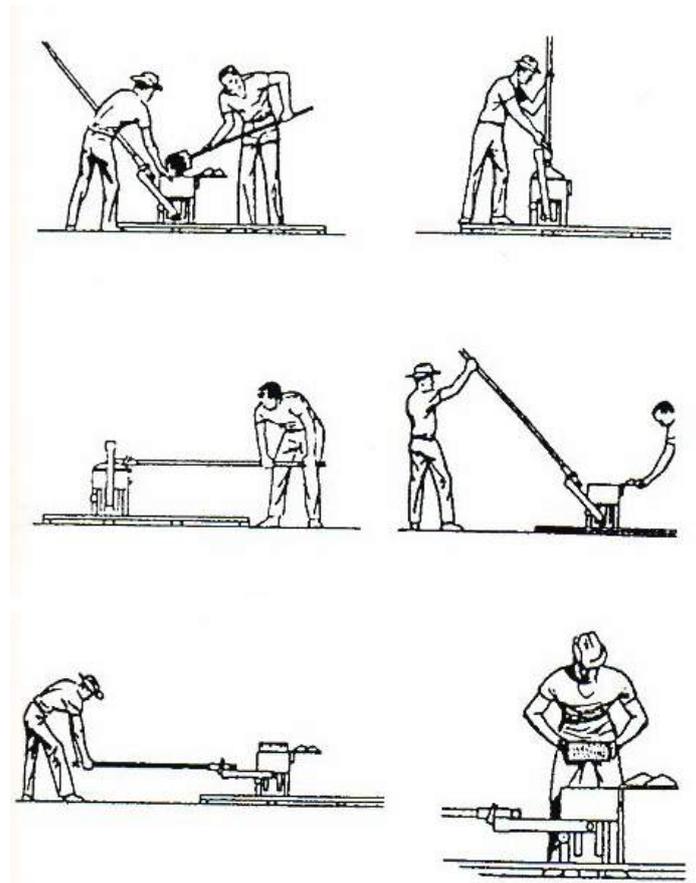


Fig. 62 : Ejecución de bloques

1. Tamizado: Es el primer paso de la ejecución del ladrillo comprimido. Consiste en pasar la tierra por diversos tamides separando los elementos de mayor tamaño, la grava y el polvo de tierra, con el cual se fabricarán los ladrillos.



Fig. 63 : Muestra de diversos grosores de tierra

2. Mezclado: Se coloca el material resultante en un recipiente al que se le añade agua y un aglutinante, ya sea cal o cemento, y se mezcla formando una mezcla perfectamente homogénea



Fig. 64 : Proceso de mezclado de materiales

3. Presionando: Se prensa el ladrillo en un molde escogido previamente ya sea de forma mecánica o manual. Posteriormente se retira el elemento con cuidado para no dañar los bordes.

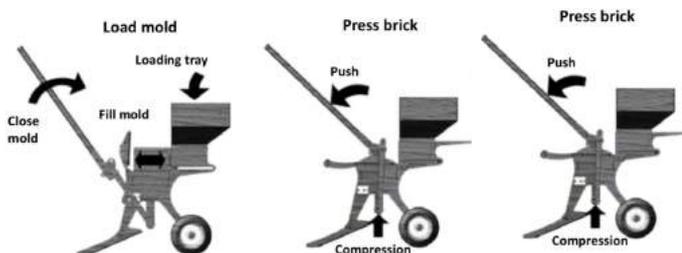


Fig. 65 : Ejecución de bloques



Fig. 66 : Ejecución de bloque

4. Mantenimiento: Las piezas se apilan en un recinto protegido de las radiaciones solares por una cubierta durante 28 días. En este periodo se irán humedeciendo para que el proceso de secado sea más estable.



Fig. 67 : Secado y almacenamiento de bloques

5. Detección: Se debe comprobar la estabilidad y resistencia de los bloques. Para obtener una idea aproximada de la resistencia de carga de los bloques se podrá comprobar colocando la pieza a estudiar apoyado en sus dos extremos 3 o 4cm. Sobre su centro irá colocado de forma transversal un listón de madera de 2 o 3cm sobre el que apoyará una tabla que servirá de base para las posteriores cargas. Sobre éste se irán colocando uno a uno bloques de tierra, hasta llegar a los 6, equivalente a 90-100kg.

Se deben evaluar cinco piezas escogidas aleatoriamente. Si una de ellas no resiste las cargas, se debe descartar todo el lote.



Las cañas de bambú se caracterizan por tener un crecimiento a partir de rizomas que forman parte de la base de la planta. La mayor parte de las plantas, se reproducen a través de la creación de semillas, teniendo un periodo de floración al menos cada año de vida. Sin embargo, el periodo de floración del bambú es mucho más escaso, llegando a darse una única floración en más de 50 años. Es por ello que estas plantas no se multiplican a través de semillas sino que lo hacen a partir de sus esquejes. Éstas partes de la planta se depositan en forma horizontal en el suelo y tras un par de semanas se puede observar como la planta comienza a crecer a partir de los nudos.

El bambú es una planta que se desarrolla principalmente en las zonas de clima tropical. Ésto genera una contra a la hora de incorporar éste material en países con un clima templado en el que se daría más salidas a la investigación sobre su aplicación debido al coste extra de importación.

Africa y sudamérica cuentan con el mayor potencial de bambú del mundo llegando a abarcar también una parte del sur de EEUU.

Respecto a los beneficios, el bambú aporta un 35% más de oxígeno que el resto de los árboles. A su vez, la absorción de CO<sub>2</sub> aumenta hasta un 40% y su crecimiento no requiere de fertilizantes ni pesticidas. Además las raíces de los tallos que se encuentran bajo el suelo capacitan al mismo para absorber y almacenar el doble de agua de lo que sería capaz de almacenar otro tipo de plantas. Esto genera un beneficio a la hora de disminuir el valor de erosión del suelo.

Fig. 68 : Tronco de bambú



Los tallos del bambú contienen un vacío en su interior que va desde un nodo hasta otro. Esta parte del bambú es denominada entrenudo. El vacío interior queda limitado por las paredes que le dan una estructura a la planta. El interior de la caña queda dividida en diversas secciones delimitadas en los nudos por una membrana horizontal llamada diafragma. El crecimiento de la planta se establece de nudo a nudo.

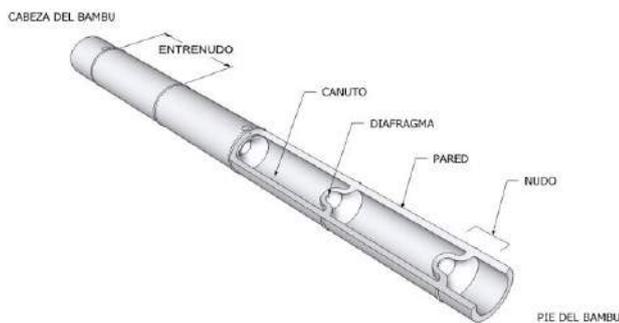


Fig. 69 : Composición de una pieza de bambú

El tiempo de crecimiento de la planta es bastante reducido, Un tallo puede alcanzar su madurez en menos de 5 años y duplicar su altura en menos de un día y gracias a su facilidad de cuidado y mantenimiento, su cultivo es muy rentable.

El bambú forma parte de una tipología de madera, como tal, su fuerza a compresión supera la soportada por los ladrillos o el hormigón a la vez que sus valores a tensión pueden llegar a compararse con los soportados por el acero, siendo un material óptimo para componer la estructura de una construcción.

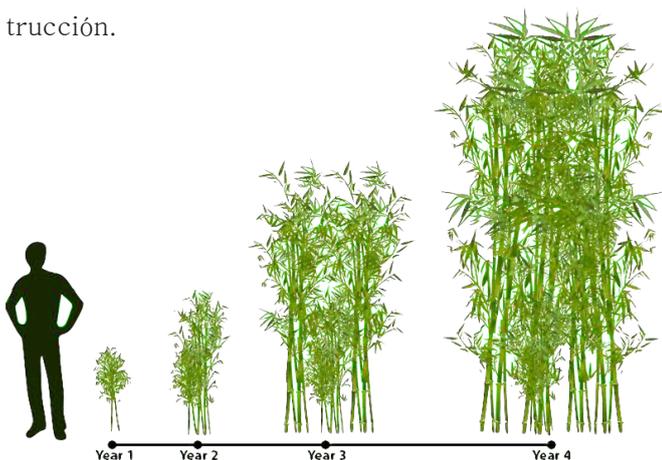


Fig. 70 : Crecimiento de la planta de bambú

El material estudiado siempre ha estado estrechamente ligado con la cultura asiática, sobre todo del este y de la zona del pacífico.



Fig. 71 : Ejemplo de arquitectura asiática con bambú

A pesar de que en África, su presencia es bastante notable en las estructuras de las construcciones situadas en las zonas de clima tropical, el material no ha sido muy utilizado en otras culturas y es un recurso que poco a poco va abriéndose camino en los métodos modernos de construcción, viéndose muy condicionado por los mecanismos reguladores de fabricación.

En las últimas décadas sin embargo, está tomando relevancia en su aplicación a la arquitectura moderna gracias a sus cualidades de sostenibilidad, propiedades estructurales, flexibilidad y carácter natural del material, lo que le otorga una belleza única en cuanto a forma, textura y aplicación en obras.

En África, el bambú siempre ha sido utilizado principalmente en su arquitectura vernácula. El bajo coste y su carácter sostenible ha hecho que este material sea hoy en día una buena vía para dar solución a la construcción de muchos de los edificios demandados en la región.



Fig. 72 : Ejemplo de arquitectura africana con bambú

# ARQUITECTURA VERNACULAR

## BAMBÚ

### Propiedades estructurales

Dependiendo del tipo de especie con el que contemos, los tallos podrán recogerse cada 4 años para integrarlo posteriormente en la construcción .

Es importante saber cuándo se pueden recoger los tallos. Estos deben contener la mínima cantidad de azúcar en su savia ya que de tener un alto valor, aumentarían las posibilidades de ataques bióticos.



Fig. 73 : Imagen de tallos de bambú cortados

#### RESISTENCIA MECÁNICA

Respecto a las cualidades de resistencia mecánica, éstas están estrechamente ligadas al porcentaje y distribución de fibras de bambú incluidas en la sección transversal de la planta. Éste valor varía en función de la gravedad específicam del contenido de fibras, del diámetro de las fibras y del grosor de las paredes del tallo.

#### MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo elástico de la celulosa que compone el bambú tiene un valor de al rededor de  $70.000 \text{ N/mm}^2$ . Asumiendo que la fibra de bambú contiene un 50% de celulosa, se obtiene como valor un modulo de resistencia de  $35.000 \text{ N/mm}^2$ .

#### FUERZA A FLEXIÓN

La densidad del bambú oscila entre los 700 y los  $800 \text{ kg/m}^3$ . Éste valor depende de la especie de la planta. La fuerza a flexión se encuentra cerca de un 0,14 veces la densidad del material. el momento de fallo a flexión en el bambú no se establece en la rotura de las fibras sino en la división longitudinal del material como consecuencia de una debil unión de la lignina entre las fibras. Es por ello que el valor final de la tensión se sitúa en un  $62 \text{ N/mm}^2$ .

#### FUERZA A COMPRESIÓN

Sobre la fuerza a compresión, el bambú es un material que resiste muy bien ante este tipo de fuerza y que llega a igualar y superar el valor del hormigón. Éste valor, como otros muchos, también varía en función de la especie de la planta pero tras diversos estudios se estima que su valor oscula entre 0,094 veces la densidad medida en  $\text{kg/m}^3$ .

Esto posibilita la incorporación del material a elementos constructivos que requieran de grandes valores de carga como pueden ser pilares y cubiertas.

## FUERZA A TRACCIÓN

La resistencia a tracción puede variar bastante entre especies llegando a alcanzar valores aproximados a los del acero. Del mismo modo que el módulo de elasticidad, los valores van ligados al volumen de la fibra del tallo. En un ejemplar de 2 años podemos encontrar valores entre 140 y 230 MPa, valores superiores a los que presentan otros tipos de madera como el pino.

## FUERZA A CORTANTE

La resistencia a cortante y cizallamiento es menor que en el resto de maderas. Al tener la sección hueca, su área de resistencia disminuye notablemente ante esta fuerza

Las fibras se disponen de forma longitudinal pero los planos de cizalla son dos, uno transversal a la dirección de las fibras y otro paralelo a las mismas. El valor crítico ante esta fuerza se establece en los  $2,2 \text{ N/mm}^2$



Fig. 74 : Imagen de estructura de bambú

46 ARQUITECTURA VERNACULAR  
 BAMBÚ  
 Elementos constructivos

Los elementos constructivos que conforman las estructuras de bambú son principalmente pilares y vigas. Estos elementos pueden estar compuestos por más de una pieza de bambú, lo que permite aumentar la resistencia ante las cargas que deben aguantar.

Los elementos de bambú vienen especificados a través del diámetro mínimo, el espesor de su pared y la longitud de la pieza.

Al igual que muchos otros materiales, existes tamaños normalizados que requieren un diámetro específico para las piezas de construcción.

Estas dimensiones exigen:

- Un diámetro de entre 80-100 mm
- Un espesor de pared de 10-12 mm
- La distancia entre nodos debe ser de 300-600 mm

Existen muchas combianciones entre las uniones de elementos. Las principales se dan en el encuentro entre pilares y zapatas, que suelen ir empotradas o apoyadas sobre estas y en la unión de vigas y pilares, aquí es necesaria la conexión mas detallada entre ellas.



Fig. 75 : Imagen de elementos de bambú



Fig. 76 : Imagen de unión entre elementos de bambú

	Code	Name	Qty	Diameter (cm)	Length (cm)
	<b>A</b>	Frame (length)	2	12	220
	<b>B</b>	Frame (width)	4	12	105
	<b>C</b>	Legs	4	12	29
	<b>D</b>	Crossbars	4	7	90
	<b>E</b>	Headboard	2	7	100
	<b>F</b>	Footboard	2	7	38
	<b>G</b>	Plug	1	7	17
	<b>H</b>	Headboard Verticals	3	7	64
	<b>I</b>	For Dowels	4	5	25
	<b>J</b>	For Mats	4	5	190

Fig. 77 : Información de los parámetros de las piezas de bambú

## CIMENTACIONES

### EMPOTRAMIENTO

Se comienza la ejecución excavando un agujero de tamaño 3 veces el ancho del poste del elemento vertical a colocar.

La profundidad de la zona retirada debe ser  $1/2$  o  $1/3$  de la altura del elemento .

Una vez ejecutado el hueco se agregan a él 6 pulgadas de grava y se compacta y nivela en el fondo del hueco.

Posteriormente se coloca el elemento vertical y se fija con 2-4 tirantes en ambas direcciones para evitar su movimiento. Para conseguir una completa verticalidad se requiere la ayuda de un nivel.

Se rellena a continuación el hueco con hormigón de fraguado rápido hasta que alcance un nivel de 3 pulgadas por debajo del nivel del suelo

Para continuar la construcción de elementos cercanos se recomienda la espera de 7 horas para asegurar un buen fraguado y estabilidad del elemento.

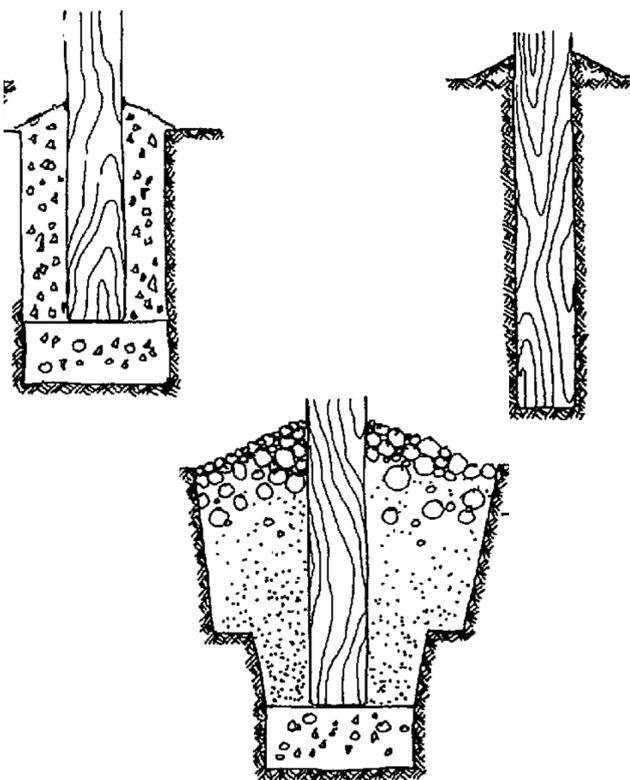


Fig. 78 : Cimentaciones empotradas de bambú

### ELEMENTOS DE ACERO

A la zapata realizada anteriormente se le añade, antes de fraguar el hormigón, unos perfiles de acero que serán los encargados de recibir los elementos verticales .

Posteriormente se colocan los elementos verticales con pernos que lo atraviesan y lo unen a las placas

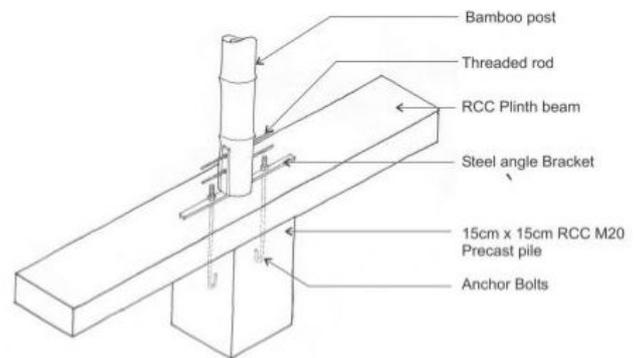


Fig. 79 : Cimentación de bambú con uniones metálicas

### ELEMENTOS DE ACERO SUJETOS AL HORMIGÓN

Se ejecuta el hoyo como en el primer ejemplo, y se coloca la capa de grava y el hormigón. Antes de que el hormigón frague, se sitúa el soporte en posición vertical. Para evitar movimientos en el soporte, este debe estar fijado con sistemas de abrazadera que aseguren su estabilidad hasta que el hormigón haya conseguido fraguar.

Una vez haya curado el hormigón, 4 días más tarde, se coloca el elemento vertical añadiendo al entre-nudo de la parte baja un relleno de hormigón que permita la unión con el soporte.

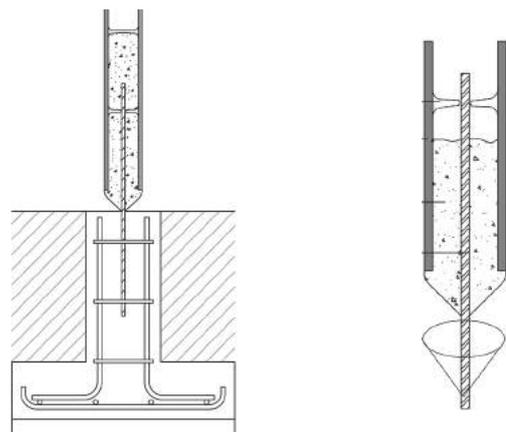


Fig. 80 : Cimentación de hormigón para elemento de bambú

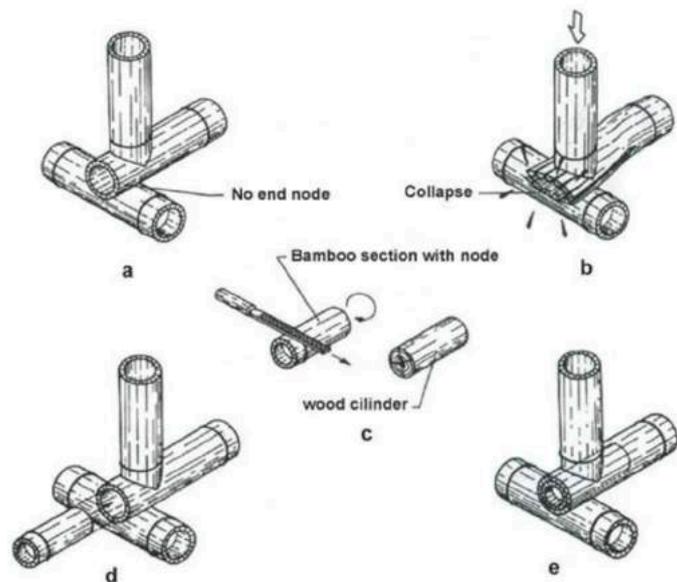
ESTRUCTURAS

JUNTAS

Debido a las propiedades del bambú, la distancia variable entre sus nodos, su forma indefinida, su interior hueco y su irregularidad, tanto longitudinal como transversal, hace de este material, un elemento de difícil conexión entre piezas.

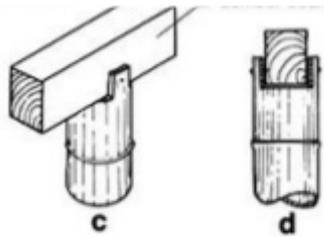
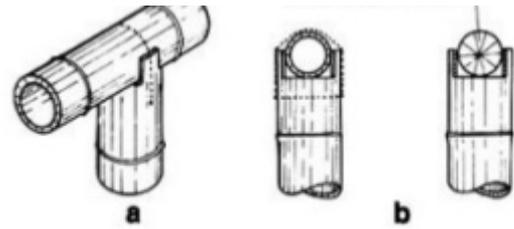
Estas propiedades conforman el principal problema de la incorporación del material en la construcción moderna ya que es muy difícil establecer unas normas de regulación entre sus uniones y juntas.

Una de las normas básicas a la hora de establecer una conexión con elementos de bambú es realizar la junta o conexión cerca de un nodo. Estas zonas oponen mayor resistencia y de no realizarse cerca de uno de ellos, el internodo podría quedar aplastado por la carga transmitida por el otro elemento.

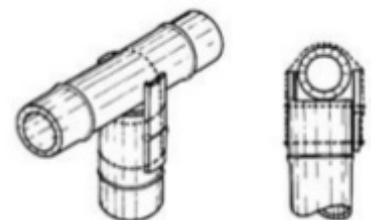
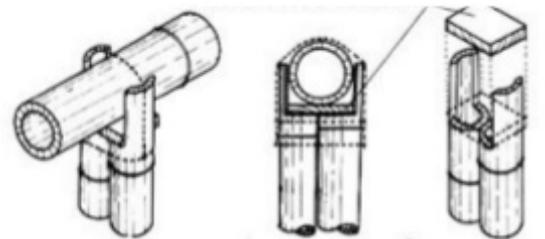


Se han documentado diversas técnicas de unión entre elementos de bambú

Conexión entre elementos verticales y horizontales.

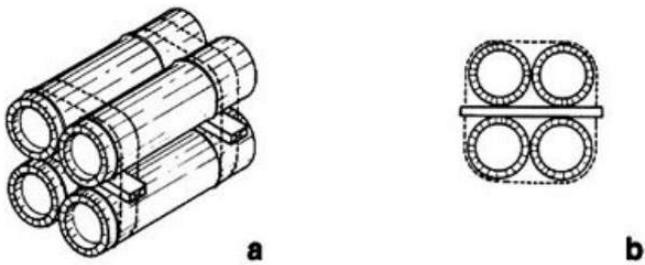


Conexión entre uno o dos elementos verticales y uno horizontal.

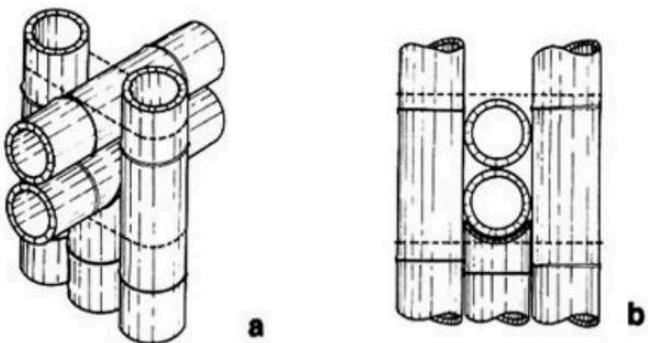


### Conexiones complejas de más de 2 elementos

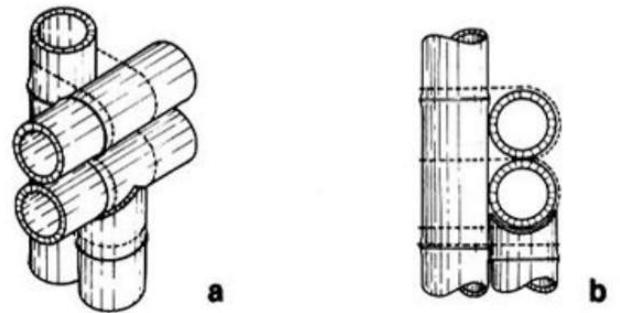
Las dos filas se encuentran separadas por un listón de bambú o madera para evitar su deslizamiento



A través de sistemas de abrazaderas se pueden recibir elementos verticales reforzándolos con la colocación de tornillos o pernos que mejoren su estabilidad.



Cada una de las piezas componentes están aseguradas independientemente con el soporte lateral y con la pieza contigua.



Se encuentran combinaciones de diversos sistemas para generar uno de mayor estabilidad y resistencia.

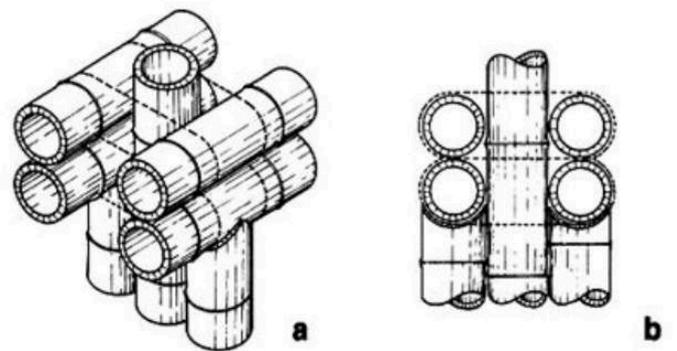


Fig. 81 : Uniones entre piezas de bambú

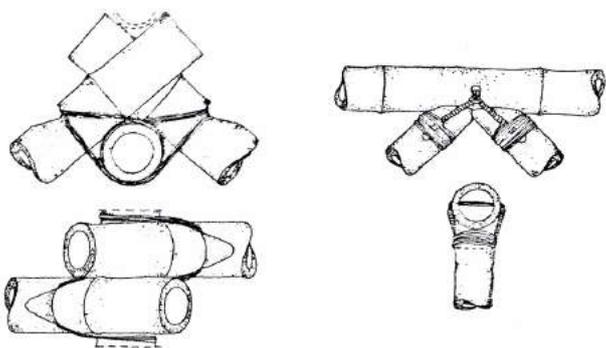
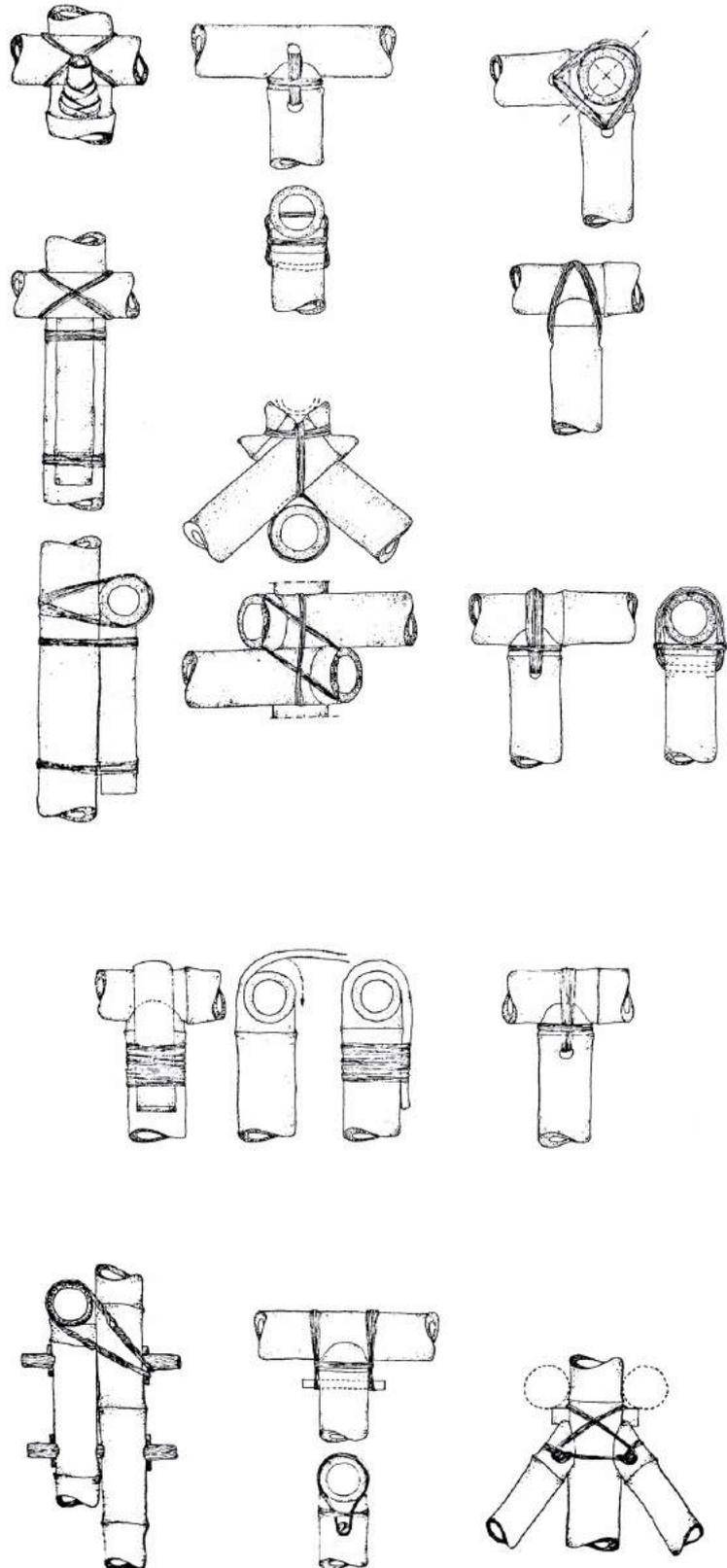
ESTRUCTURAS

CONEXIONES

En la arquitectura moderna existen diversos métodos de conexiones estructurales pero requieren de maquinaria costosa. Es por ello que se tratará de estudiar las conexiones más adecuadas al contexto del lugar que sea poco costosa y fácil de aplicar.

El método más usado de conexión se hace a través de la unión por cuerda realizada con materiales naturales que actúan a fricción con la estructura. Los más comunes son la fibra de palma de coco, líber, las tiras de bambú y el ratán. Si se pretende una conexión hermética se realizará con tiras de bambú verde, estas se riegan antes de atarlas y una vez atadas, al secarse, se contraen y permiten una mejor conexión de los elementos. También pueden utilizarse materiales como alambre, hierro o cintas de plástico, mas difíciles de encontrar en un ambiente rural.

Entre las ventajas de éste método de conexión está que no es necesario realizar perforaciones en las piezas de bambú para incorporar elementos transversales ya que no los necesita. Ésto evita problemas de fisuras a lo largo de la pieza. Además su ejecución es fácil, sencilla y tiene diversas funciones



Las conexiones a través de pernos se ejecutan con elementos secundarios que apoyan y transmiten las cargas de un elemento de bambú a otro.

Este sistema de unión suele usarse acompañado del sistema anterior como refuerzo.

La ejecución comienza realizando perforaciones en los elementos a conectar. Si el elemento es vertical necesitará de una perforación de mayor dimensión. A continuación se coloca el pasador de madera o bambú capaz de conectar las dos piezas. A este se le añadirá una cuña de bambú para evitar movimientos en la unión y reforzar así la conexión. Una vez ejecutada la cuña se pasará al corte del trozo sobrante y la nivelación y limpieza de la conexión.

Como se ha citado anteriormente, éste tipo de conexión puede reforzarse con adhesivos o con cuerdas de origen natural que aumenten la estabilidad y funcionamiento de la unión.

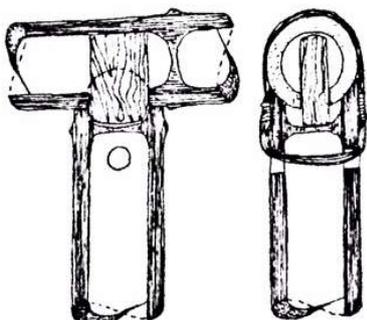
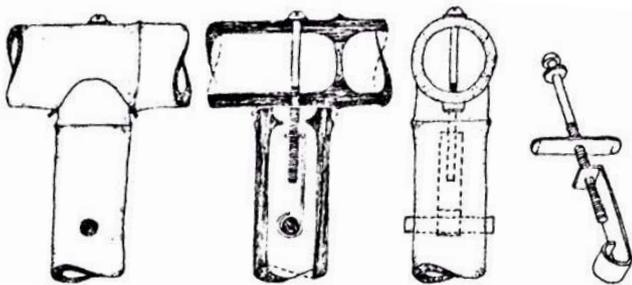
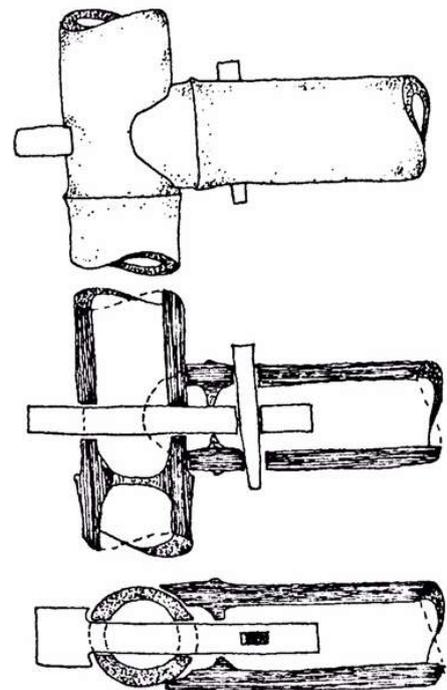
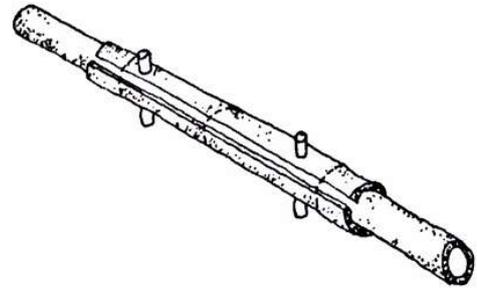
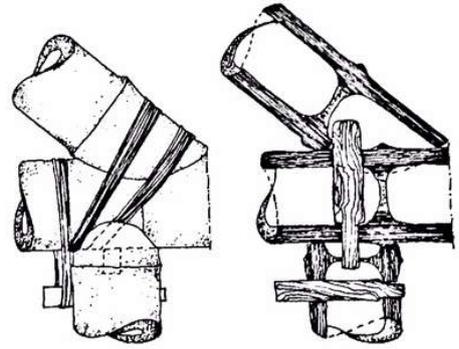


Fig. 82 : Conexiones entre piezas de bambú

## ARQUITECTURA VERNACULAR

### BAMBÚ

#### TRATAMIENTOS

Como todos los tipos de madera, al tratarse de un material orgánico y natural, es más susceptible de ser atacado por organismos bióticos, hongos, podredumbre o fuego. Es por ello que el material precisa de un mantenimiento continuo y un proceso de protección que evite la continua sustitución de la pieza.

En la zona estudiada encontramos tratamientos tradicionales no comprobados, como son el ahumado, los tratamientos de presión, el remojo del material o el tratamiento de cal. Sin comprobarse la efectividad de estos procesos, son utilizados ya que no suponen un gran gasto de capital y no requiere una mano de obra cualificada.

Para ejecutar el proceso de curado se dejan las piezas de bambú intactas secando al aire libre. De esta forma, el contenido de almidón de la planta disminuye gracias al proceso de transpiración

El proceso de ahumado es recomendable contra ataques de insectos y hongos.

El proceso de remojo trata de mantener bajo agua estancada la pieza a tratar durante unas semanas de forma que disminuya su contenido de azúcares. Pasado este tiempo, las piezas se dejan secar de forma natural al aire libre protegida de los rayos solares. Es muy importante mantenerlos en posición horizontal a una altura determinada del suelo que suele ser los 50 cm para evitar que se doblen durante su secado. En ocasiones éstas inmersiones se hacen bajo una cantidad de cal diluida en agua, lo que permite la protección contra ataques bióticos.



Fig. 83 : Tratamiento de piezas de bambú

### Protección por diseño

Existen, además de la protección directa, otro tipo de protecciones determinadas por el diseño de la construcción en la que se aplique el material. Uno de los mayores problemas con el que se encuentra el bambú aparece en las piezas en contacto directo con el suelo ya que el agua puede ascender por capilaridad desgastando mucho la parte baja del material.

Los criterios para mejorar el diseño residen en:

1- La existencia de voladizos que permite una protección ante la lluvia a gran parte de los paredes del edificio.

2- Se debe proyectar correctamente los sistemas de drenaje de las cubiertas

3- Para evitar la entrada de agua es recomendable ejecutar la construcción en un terreno ligeramente inclinado y prolongar la estructura de cimentación formando un pequeño zócalo.

4- Los huecos presentados por erosión o rotura en las piezas de bambú deben ser tapados o sustituidos.

5- La colocación de una pieza metálica entre la cimentación y la pieza de bambú protege a la estructura de ataques de termitas.

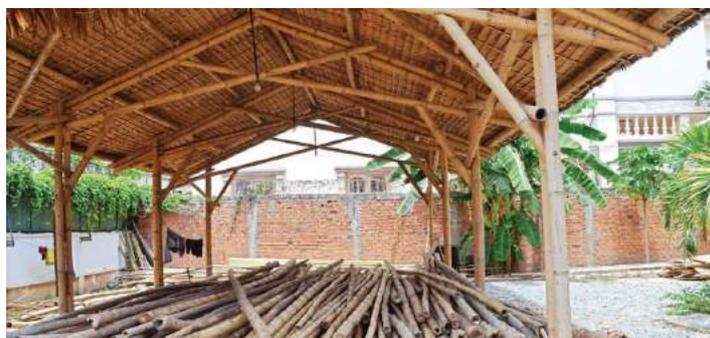


Fig. 84 : Diseño de voladizos como método de protección



Fig. 85 : Sistema de drenaje



Fig. 86 : Construcción con zócalo

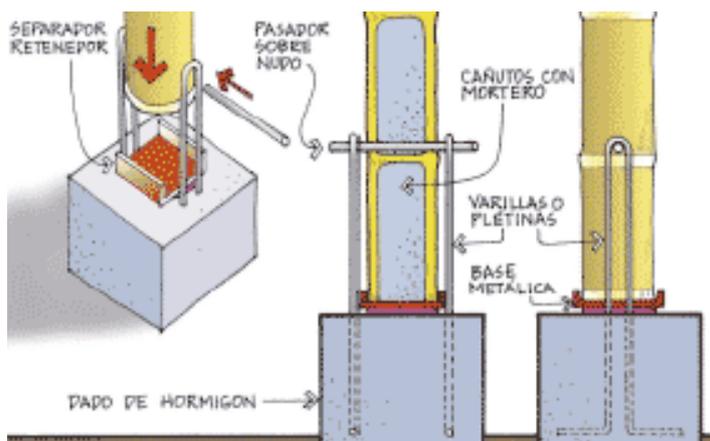


Fig. 87 : Cimentación con pieza metálica

# ARQUITECTURA VERNACULAR

## BAMBÚ

### TRATAMIENTOS

Una de las protecciones más importantes a tener en cuenta con la utilización del bambú es su uso como material de cubierta. Encontrar la protección frente al agua en la estructura de la cubierta resulta una labor complicada al utilizarse materiales de origen natural ya que la impermeabilización se complica. Es por ello que se deben tener en cuenta los siguientes principios.

En climas tropicales las cubiertas suelen ser inclinadas, llegando a presentar curvaturas. El grado de inclinación y la forma dependerá de la exposición a ciclos de lluvia, el clima, el tipo de material y la tipología constructiva desarrollada en la zona. Al exponerse a ciclos más continuados de lluvia, las cubiertas tendrán una mayor inclinación y las piezas que la componen serán más pequeñas, mientras que para cubiertas con menos inclinación las piezas serán de mayor longitud.



Fig. 88 : Cubierta de bambú a dos aguas  
[wwwdebambu.net](http://wwwdebambu.net)

La utilización de grandes voladizos permite dirigir el agua de la lluvia lejos de las paredes del edificio y enviarlo a los sistemas de drenaje subterráneos, permitiendo la recogida y almacenaje de agua para otras tareas.

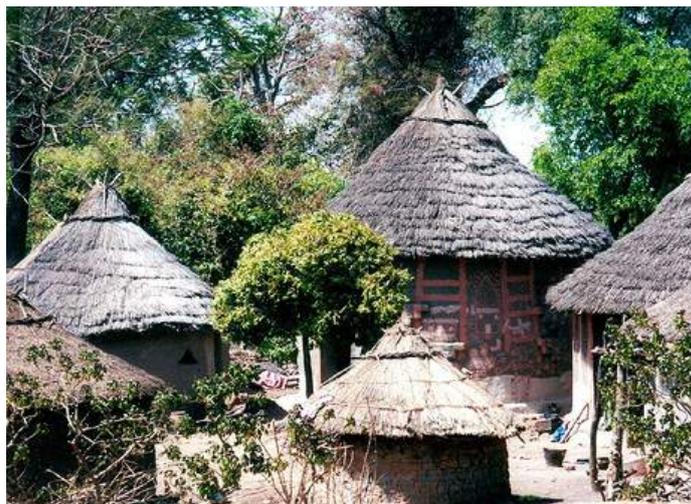


Fig. 89 : Construcción de bambú con voladizo

Para concluir con un acabado de bambú, se necesita ejecutar una red estructural a modo de base de la cubierta. Sobre esta red se coloca la estructura que recogerá el acabado exterior. Las piezas utilizadas en el exterior suelen estar recubiertas de un aceite para protegerlas y permitir el 'ESCURRIMIENTO' del agua sobre ellas. También se le pueden añadir otros materiales como paja que refuerzan la impermeabilización de la cubierta.



Fig. 90 : Acabado de cubierta de bambú

Los acabados de piezas de bambú son muy variados. Uno de los acabados se consigue partiendo las piezas de bambú longitudinalmente en 4 cuartos. Éstas piezas actuarán como tejas. Si su finalidad es ejecutar un tejido, estos cortes longitudinales se harán en menor dimensión.



Fig. 91 : Partición de piezas de bambú



Fig. 92 : Acabado de cubierta con teja de bambú

Otro acabado se consigue abriendo longitudinalmente el tallo y retirando los diafragmas dejando las paredes desplegadas. Se colcoa de forma que consiga un acabado plano y se limpia de posibles imperfecciones.



Fig. 93 : Partición de tallo de bambú



Fig. 94 : Acabado de pieza bambú limpia

# ARQUITECTURA VERNACULAR

## SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### Cimentaciones

La cimentación de las construcciones puede consistir en pilares 'incrustados' en el terreno o en la creación de zapatas.

Si se ejecutan muros de tierra, las cimentaciones continuas son las más utilizadas.

El tamaño y la profundidad de la cimentación va a depender del material que se utilice y de las cargas que deban soportar. Además se debe tener en cuenta el terreno y el clima de la zona de actuación. Los materiales encargados de conformar las cimentaciones no pueden verse afectados por la podredumbre de la humedad o los ataques de los insectos ya que se encuentran enterrados.

En climas cálidos como el en que nos encontramos, la profundidad de las cimentaciones deberá alcanzar un valor suficiente como para asentarse en una tierra estable, sólida y libre de vegetación y otros elementos que puedan dañarla. Además deberá estar aislada de posibles lavados y deslizamientos provocados por la lluvia. Por lo general, la profundidad suficiente oscila entre las 12 y las 18 pulgadas.

En ocasiones, para mejorar la continuidad entre la zapata y el muro, se colocan elementos lineales como el bambú que funcionan del mismo modo que la armadura en las zapatas de hormigón armado. Ésta estructura se lleva hasta la conexión con el muro permitiendo una mayor conexión entre los distintos componentes.

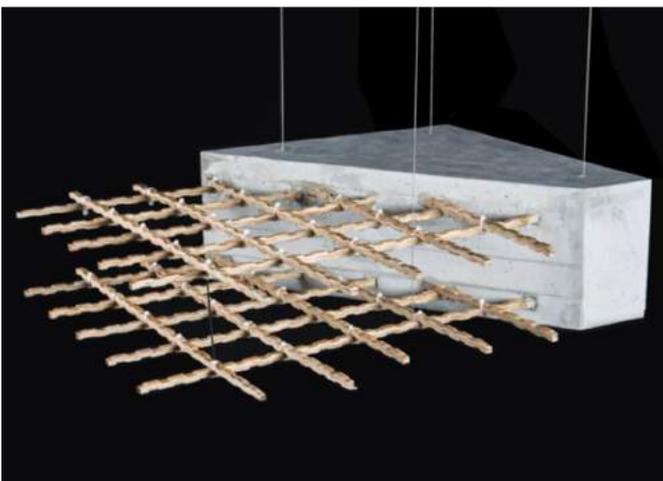


Fig 95 : Zapata reforzada con tallos de bambú

La dimensión de los elementos que componen la cimentación irá en función de la resistencia del suelo y de las cargas que van a soportar. Por lo general, la mayoría de los terrenos compuestos por arcillas y limos no serán terrenos adecuados para cargas mayores a 1800 kg por m<sup>2</sup>. Los suelos compuestos por arena o grava podrán soportar hasta el doble o incluso el triple.

La sección de la cimentación suele ser cuadrada. No deberá tener más anchura que profundidad ya que las cargas superiores se transmitirían de una forma más puntual a los cimientos y estos no serían capaces de soportarlo.



Colocación de 500l de tierra para preparar la mezcla



Adición de 200l de arena y una bolsa de cemento (50kg)



Marcado del nivel de altura de de la zapata



Vertido del material sobre las rozas de la cimentación



Ajuste de la roza a medida que se ejecuta la cimentación



Compactación para conseguir una mayor cohesión.



Hidratación para mejorar el proceso de secado



Repetición de fases de compactación.

Fig 96 : Proceso de ejecución de cimentaciones



Cuando el nivel de la cimentación sobresale del del terreno se colocan bloques de tierra formando un zócalo



Compactación de la última tongada



Nivelado del de la última capa de cimentación



Regulación previa al secado de la cimentación

# ∞ ARQUITECTURA VERNACULAR

## SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### Cerramientos

#### ADOBE

Conforman los muros más tradicionales y antiguos de la zona. Están compuestos por una mezcla natural de tierra natural, arcilla y en ocasiones arena y otros elementos como paja que sirvan como elementos de refuerzo ante posibles grietas e el proceso de secado.

Los cerramientos de adobe se realizan apilando los bloques previamente realizados desde el nivel inferior del muro hasta conseguir la altura deseada. La unión de estos elementos se hace a través de elementos como el barro que funcionen como argamasa o cemento.



Fig 97 : Bloques de adobe

#### COB

Conformado por una mezcla de barro y arcilla, el cob se realiza manualmente vertiendo los productos en un hueco del suelo y amasando la mezcla con las manos o los pies.

Una vez conseguida la mezcla equilibrada de componentes se va realizando el muro añadiendo porciones a las que se va dando forma.



Fig 98 : Elaboración de muro con método COB

#### ZARZO

Es un sistema de cerramiento fabricado a través de elementos de bambú. Las fibras de las cañas de bambú se extraen y se estiran estando todavía en periodo húmedo.

Una vez hayan secado y adoptado una forma más plana, se ejecutan los paneles formando una retícula entrelazada con las fibras generando una pieza con dimensiones variables en función del uso que se le vaya a dar.

Los paneles se unen a otros sistemas de construcción a través de elementos como alambre o corteza de Barke humeda, que flexible antes de secarse.

El acabado del muro puede concluir una vez estén colocados todos los paneles anclados a la estructura.



Fig 99 : Construcción de cerramiento con método Zarzo



Fig 100 : Detalle del sistema constructivo

## BAHAREQUE

Tras haber realizado la red se puede revestir esta estructura con un material aglutinante compuesto por barro, arcilla, arena, estiercol o paja. Éste método de construcción es muy común en las construcciones populares.

A su vez, este sistema funciona muy bien frente a acciones sísmicas.

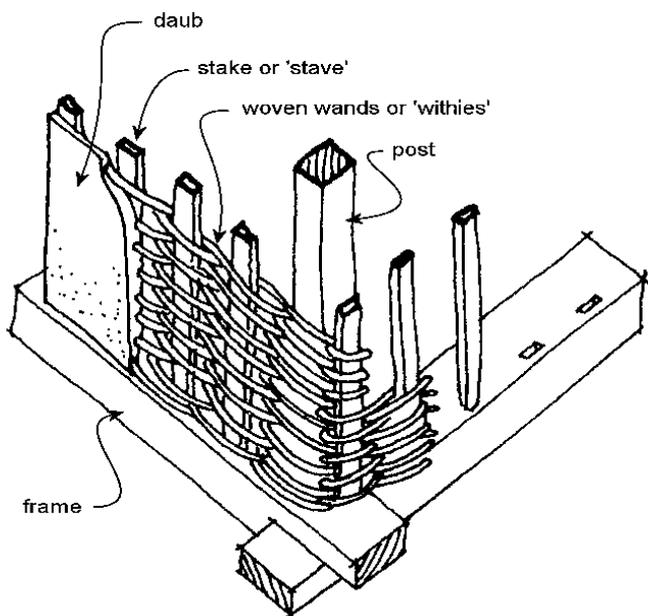


Fig 101 : Esquema del sistema Bahareque



Fig 102 : Muro ejecutado con sistema Bahareque

## CERRAMIENTO DE BAMBÚ Y COB

Este tipo de cerramiento sigue el mismo sistema que podemos encontrar en los componentes de los paneles sandwich.

Dos hileras de bambú se colocan de forma paralela dejando unos 15 cm de distancia entre ellas. Las cañas de cada hilera van colocadas de forma paralela y unidas a través de una pieza vertical a la que se anclan con clavos.

Más tarde se vierte barro en el espacio comprendido entre ambos paneles, sirviendo estos como un encofrado del muro.

Este tipo de muro no se lleva hasta la altura de la cubierta. Se resevan los últimos 40-50cm para permitir una ventilación en el interior del recinto.



Fig 103 : Muro ejecutado con bambú y cob



Fig 104 : Ventilación natural del espacio interior

# ARQUITECTURA VERNACULAR

## SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### Cubiertas



Fig 105 : Acabado de cubierta con paja

#### PAJA

Las cubiertas de paja configuran la forma más tradicional de cubrición de un espacio en la zona estudiada.

Existen diversas formas de ejecución en relación a la disposición de las cañas de bambú que forman la estructura base y al tipo de atado existente entre las capas de paja.

En ocasiones, la cubierta necesita de una estructura más rígida y se coloca como estructura base una de madera, lo que hace más pesada la cubierta. Lo más normal es encontrar una cubierta ligera simplemente de bambú y paja.



Fig 106 :Estructura de la cubierta con soporte de madera

Las capas se colocan superpuestas por hiladas de grupos de paja de diferentes anchos que se compactan y ‘aprisonan’ en sus extremos por las cañas de bambú colocadas por encima y sujetas a la estructura inferior mediante alambre o corteza de Barke.

Las hileras de paja se van colocando una encima de otra siguiendo el sistema de teja para evitar la entrada de agua al interior.

La unión final del acabado puede hacerse colocando dos anillos de bambú, uno cerca de la cumbre y otro a la altura del alero, para aumentar la estabilidad de la cubierta.

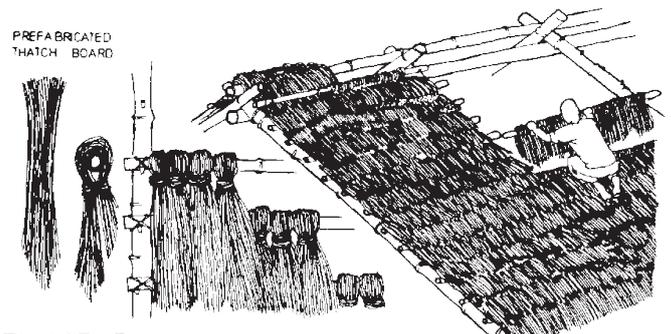


Fig 107 : Disposición de hiladas

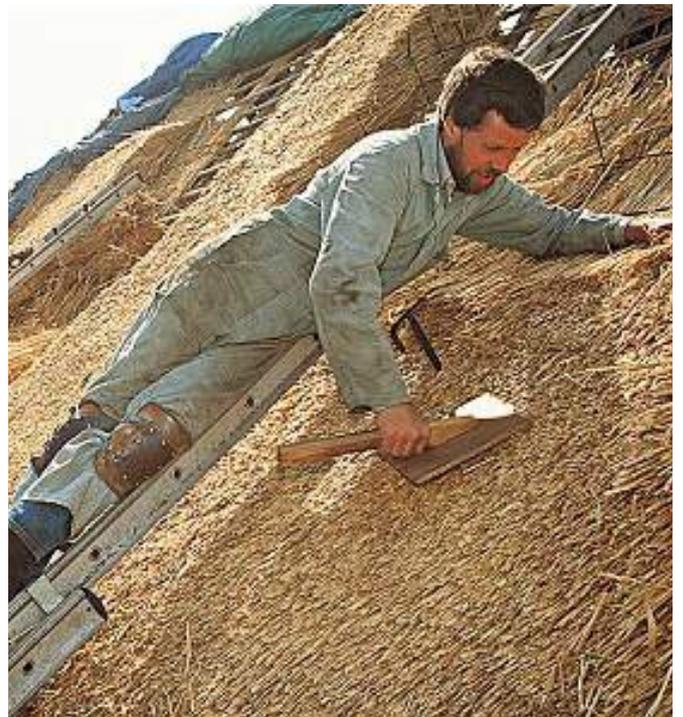


Fig 108 : Ejecución de cubierta de paja



Fig 109 : Cubierta de palma

## PALMA

Es un sistema menos utilizado que el acabado en paja, pero en la zona podemos encontrarlo principalmente para cubrir espacios como talleres, comercios o construcciones con cubiertas a dos aguas. La cubierta realizada con palma se construye, como en el sistema anteriormente explicado, con la superposición de capas del material. Las hojas de palma pueden llegar a abarcar 2 m de ancho, permitiendo una cobertura, que a pesar de su continuo mantenimiento, puede ofrecer grandes beneficios. Las piezas de palma se colocan sobre la estructura ligera de cañas de bambú y se atan a ellas a través de alambres o cortezas de Barke.

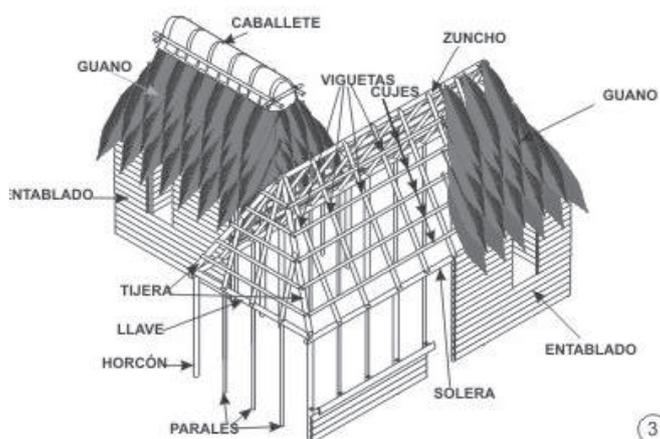


Fig 110 : Esquema compositivo de cubierta de palma

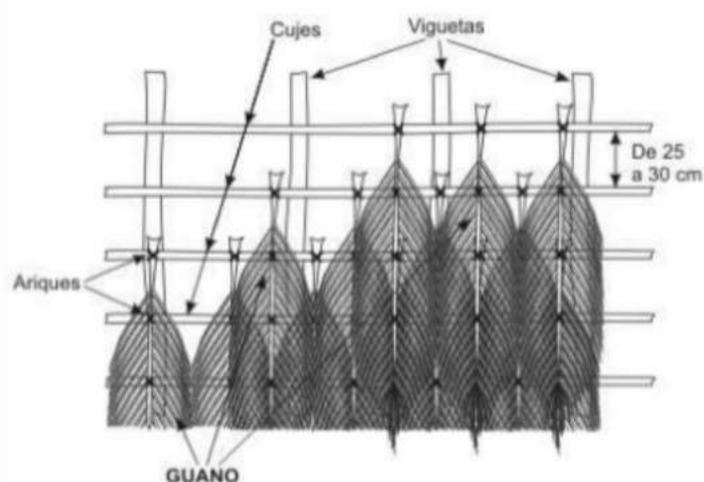


Fig 111 : Disposición de hojas de palma sobre la cubierta

Como cualquier sistema constructivo, éste ha ido evolucionando con los años y en algunas ocasiones podemos encontrar un acabado de red entrelazada formando un telar al que se le van añadiendo nuevas piezas hasat conseguir la impermeabilidad deseada.



Fig 112 : Entrelazado de hojas de palma



Fig 113 : Vista interior del acabado de la cubierta

# ∞ ARQUITECTURA VERNACULAR

## SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

### Carpinterías y acabados

---

Las construcciones suelen contener muy pocas aberturas debido a la búsqueda de aislamiento frente a las altas temperaturas alcanzadas en el exterior del recinto.

Nos encontramos con carpinterías fundamentalmente de madera aunque pueden estar realizadas con otros materiales.

El principal problema de las carpinterías se genera por la falta de conexión entre estas y los sistemas constructivos, lo que genera una desvinculación y deformación de piezas que provoca daños de una mayor importancia.



Fig 114 : Construcción vernacular situada en el África Subsahariana

Para conseguir un acabado interior con una mayor impermeabilidad y durabilidad, se coloca una capa de mezcla de barro, compactada manualmente, a la que se añade otra posterior conformada por cal viva o excremento de animales como vacas o cabras.

La incorporación de estas capas superficiales aumenta la durabilidad del acabado interior haciendolo más resistente una vez haya secado. Además este acabado evita el levantamiento de partículas, como el polvo, que disminuyen el confort dentro de los recintos.



Fig 115 : Construcción vernacular situada en el África Subsahariana



---

## ARQUITECTURA VERNACULAR

---

### TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

Existen diversas tipologías constructivas ejecutadas con múltiples métodos y materiales. En el estudio posterior se analizarán las construcciones más características en la zona subsahariana.

## 8 ARQUITECTURA VERNACULAR TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Vivienda circular ejecutada con bambú

Esta construcción se ejecuta con materiales vegetales de cañas de bambú, paja, madera y fibras de baobab.

Las cimentaciones son mínimas, se colocan pequeñas piezas de madera en forma de viga de 10 cm de diámetro semihundidas en el terreno. Sobre estas piezas apoya el muro ejecutado con piezas de bambú atadas en seco.

La elasticidad de este material permite generar la forma circular de la construcción.

La cubierta se forma a través de paja presionada sobre piezas de bambú cortadas longitudinalmente por la mitad y atadas con fibras de Baobab.

Los huecos que se generan entre las piezas de bambú permiten una renovación continua del aire interior gracias a la ventilación natural.

La desventaja de esta tipología es la poca durabilidad de la construcción. La falta de estructura y la cimentación empleada no aporta la estabilidad necesaria.

Esta construcción es empleada habitualmente para albergar cocinas y almacenes por la facilidad de ventilación. No cuenta con puertas ni vanos de ventanas, dejando un continuo paso abierto ya que no es concebido como construcción habitable.



Fig 116 : Imagen de construcción circular ejecutada con bambú

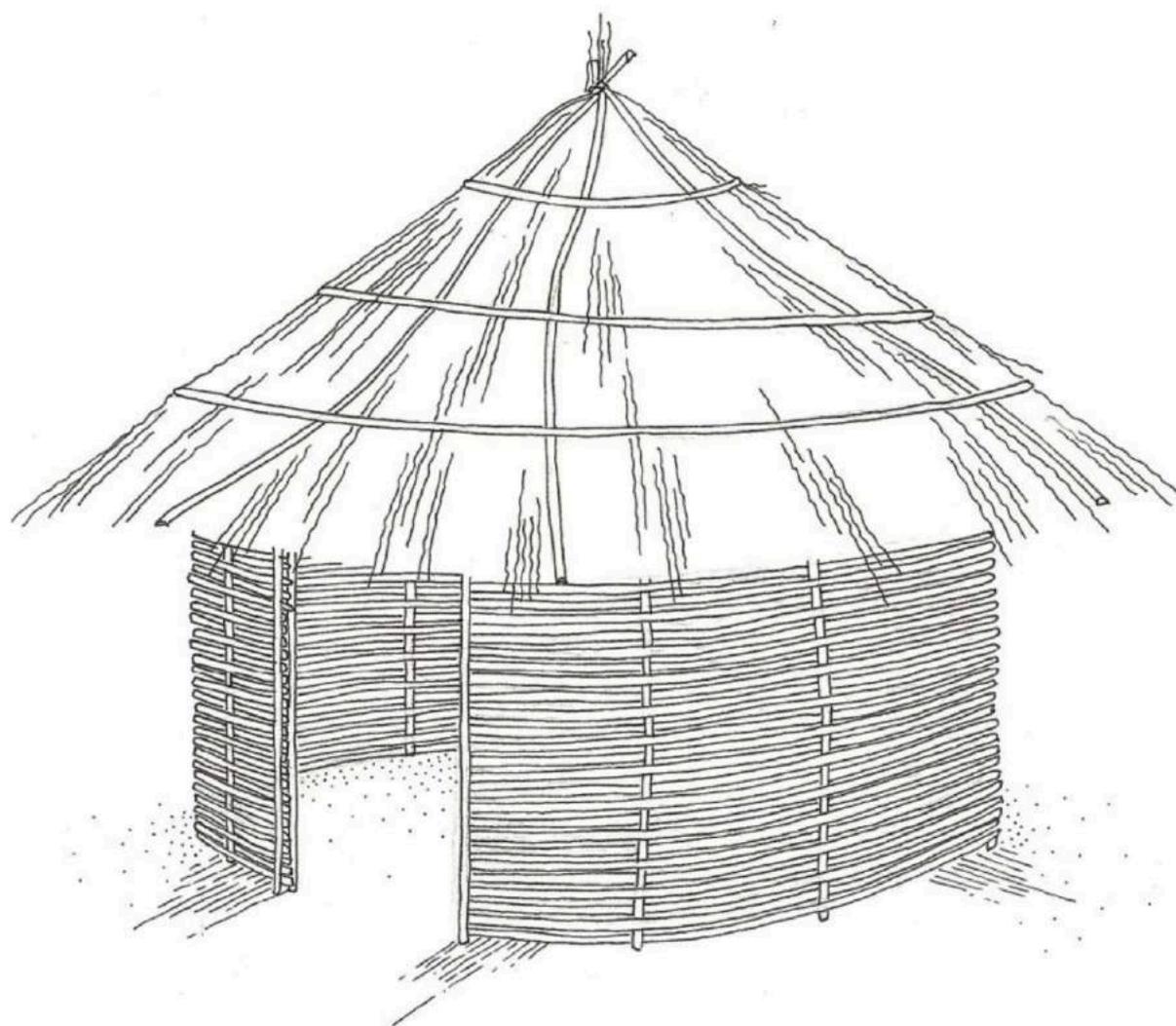


Fig 117 : Dibujo de la tipología de construcción circular ejecutada con bambú

## ∞ ARQUITECTURA VERNACULAR TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Vivienda circular con muro de piedra

Estas construcciones albergan un único recinto de planta circular construido con bambú, paja, madera, piedra, barro, cemento y excrementos.

Los muros, formados de mampostería de piezas de diferentes tamaños unidas por mortero de barro, emergen desde un nivel inferior a la cota del terreno. Esto permite generar una mínima cimentación que le de estabilidad a la estructura.

Los muros se revisten de barro o cemento y no contiene ningún tipo de elemento estructural ya que el muro actúa como un muro de carga que soporta las cargas provenientes de la cubierta.

La cubierta se conforma por madera y cañas de bambú unidas formando la base sobre la que apoyan la capa de acabado de paja compactado a presión. La cubierta puede estar constituida por una estructura de bambú sin llevar madera, lo que le da una mayor ligereza.

En ocasiones el suelo tiene un acabado interior conformado por barro prensado y excrementos de hervívoros desmenuzados y mezclados en estado humedo. Ésto se ejecuta para crear una capa de enlucido interior que permite una mayor durabilidad e impermeabilidad una vez el material seca.

Estas construcciones si que disponen de puertas y carpinterías. Los vanos están conformados por piezas de madera y a través de los mismos se consigue una ventilación y un mayor confort en el interior de la construcción.

Esta tipología de construcción suele utilizarse como vivienda ya que sus dimensiones pueden llegar a ser suficientes como para albergar a varios miembros de una familia. Además sus materiales y técnicas constructivas optimizan la durabilidad y resistencia del conjunto si se pone atención a la búsqueda del confort climático a través de los vanos y se evita la entrada de agua y animales.



Fig 116 : Imagen de construcción circular ejecutada con muro de piedra

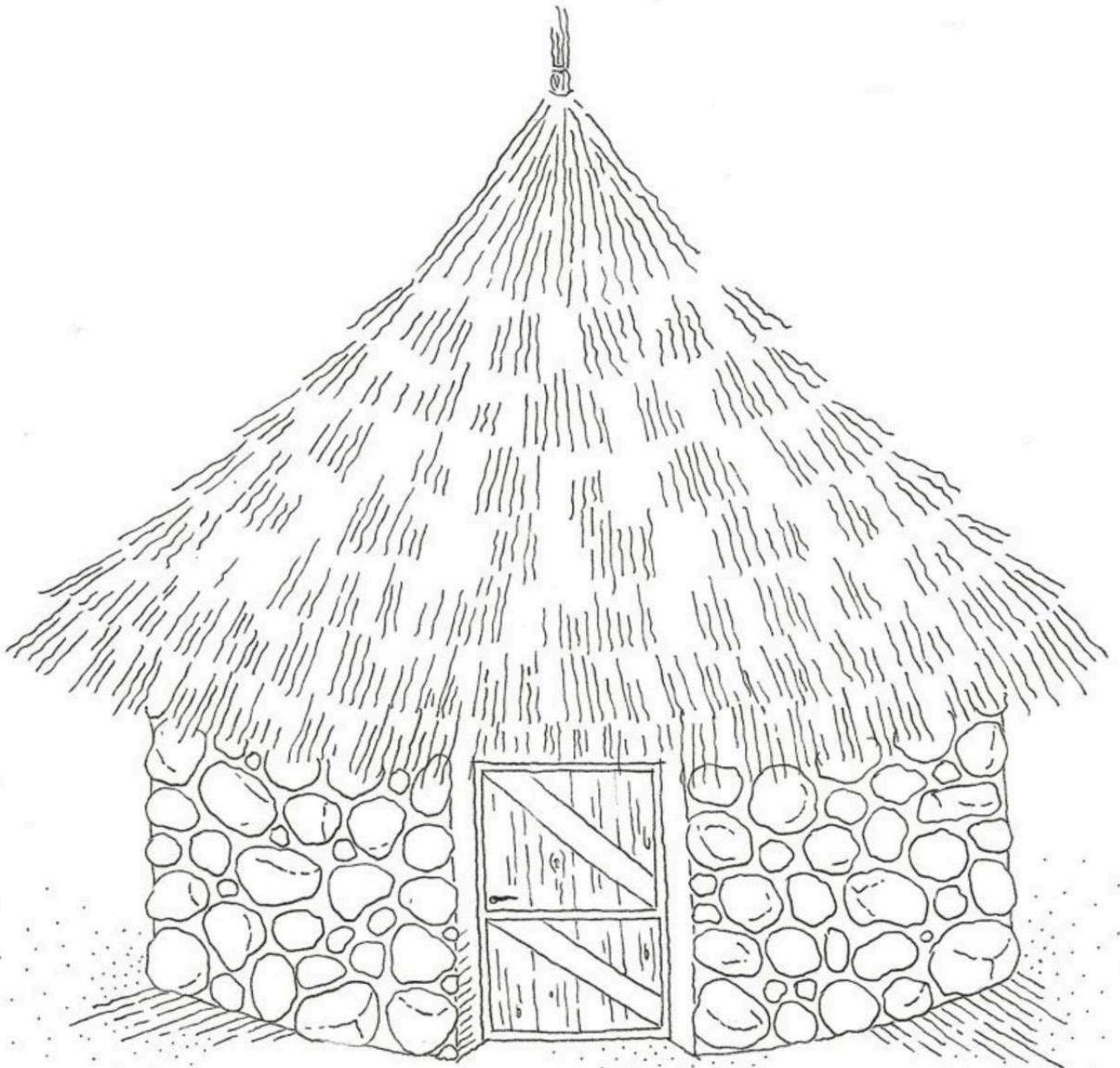


Fig 119 : Dibujo de construcción circular ejecutada con muro de piedra

## 20 ARQUITECTURA VERNACULAR

### TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

#### Vivienda circular con muro mixto

También se trata de una construcción en planta circular pero la principal diferencia reside en la composición mixta de los muros que lo conforman.

Éstos muros están realizados con elementos trenzados de cañas de bambú que forman dos superficies, la interior y la exterior, separadas entre sí por, alrededor de 15 cm. Estas dos superficies funcionan a modo de encofrado del muro. Cada cierta distancia se disponen elementos verticales de madera que componen la estructura principal de la construcción. Los elementos de bambú colocados verticalmente se atan a los horizontales a través de corteza de Barke o se clavan directamente a los mismos.

Una vez obtenida la estructura principal se dispone a rellenar el hueco restante con un compuesto de arcilla, tierra, y en ocasiones arena, hasta la altura deseada, dejando 40-50cm de separación con la cubierta para permitir una óptima ventilación del recinto interior. Este espacio solo se verá interrumpido por las cañas verticales de bambú encargadas de soportar el peso de la cubierta.

La construcción puede tener un acabado exterior basado en excrementos de vaca o cabra.

La estructura de la cubierta también está ejecutada con cañas de bambú de diferentes espesores y medidas. Este conjunto será la base sobre la que apoya el acabado final más ligero de paja. Se encuentran diversos diseños para rematar el acabado de la cubierta. Uno de ellos es la colocación de elementos de caña de bambú de forma longitudinal atados en la parte inferior y superior de la cubierta a través de dos círculos de atado. La otra, más común, consiste en realizar el acabado de paja por capas superpuestas y atadas, con elementos circulares en cada una de ellas.

El uso predominante de la vivienda es el de cocina o almacenes por la buena ventilación conseguida a través del hueco entre el muro y la cubierta. Gracias a la durabilidad de la construcción también puede usarse como vivienda pero los problemas de infiltración de agua a través de los cerramientos son notables.



Fig 120 : Imagen de construcción circular ejecutada con muro mixto



Fig 121 : Dibujo de construcción circular ejecutada con muro mixto

## 2 ARQUITECTURA VERNACULAR TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS Vivienda circular con muro de cob

Ésta tipología de vivienda compuesta por barro, bambú, paja, madera, excrementos y cal viva es una de las construcciones más básicas y antiguas de las estudiadas.

La utilización de la técnica de barro compactado a mano es una de las técnicas más antiguas utilizadas en las construcciones de la zona del Africa Subsahariana. Ésta construcción presenta una facilidad de puesta en obra, además cuenta con la simplicidad de los sistemas constructivos y los materiales, lo que hace que esté al alcance de muchos de los poblados de la región.

El inicio de estas viviendas no albergaba la ocupación de espacio con mobiliario, por lo que el espacio libre que quedaba en el interior tenía una forma circular.

Los muros están compuestos por tierra local y una gran cantidad de arcilla. Los muros se van ejecutando por diferentes capas que van compactándose una tras otra, comenzando desde el nivel del suelo hasta la altura de comienzo de la cubierta.

Las cubiertas pueden construirse de dos formas diversas. Aparece la estructura ligera de caña de bambú sobre la que apoya una estructura secundaria de entramado de piezas de bambú con acabado de paja. Si el muro es suficientemente resistente se dispone de una estructura principal de madera sobre la que apoya la parte ligera de bambú y el acabado de paja.

En ocasiones el suelo tiene un acabado interior conformado por barro prensado y excrementos de hervívoros desmenuzados y mezclados en estado húmedo. Ésto se ejecuta para crear una capa de enlucido interior que permite una mayor durabilidad y e impermeabilidad una vez el material seca.

Los muros también pueden contar con enlucidos de cal viva o excrementos que los protejan y les den resistencia. Las carpinterías se encuentran realizadas por diversos materiales, desde madera, bambú, crentén...

La construcción tiene un carácter de vivienda gracias a la durabilidad y resistencia de los materiales. El único problema se genera en el arranque de los muros pues deben impermeabilizarse para actuar contra posibles humedades por capilaridad.



Fig 122 : Imagen de construcción circular ejecutada con muro de COB

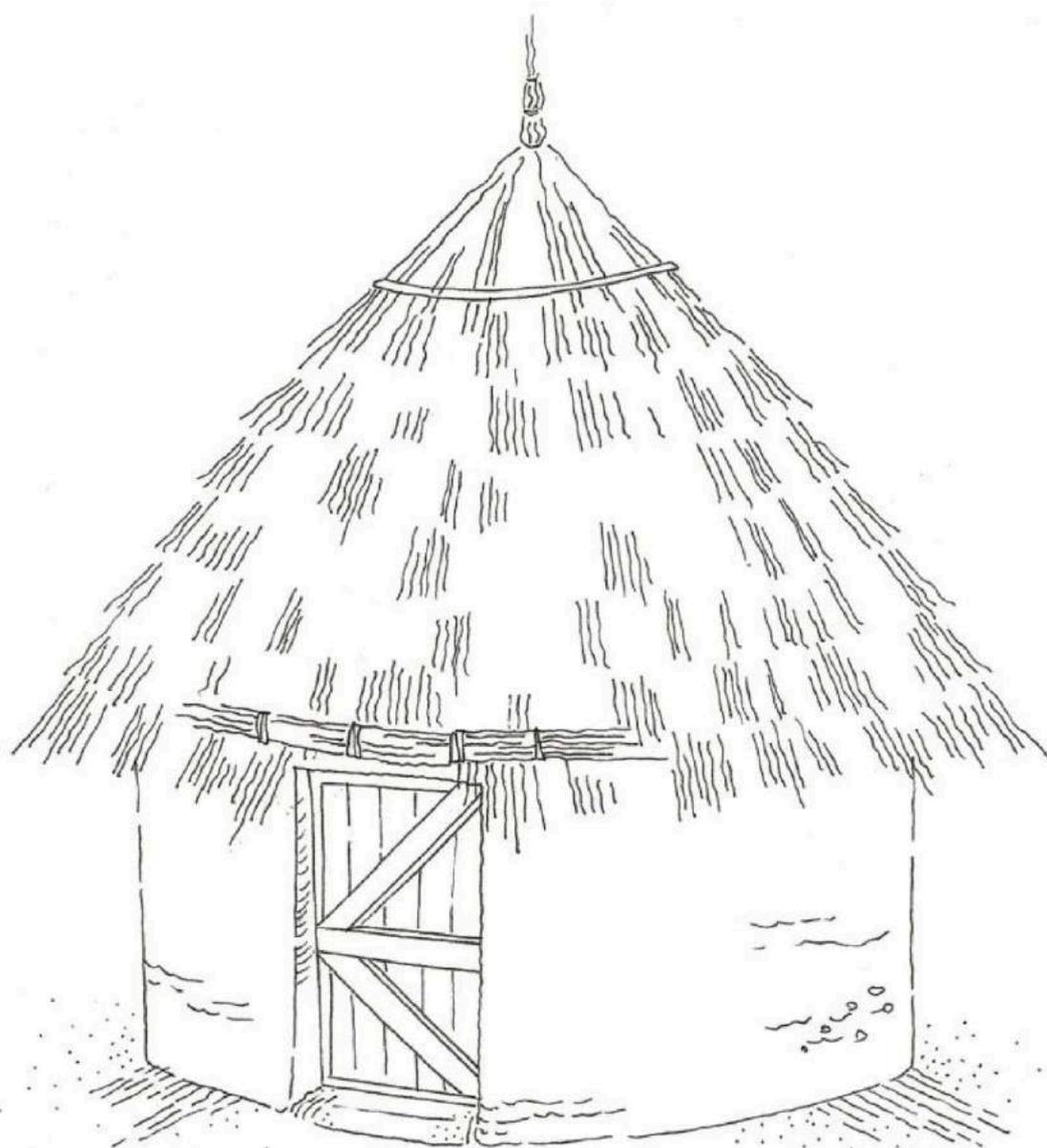


Fig 123 : Dibujo de construcción circular ejecutada con muro de COB

# N ARQUITECTURA VERNACULAR

## TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

### Vivienda circular con pasillo exterior

Estas construcciones se caracterizan por contener un espacio bajo cubierta abierto hacia el exterior.

Los muros que limitan el recinto interior se llevan a cabo con las diferentes técnicas citadas anteriormente. Estos muros deberán tener el espesor suficiente para aguantar la estructura de la cubierta que se dispondrá apoyada sobre ellos con un saliente de entre 50 y 90cm que forman el pasillo o pórtico exterior.

La estructura principal se realiza con elementos verticales de madera repartidos proporcionalmente a lo largo del diámetro de la construcción. Esta estructura va anclada a la tierra y van atados entre ellos mediante acople en seco a lo largo de la estructura.

El pasillo permietral que se crea con la prolongación de la cubierta tiene dos beneficios. El primero es la protección de la parte inferior del muro frente a las humedades por capilaridad en época de precipitaciones. La segunda es la protección del muro interior frente a la radiación solar que incrementa notablemente la temperatura en el interior del recinto debido a la inercia de los materiales del revestimiento.

Se suele utilizar como vivienda, tiene una gran durabilidad y cuenta con sistemas de mejora de filtraciones y regulación térmica, lo que aumenta el confort.

Sin embargo, el uso de una estructura predominante de madera, genera un peligro contra las termitas, por lo que deberá recibir un constante mantenimiento.



Fig 124 : Imagen de construcción circular con pasillo exterior



Fig 125 : Dibujo de construcción circular con pasillo exterior



---

## CASE STUDIES

---

78 CASE STUDY I  
ESCUELA EN GANDO

*“To move forward, people need to be inspired: they need buildings that enhance their creativity and push them to take their future into their own hands”*

## DIÉBÉDÓ FRANCIS KÉRÉ

Diebdó Frncis Keré es uno de los grandes ejemplos de la utilización de una nueva arquitectura basada en las técnicas tradicionales de una comunidad.

El arquitecto nació en un pequeño pueblo llamado Gando situado en Burkina Faso. Burkina es uno de los países con mayores tasas de población en situación de pobreza. Es por ello que la electricidad, el abastecimiento de agua y la escolarización son tres bienes poco habituales entre sus comunidades. Gracias al empeño de su familia por brindarle la oportunidad de poder aprender a leer y escribir Keré abandona su pueblo a la edad de 7 años trasladándose a Tenkodogo, una ciudad de mayor tamaño situada a varios kilómetros de su pueblo natal y su familia. Fue allí donde comenzó su inicio en el aprendizaje.

Más tarde, gracias a una participación de Carl Duisberg Society, el arquitecto se traslada a Alemania, donde completa sus estudios de arquitectura en la universidad de Berlín, en la que se gradúa en 2004.

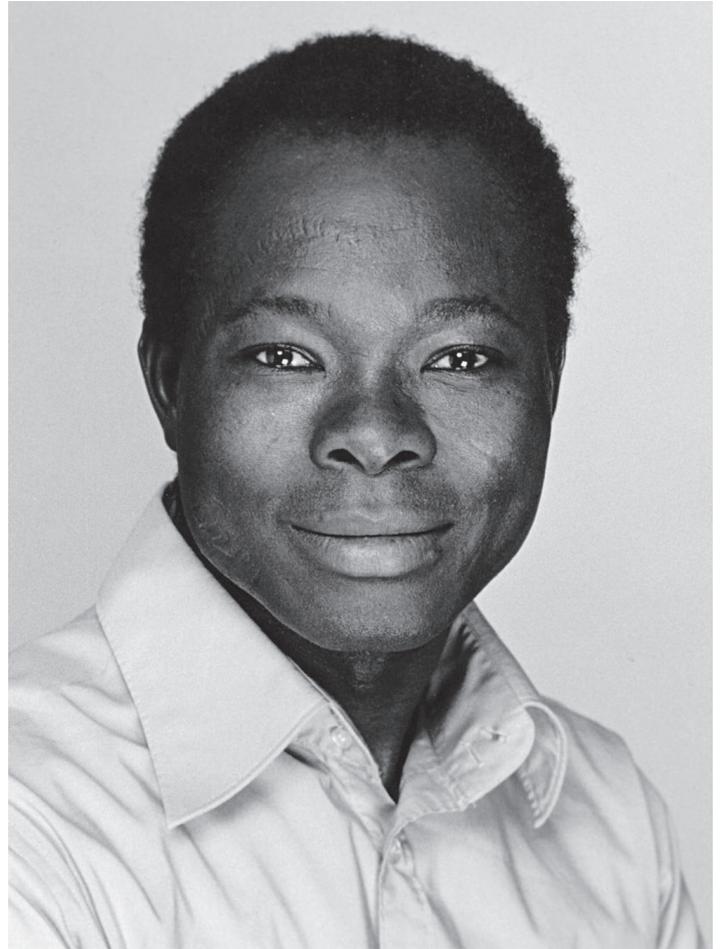


Fig 126 : Imagen de diébédo Francis Kéré

Tras haber concluido sus estudios en Berlín, Keré decide devolver la gran oportunidad que le había brindado su pueblo para crecer en el mundo de la arquitectura. Es por ello que vuelve a su comunidad con la intención de diseñar una escuela en la que los niños puedan encontrar estas oportunidades de aprendizaje.

Una vez que llega a Gando es consciente de que muchas de las técnicas de construcción aprendidas en Europa no son adaptables a su comunidad. El tratamiento vernacular de materiales como la arcilla, el bambú o la paja no son utilizados en Europa. Es por ello que el arquitecto decide aprender de las construcciones tradicionales de su país, adquiriendo dichos conocimientos a través de la comunidad del poblado.

Es así como el arquitecto adquiere los conocimientos de las construcciones tradicionales de Burkina. Principalmente se centra en el tratamiento de la arcilla, la paja, las estructuras de bambú y el uso de materiales locales, dejando de lado la utilización de técnicas de hormigón o el uso de apisonadoras eléctricas.

Esta primera construcción es el ejemplo más claro del trabajo de la comunidad. Los sistemas de acondicionamiento son básicos. La ventilación utilizada es una mera ventilación cruzada que permite la disminución de la temperatura en el interior de la clase. Con este proyecto, el burkinés trata de hacer comprender que con materiales locales como la arcilla, infravalorados por ser materiales de construcción sencillos, se pueden crear espacios que generen grandes oportunidades de crecimiento para una comunidad.



Fig 127 : Imagen de la escuela de Gando

El fin que persigue la escuela es el de alcanzar los máximos valores de viabilidad usando los mínimos recursos disponibles. Es por ello que el material principal de la construcción es la mezcla de arcilla y barro. La arcilla es el material más abundante en la región y forma parte del material más utilizado para construcciones de viviendas. Éste material se dispone en la construcción en forma de ladrillos apilados que dan forma a la escuela y la protegen en gran parte del clima extremo de la zona.

A pesar de ser considerado un material resistente, debe estar protegido contra las lluvias. Para ello se coloca una cubierta de chapa corrugada (muy utilizada en estas regiones) separada del techo de las aulas para evitar un transpaso del calor de la chapa al interior de la escuela. El techo situado bajo la cubierta se encuentra perforado permitiendo la extracción del aire frío a través de las ventanas y la liberación del aire caliente a través de este techo. Gracias a este sistema de ventilación natural se evita la necesidad de incorporar sistemas eléctricos de refrigeración. Además también protege las paredes laterales debido a sus aleros, permitiendo no solo la protección solar de la cubierta sino además la creación de sombras y la protección de los paramentos verticales frente a la lluvia.

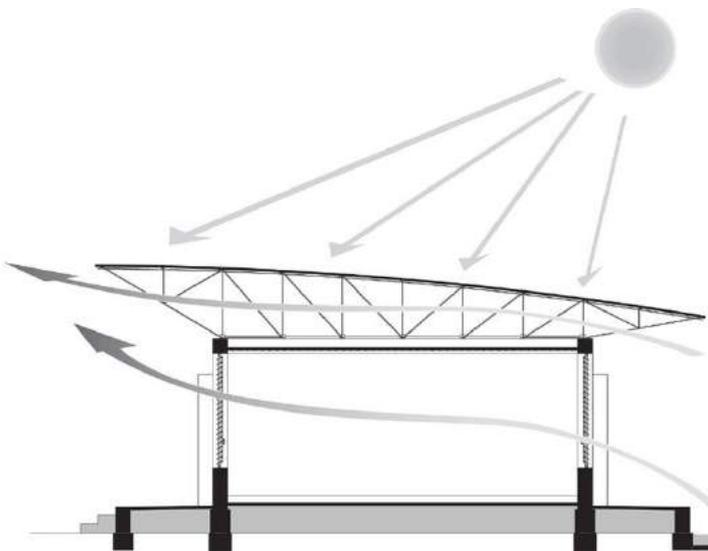


Fig 128 : Esquema del sistema de ventilación e iluminación

Keré incorpora a las técnicas tradicionales parte de los conocimientos adquiridos en sus años de estudio en Berlín. Es así como enseña a la gente de la comunidad algunos conocimientos básicos de la construcción que permitan una enseñanza constructiva a la comunidad para futuras obras locales.

Es gracias a la población que la escuela se transforma en un icono ejemplar de construcción en comunidad. Todos sus habitantes colaboraron en la realización del edificio incorporando a los planos originales los métodos populares utilizados habitualmente.



Fig 129 : Imagen de la cobertura metálica de la cubierta

De esta forma el arquitecto consigue integrar los métodos modernos aprendidos en Europa a las técnicas tradicionales de su pueblo natal consiguiendo una mezcla perfecta entre lo vernacular y la innovación que permite crear algo nuevo y funcional.



Fig 130 : Imagen de la estructura de la cubierta

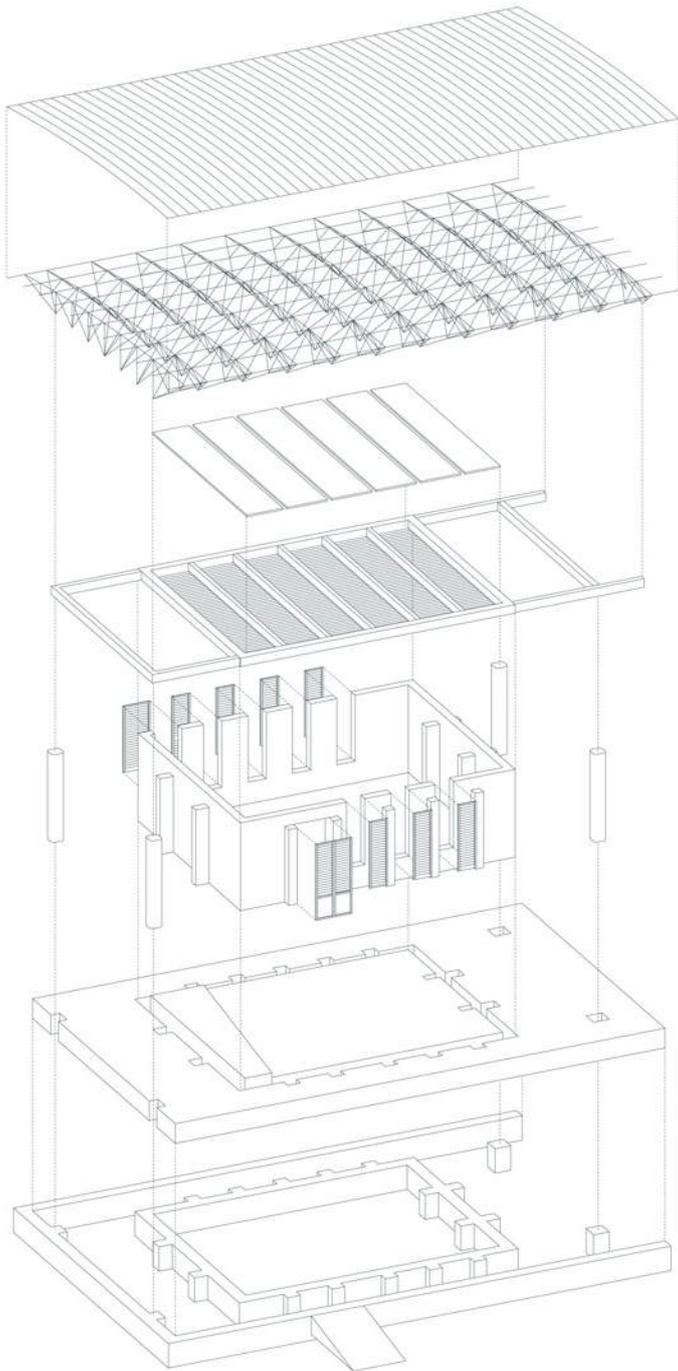


Fig 131 : Esquema de los componentes constructivos

## CUBIERTA

La chapa metálica de 10 cm de espesor que compone la cubierta se encuentra apoyada en el entramado de barras de acero corrugado ancladas a las vigas de hormigón armado que coronan las cuatro paredes de las aulas apoyándose en cada uno de los pilares.

El techo de cada aula se compone de bloques de tierra comprimida que cuelgan de la estructura que une las vigas.

Esta cubierta permite la ventilación a través de la extracción del aire caliente que sube desde las aulas para salir directamente hacia el exterior.

## TABIQUERÍA Y CERRAMIENTOS

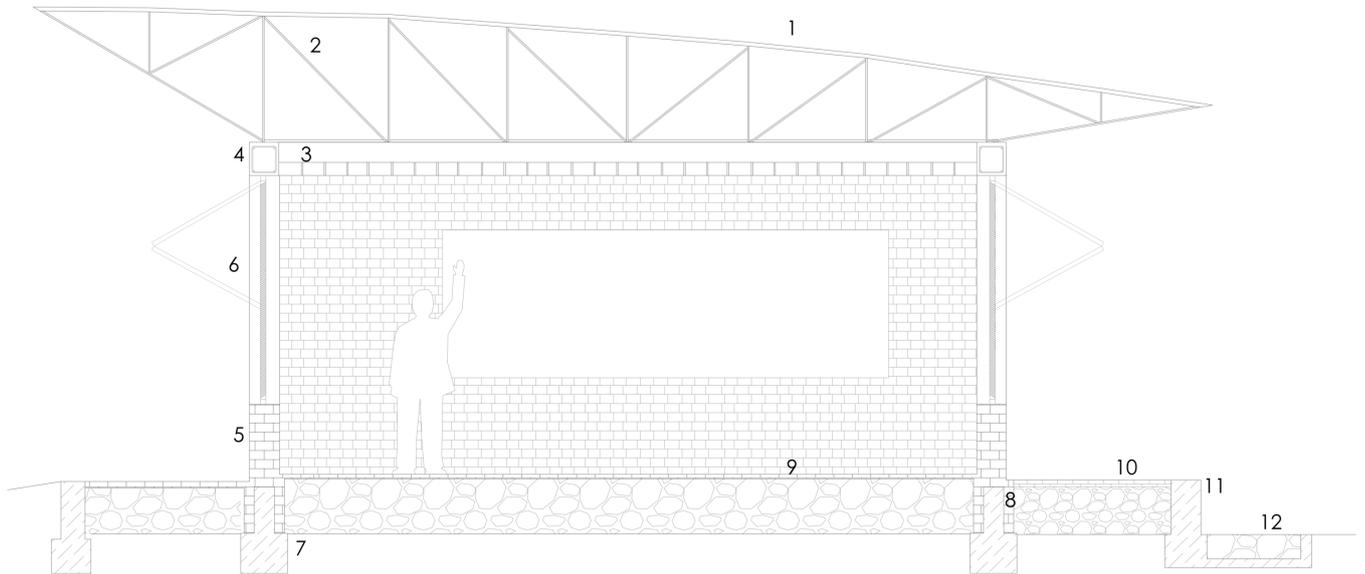
Los muros que limitan las aulas están realizados con bloques de tierra comprimida con un porcentaje mínimo de cemento que sirve como estabilizante. La ejecución de dichos bloques se realiza con tierra del lugar e inmediaciones y se prensa en la misma zona de actuación.

Las ventanas de las aulas están posicionadas estratégicamente para conseguir una óptima ventilación a través de las corrientes de aire, lo que garantiza una mejora del confort térmico.

## CIMENTACIÓN

La cimentación se realiza con una mezcla de hormigón y piedra granítica local. Es una cimentación in situ que evita el ascenso de humedad por capilaridad. El pavimento interior está compuesto de arcilla y grava fina machacada por los niños y las mujeres del poblado hasta conseguir un acabado liso y compacto.

## SECCIÓN TRANSVERSAL 1-100



1. Chapa metálica conformada, 2. Barras de acero corrugado reforzado, 3. Ladrillo cerámico, 4. Viga de coronación de hormigón armado, 5. Bloque de tierra comprimida, 6. Ventana de lamas de madera, 7. Zapata de hormigón, 8. Encofrado perdido de BTC, 9. Suelo de arcilla, 10. Suelo de ladrillo cerámico, 11. Viga de borde de la terraza de hormigón y piedra, 12. Grava del receptor de pluviales.

Fig 132 : Sección transversal de la escuela



Fig 133 : Vista exterior de la escuela

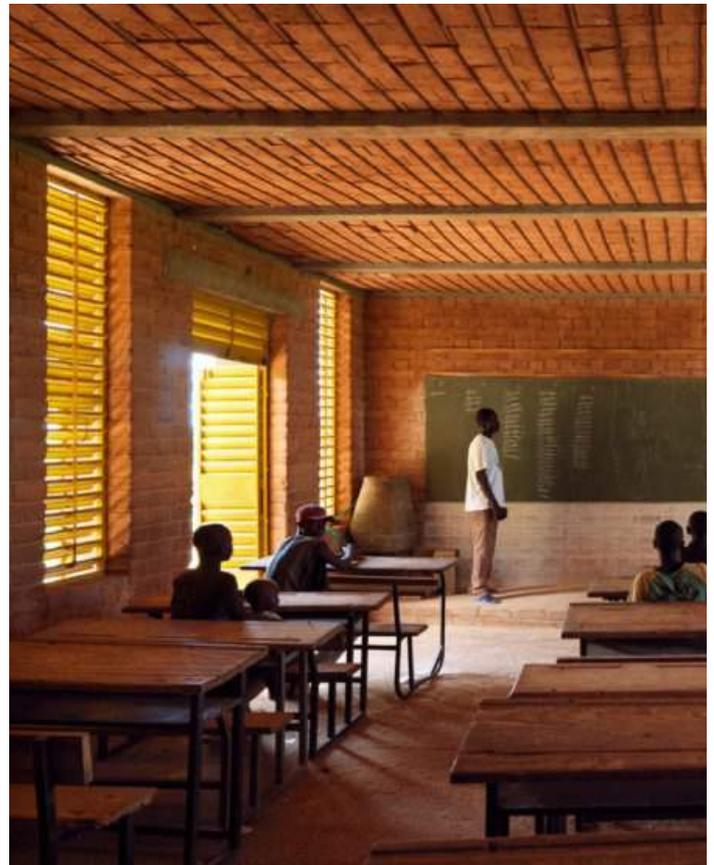


Fig 134 : Vista interior de las aulas

Tras haber realizado las aulas de la escuela se decide hacer una primera fase de ampliación del complejo en la que se incorpora una biblioteca. Ésta biblioteca no está concebida como un lugar exclusivo de la escuela sino que podrá ser utilizada por todos los habitantes del pueblo generando así un lugar de reunión en el que gentes de diversas edades puedan transmitir tradiciones y conocimientos a las generaciones venideras.

Siguiendo con las técnicas de la fase inicial, el edificio está construido por bloques de tierra comprimida, sin embargo, es la forma lo que cambia en éste.

Apase la forma curva en planta creando un recinto de planta elíptica.

El elemento más destacado de la construcción es el techo. Keré utiliza algo tan tradicional como son los jarrones que sirven de instrumento para que las mujeres transporten el agua para darles un uso dentro de la obra.

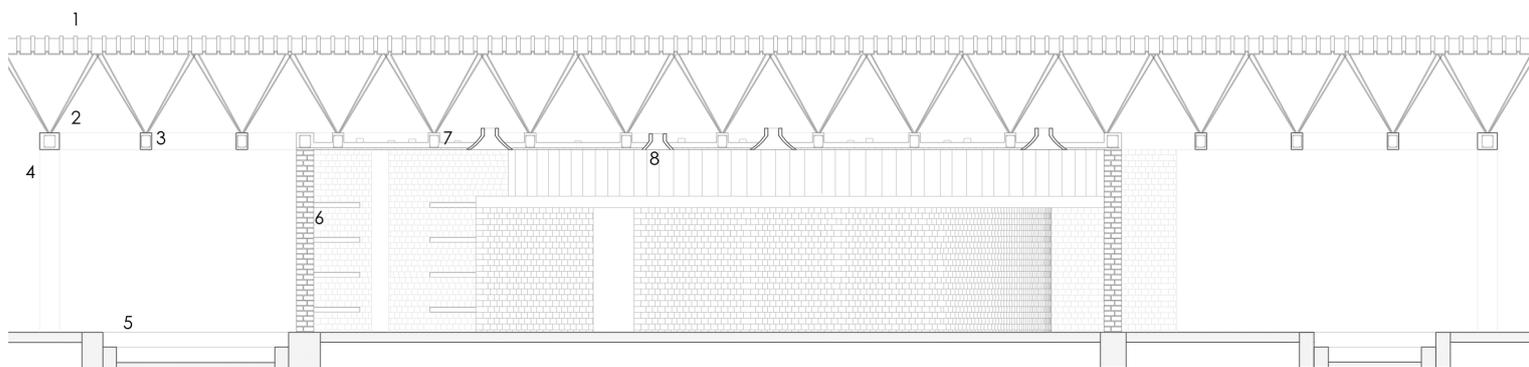
Es así como los jarrones son transportados hasta la obra, donde se les elimina la parte inferior y superior y se colocan entre los mallazos de la cubierta donde posteriormente se vertirá el hormigón. Con este uso de la tecnología local, el arquitecto consigue un acabado interior donde la iluminación puntual de los jarrones se introduce al espacio de la biblioteca con una sensibilidad única.

Continuando con los sistemas de las aulas, sobre el techo del espacio de biblioteca se coloca una red metálica de acero que da soporte a la chapa grecada que se encuentra separada del techo del interior del espacio.

Gracias a esta solución, el aire caliente del interior se eleva, consiguiendo su evacuación a través de los huecos que se generan en el interior de los jarrones.

Hacia el exterior, una envolvente de planta rectangular se fusiona con la elipse de la biblioteca. Esta zona está revestida con un acabado de postes de eucalipto de un reducido espesor. El eucalipto es un material local de burkina que proporciona a la población una multitud de funciones.

A la fachada se le añaden elementos como bancos gracias a los cuales se crea una vez más esta facilidad de intercambio cultural a través de la congregación de la gente en un espacio agradable y pensado para la población local de Gando.



1. Cubierta metálica de chapa conformada, 2. Barras de acero corrugado reforzado, 3. Vigas de hormigón armado, 4. Pilar de hormigón, 5. Viga de borde de hormigón armado, 6. Pared de bloques de tierra comprimida, 7. Techo de hormigón armado, 8. Vasija cerámica.

Fig 135 : Sección longitudinal de la bibliotec

## LA CUBIERTA

La cubierta se ejecuta colocando el encofrado de madera sobre el cual se apoyan todos los armados de lo que configurará la losa de la cubierta.

Una vez establecidos los armados de vigas y pilares se colocan los elementos cerámicos de los jarrones ejecutados por las mujeres del poblado.



Fig 136 : Imagen de la construcción de la biblioteca



Fig 137 : Imagen de la construcción de la cubierta

Con toda la estructura de la cubierta preparada se dispone a verter el hormigón de forma manual.



Fig 138 : Imagen de la ejecución de la cubierta

Con el hormigón vertido en pilares y vigas, se colocan los anclajes que recibirán a la estructura metálica de la cubierta



Fig 139 : Imagen de la cubierta



Fig 140 : Imagen de la cubierta en detalle

Como resultado, el arquitecto Burkinés, consigue, a través del uso de técnicas tradicionales y materiales locales de las mujeres del lugar, crear un ambiente amable en el interior de la biblioteca a la vez que genera un sistema de ventilación que facilita la mejora del confort climático.



Fig 141 : Imagen del interior del espacio de biblioteca

Esta última fase se hace con la finalidad de atraer a maestros a las zonas rurales, en especial al complejo de esta escuela.

Para la realización de estas viviendas, Keré se basa en las viviendas de planta circular de escasas dimensiones que se pueden encontrar a los alrededores del poblado.

La ampliación se sitúa hacia la parte sur del complejo escolar formando un arco entre todas ellas. La construcción consta de módulos fácilmente combinables posibilitando la unión entre ellos gracias a la sencillez del diseño.

Las cubiertas de las viviendas adoptan la forma de bóvedas de cañón construidas con bloques de tierra estabilizada.

Ésta técnica constructiva fue enseñada a los haitianos del poblado ya que no era conocida en la zona. Por lo tanto, a partir de la aplicación de materiales tradicionales se consiguió realizar una construcción innovativa en la región que proporcionaba ventajas climáticas desconocidas en el lugar hasta el momento.

La cimentación, al igual que las anteriores, está realizada con una mezcla de hormigón y piedras de granito. Esta cimentación se eleva hasta enlazar con el muro de adobe de 40 cm de espesor.

Coronando las paredes, una viga de hormigón armado une las cos cuatro costados de la vivienda soportando las cargas que vienen del forjado de cada uno de los módulos.

La cubierta se realiza con hormigón armado ejecutada in situ sobre un encofrado.

Las alturas de las cubiertas son de 1m y 1,5. Ésto permite que entre la unión de varios volúmenes quede una abertura que permite ventilar e iluminar el interior.

Las cubiertas vuelven a ser chapa gracada con grandes voladizos que protegen, a parte de los techos, los laterales de las viviendas.

Los acabados exteriores se decidieron realizar con betún ya que la aplicación de los materiales orgánicos tradicionales conllevaban la atracción de termi-  
tas.



Fig 142 : Imagen de la ampliación de las viviendas de los maestros



∞ CASE STUDY II  
HAGAMOS ESCUELA

*“La arquitectura la construye el lugar, la construye el contacto con una cultura y una sociedad diferente a la nuestra. Es en la simbiosis, en el encuentro entre cultura y conocimiento, donde radica la creatividad del proyecto.”*

## FOUNDARTION

Foundawtion es una organización sin ánimo de lucro que se crea con el objetivo de impulsar y construir proyectos de cooperación internacional que sean capaces de dar respuesta a diversas necesidades creadas a partir de problemas reales de comunidades y núcleos urbanos.

David García y Tarek Al Masri, son los fundadores de la organización, que junto a Aina Tugores, Luis García, Luis Morón y Carmen Revilla, completan el equipo de trabajo.

Gracias a la colaboración y aportación de centenares de colectivos e individuales han podido llevar a cabo el proyecto. Actualmente se encuentra en la última fase para la cual se está tratando de completar financiación para concluirla en 2018.



Fig 143 : Imagen del equipo de Foundawtion

El proyecto se desarrolla en un solar de 2 hectáreas de dimensión situado a escasos kilómetros del río Casamance, en el sur de Thionck-Essyl, ciudad del sudoeste de Senegal.

El complejo trata de adaptarse a las necesidades económicas y sociales encontradas en la región generando una solución basada en las condiciones climáticas que aportan sistemas constructivos sostenibles.

Para conseguir un resultado óptimo del proyecto, el objetivo principal es concienciar a la población del potencial local con el que cuenta, tanto constructivo y cultural como de materiales y sistemas tradicionales de ejecución.

El programa que engloba el proyecto incorpora los principios de un diseño que garantiza el confort climático y la construcción de bajo coste, que se consigue incorporando en la mayor medida los materiales y sistemas locales que reduzcan notablemente los costes de transporte y ejecución.

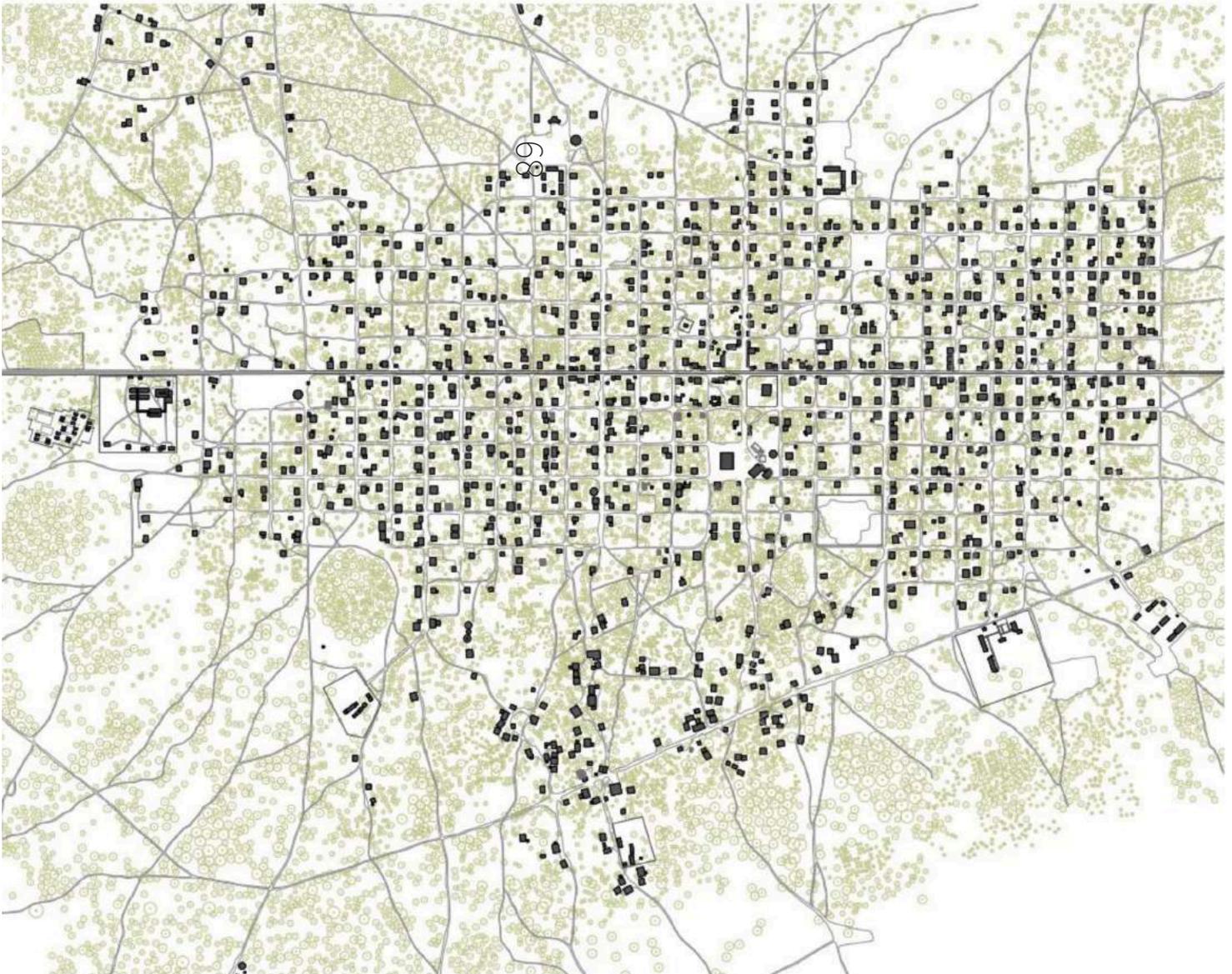


Fig 144 : Plano urbano de la ciudad de Thionck-Essyl

Las construcciones se realizan como un sistema prolongado en el tiempo en base a las necesidades creadas en la región. Los volúmenes se van adaptando en forma de retícula permitiendo la creación de nuevas aulas que den una mayor dimensión al complejo.

Los arboles (baobabs y mangos), como valor natural de la zona, organizan los espacios de la red. A partir de estos, se determinan los patios que dan unión a cada uno de los 16 volúmenes escolares generando los espacios escolares donde se desarrollan actividades exteriores de cada curso. Este tipo de ordenación en módulos sigue el esquema de las distribuciones urbanas de la ciudad en la que los espacios libres configuran los espacios de reunión cotidiana de las actividades familiares.

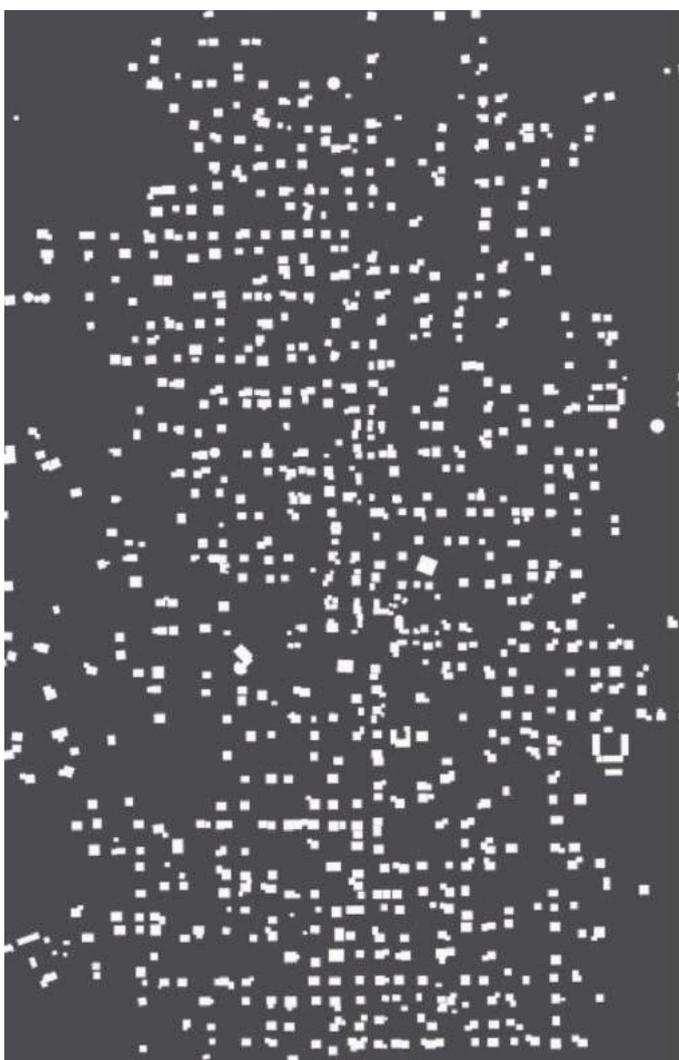
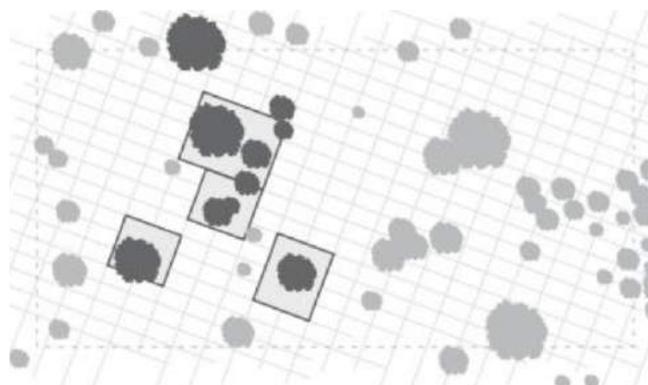
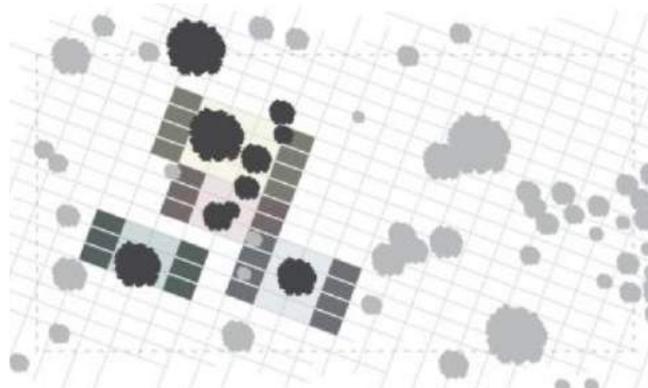


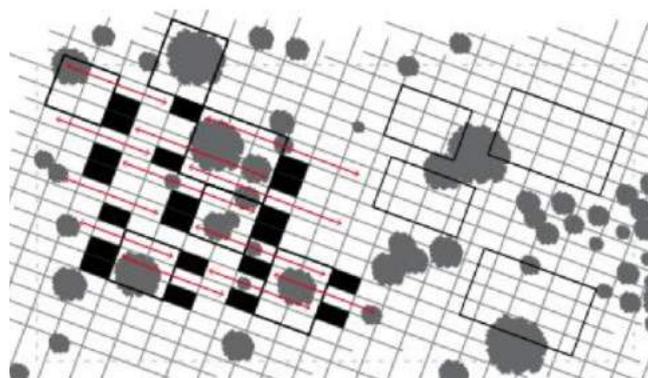
Fig 145 : Esquema figurativo del plano urbano



Creación de una retícula con orientación norte-sur de 6x10 metros con indicación de arboles y plazas.



Relación del programa de los volúmenes y las plazas generando como resultado final una plaza por cada agrupación de volúmenes curso.



Relación transversal de espacios. Posibles recorridos

Fig 146 : Esquemas de la composición de la construcción



Fig 147 : Plano distributivo

Los espacios que ocupan cada una de las aulas son espacios de forma abovedada. El diseño de los volúmenes viene influenciado por la bóveda catalana. La forma que genera la catenaria invertida de gaudí crea un concepto acorde con algunas de las construcciones en barro encontradas a lo largo de los poblados de la zona. Esto genera una sensibilidad con el entorno en el que se sitúa la escuela adaptándose al fondo tradicional de la región dotando a la construcción de un sentimiento de propiedad a través de la curva.

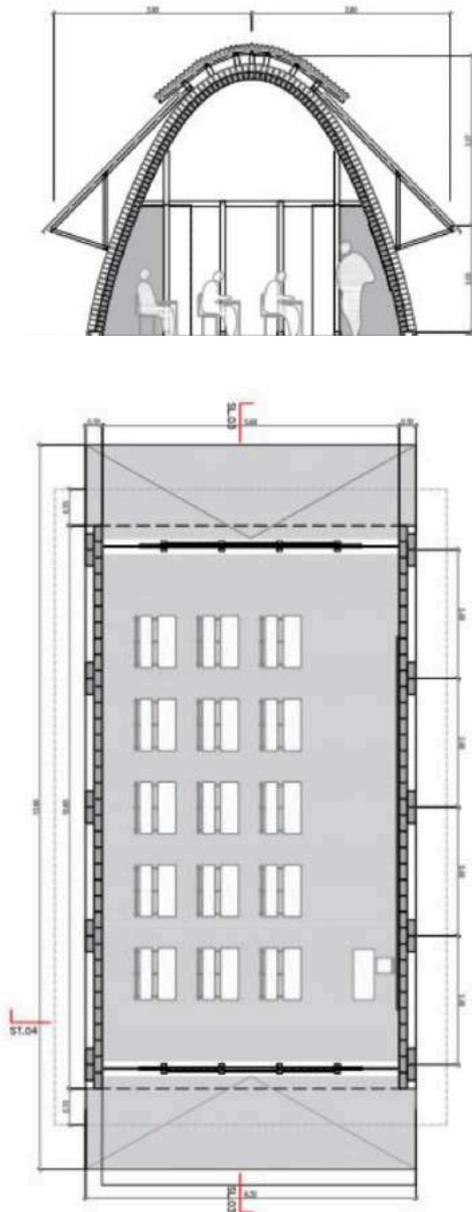


Fig 148 : Planta y sección del aula

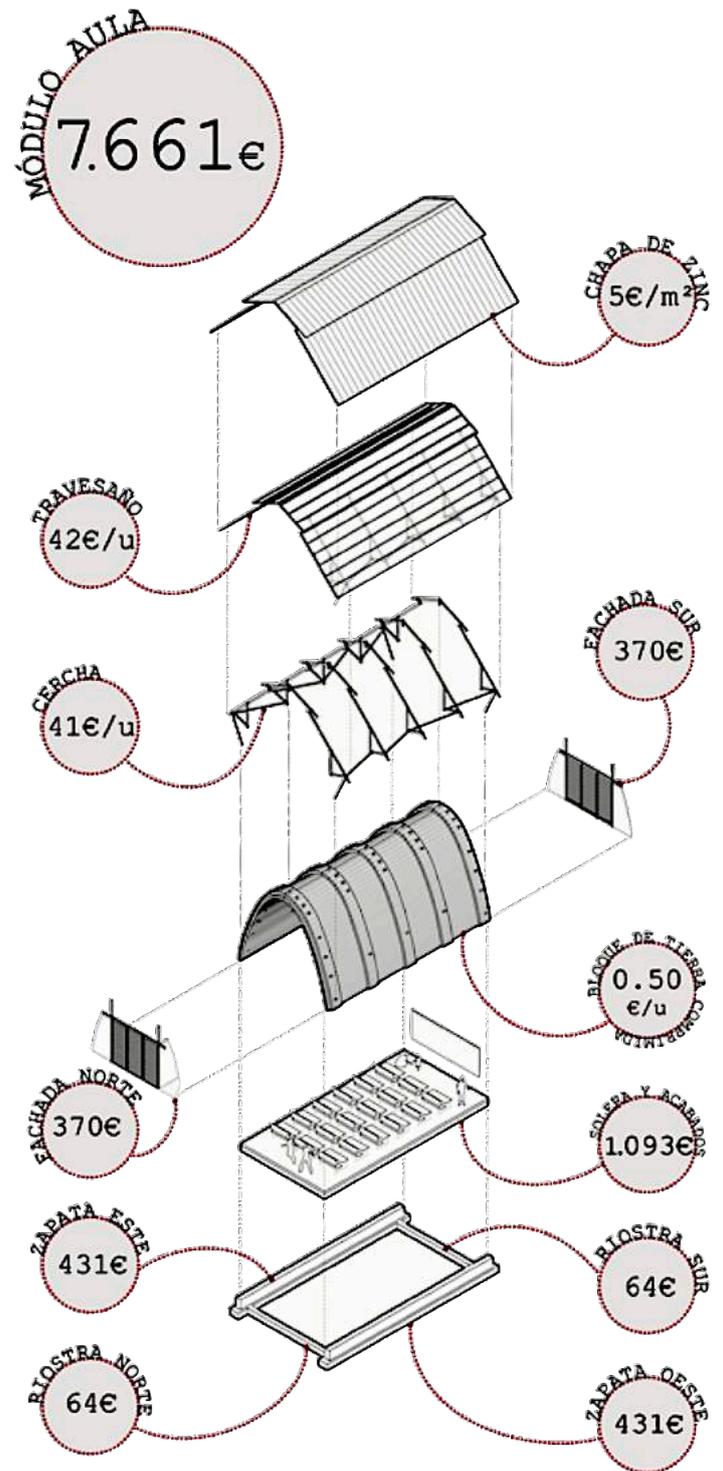


Fig 149 : Esquema de los componentes constructivos

## SISTEMA CONSTRUCTIVO

La bóveda está construida con bloques de tierra comprimida obtenida de la zona elaborando dichos bloques en el mismo recinto de la obra o en las inmediaciones. Los bloques de tierra cunetan con un 7% de cemento que actúa como material estabilizante, lo que le facilita una mayor estabilidad y resistencia.



Fig 150 : Extracción de tierra para posterior manipulación



Fig 151 : Bloques de tierra compactada

La construcción con técnica BTC proporciona elementos con una mayor resistencia a compresión. Es por esto, que la forma de los volúmenes es la bóveda, un elemento que funciona con sistemas estructurales básicos capaces de dar respuesta a los requerimientos del proyecto.

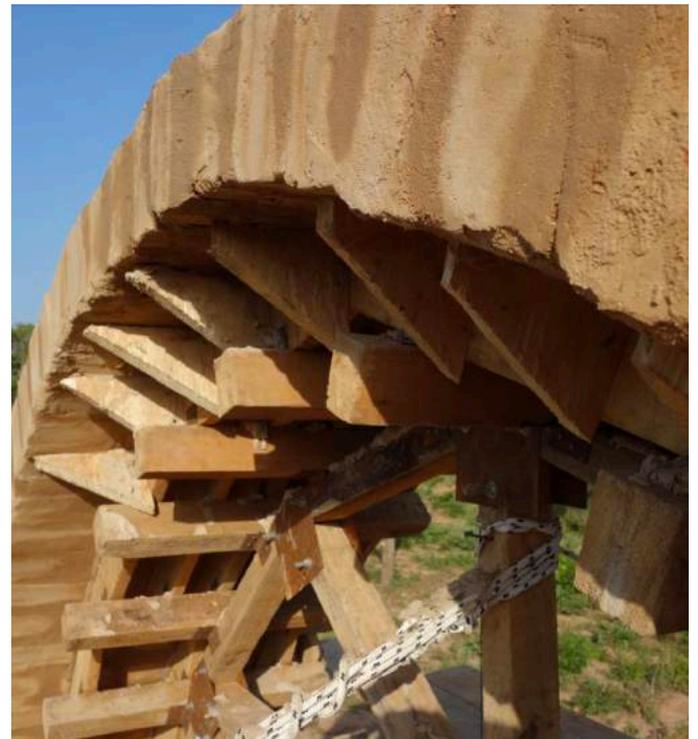


Fig 152 : Bloques colocados sobre la cimbra

La porosidad con la que cuentan los bloques de tierra compactada facilitan que en el interior de las aulas se produzca lo que se conoce como 'efecto botijo', esto facilita un aumento en los valores de confort climático sin tener la necesidad de recurrir a sistemas mecánicos capaces de refrigerar el interior de las aulas.

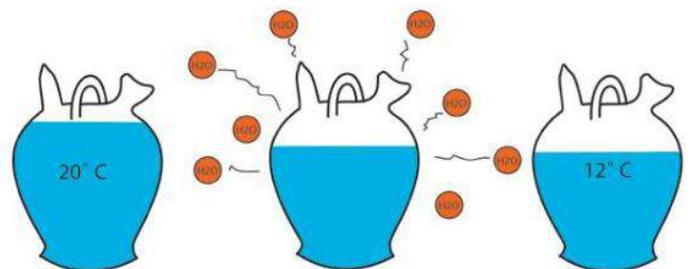


Fig 153 : Funcionamiento del efecto botijo

## LA CIMBRA

Para hacer posible la construcción de la bóveda se realizaron varias cimbras de madera. La madera local funcionó como elemento de construcción de dichas cimbras, para las que se necesitó la colaboración de la población local.

Se ejecutan cuatro piezas planas que darán la forma de catenaria a la futura construcción.



Fig 154 : Ejecución de la cimbra

Una vez ejecutadas las cuatro piezas, se le da espesor uniéndola con piezas transversales y diagonales que proporcionen estabilidad a toda la estructura. Una vez realizada la cimbra, se levanta y estabiliza.



Fig 155 : Finalización de la cimbra

Sobre este modelo se van colocando los bloques de tierra comprimida. Una vez concluida la forma constructiva se retira la cimbra dejando como resultado una bóveda de 6 metros tanto de altura como de anchura y 10 de profundidad.



Fig 156 : Elevación de la cimbra



Fig 157 : Construcción del aula sobre la cimbra



Fig 158 : Movimiento de cimbra

## ACABADOS INTERIORES

Respecto al pavimento, se reutilizan las piezas cerámicas resultado de escombros encontrados en los alrededores de la zona de actuación.

Las fachadas de cada aula son celosías de madera, lo que permite una iluminación y una renovación del aire a través de las aperturas generadas en las mismas. La orientación Norte-Sur es muy importante, gracias a esta orientación se aprovecha la ventilación natural en el interior de las aulas y a la vez se elimina el deslumbramiento.



Fig 159 : Interior de las aulas



Fig 160 : Ejecución de acabados interiores



Fig 161 : Imagen exterior del aula

## CUBIERTA

Ya que la tierra comprimida no es un material del todo impermeable, se debe buscar un sistema que proteja las aulas frente a las precipitaciones. El equipo de arquitectos optó por incorporar un sistema basado en la paja para solventar la cubierta, pero éste sistema conllevaba un mantenimiento muy exhaustivo, lo que complica la durabilidad de la construcción.

Como solución, se opta por incorporar una chapa grecada separada de la estructura de la bóveda evitando sobrecalentamientos en el interior y permitiendo una completa impermeabilización del volumen.

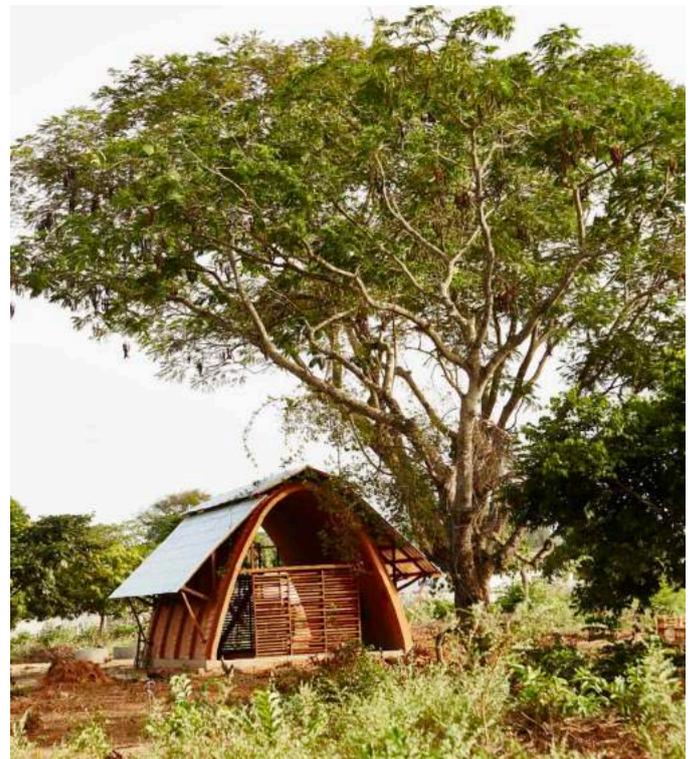


Fig 162 : Imagen final del aula

Uniendo materias primas locales, métodos constructivos vernáculos, y técnicas constructivas actuales se puede crear una arquitectura eficiente y sostenible capaz de dar respuesta a las necesidades demandadas por una región con dificultades económicas y sociales.

La agrupación de volúmenes catenarios crea un complejo de carácter esbelto y compacto centrandose su construcción en la calidad y funcionalidad del recinto que se proyecta.

Espacialmente, la organización global del espacio favorece la comunicación entre los diversos patios que organizan los cursos. Esto promueve la creación de una comunidad en la que se ponen los valores de comunicación, aprendizaje, dialogo y comunidad como pilares sobre los que sustentar un posible desarrollo comunal futuro capaz de seguir creciendo por si mismo.



Fig 163 : Secciones del recinto

∞ CASE STUDY III  
CENTRO CULTURAL THREAD

*“We learned the importance of including local material, practice, technique and way of life into the project of contemporary architecture. It provides a cultural and social extension and continuity of the community’s daily life and produces an impact without imposition.”*

## TOSHIKO MORI

Toshiko Mori nació en 1951 en Japón, pocos años después se traslada a EE.UU. para realizar allí sus estudios, que termina en la Escuela de Arte en el año 1971 y en la escuela de Arquitectura de la Universidad Cooper Union en 1976.

Es fundadora y directora de Toshiko Mori Architect y de VisionArc.

Durante los últimos años ha combinado su carrera académica con el diseño de centros en asociaciones no lucrativas, siendo su obra más destacada el centro de residencia para artistas de Senegal realizado en 2015.

Su labor se ha caracterizado por su sensibilidad hacia el contexto histórico donde actúa, las estrategias de sostenibilidad, y el uso innovador de materiales, produciendo una integración creativa de diseño y tecnología.

Una vez más nos encontramos con una figura de arquitectura involucrada por la tradición y las construcciones populares realizadas con materiales locales.



Fig 164 : Imagen de Toshiko Mori

En el año 2011 la arquitecta japonesa Toshiko Mori diseña un espacio destinado al intercambio cultural en el pueblo senegalés de Sinthian. Este espacio se destina a albergar una residencia de artistas promovida por la fundación de Josef y Anni Albers.

El rasgo más destacable de la construcción es la extrema simplicidad y sencillez de las técnicas utilizadas para su ejecución, capaces de crear un espacio único lleno de belleza y funcionalidad.

El espacio se crea con dos objetivos, uno de ellos es albergar y posibilitar un alojamiento a los artistas locales. A su vez está construido con el fin de dotar a la ciudad de un espacio en el que la gente innove, cree y participe a través del arte. Sin embargo ha conseguido llegar a ser un punto de reunión y encuentro en el que no solo se crea, sino que también se educa y se une a las personas.

Una vez más se habla de materiales de bajo coste y mano de obra local. La estrategia utilizada se desarrolla a través de un aprovechamiento total de los elementos locales. De esta forma, en la ejecución del edificio solo han intervenido albañiles y constructores locales empleando fibras vegetales como son el bambú y la paja colaborando con materiales petreos como el barro y la arcilla. El acabado del pavimento está conformado por restos de terrazo integrados en una capa de cemento vertido.

La arquitecta tuvo mucho cuidado en usar la arquitectura vernacular senegalesa. La actuación se genera a través de un pequeño cambio de las técnicas vernaculares dotando al espacio de una geometría particular gracias a los bloques de tierra que conforman los muros y dan apoyo a la cubierta, mucho más ligera que otras que suelen verse en la zona.



Fig 165 : Imagen del centro cultural thread

<b>Artist Residence #1</b>	Square Feet	Square Meters
Kitchen	200	18
Bedroom/ Closet	325	30
Bathroom	115	10
Living area	180	16
	<b>820</b>	<b>74</b>
<b>Artist Residence #2</b>	Square Feet	Square Meters
Kitchen	200	18
Bedroom/ Closet	325	30
Bathroom	115	10
Living area	180	16
	<b>820</b>	<b>74</b>
<b>Flex Area #1</b>		
Break out space	770	30
Shared Studio	685	55
	<b>1455</b>	<b>135</b>
<b>Flex Area #2</b>		
Break out space	770	30
Shared Studio	685	55
	<b>1455</b>	<b>135</b>
<b>Gathering Area</b>		
Exhibition/ Display	4000	370
Interior Courtyard	2,735	254
<b>Total Area</b>	<b>11,285 sq ft</b>	<b>1048 sq m</b>

La parcela en la que está situada el complejo es de planta rectangular. Sobre la misma se implanta una placa de cemento vertido sobre la que se elevan muros de bloques de tierra y pilares. Los muros conforman las estancias de los residentes, que cuentan con pequeñas cavidades para posibilitar su ventilación. Los muros y pilares distribuidos a lo largo de la planta se encuentran unidos por la estructura de vigas que darán cobertura a la cubierta, elemento más característico de la construcción.

El programa es bastante simple. Está compuesto por un espacio central abierto y dos estancias para artistas en sus extremos. Todo esto se encuentra bajo la cubierta ondulada que organiza los dos espacios centrales de reunión. Estas aperturas funcionan como los impluvium de las casas de la región de Casamance.

El edificio se completa con tres construcciones de menor escala que proporcionan el alojamiento del director y resto del equipo.

El proyecto estaba pensado con la finalidad de conseguir un espacio en el que la comunidad pudiese desarrollar diferentes actividades artísticas de forma simultánea. De esta forma se permite a los habitantes de la región descubrir y desarrollar nuevos aspectos creativos en un espacio diseñado para ello.

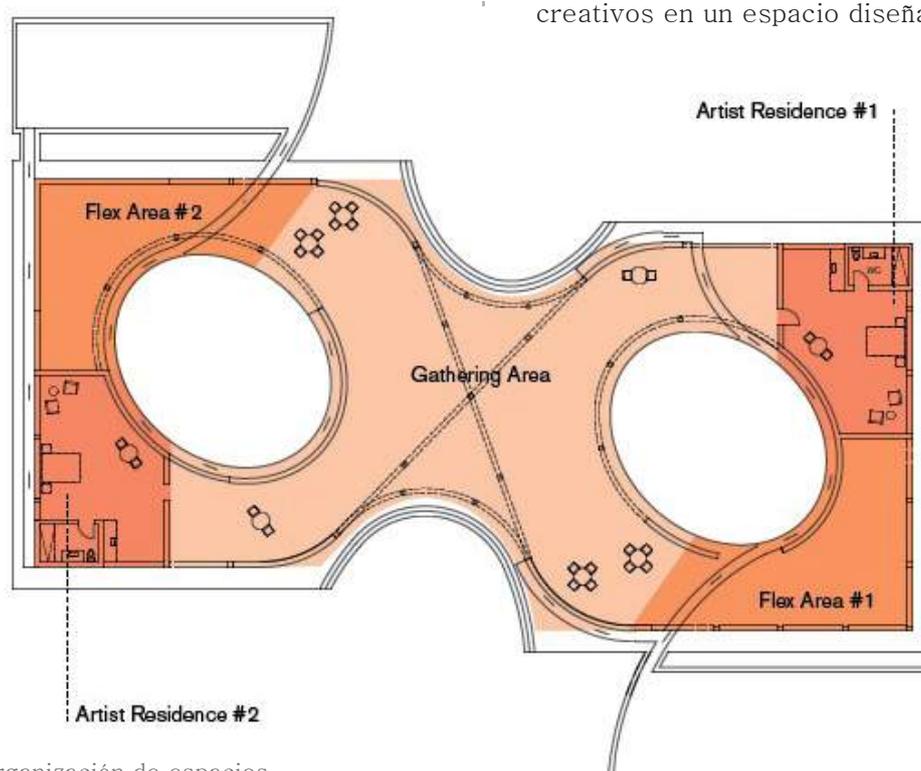


Fig 166 : Plano de organización de espacios

CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA

La estructura emerge de las cimentaciones de cemento a modo de zapata corrida que se ejecutan de forma perimetral en la zona de actuación.

De esta cimentación se comienza a construir los muros ejecutados con bloques de tierra comprimida y los pilares de cemento sobre los que apoyarán las vigas que recibirán las cargas de la cubierta.

Los bloques de tierra comprimida se ejecutan con tierra de los solares contiguos con la ayuda de los habitantes del poblado y se unen entre ellos con mortero.



Fig 167 : Imagen del patio del centro cultural Thread

Lo característico de los muros que componen el edificio es el ritmo marcado por las perforaciones que posibilitan una estética de relieve continuo y a la vez una ventilación efectiva.

La estructura es cambiante y abstracta en toda la construcción. De este modo, la altura de cada uno de los pilares y muros se amolda a la forma dotada por la cubierta. Todas las superficies verticales muros, tabiques y columnas cuentan con un acabado de enlucido y pintura blanca.



Fig 168 : Imagen de la ejecución de muros



Fig 169 : Detalle de los diseños de acabados interiores

ACABADOS

Elementos como puertas y aperturas en muros contienen diseños que recuerdan a los establecidos por los diseñadores Joseph y Anni Albers.

El acabado de los suelos se ejecuta con la incrustación, sobre una capa de cemento, de trozos de cerámica de baldosas rotas blancas sacadas de los desechos de una fabrica cerámica de la región.



Fig 170 : Interior de las habitaciones para artistas

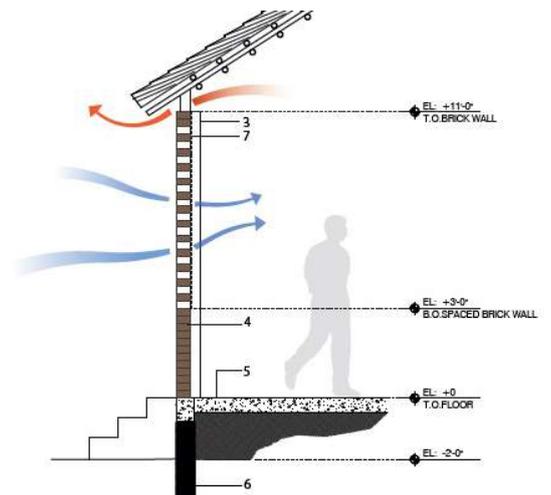


Fig 171 : Sección explicativa del sistema de ventilación

## CUBIERTA

La cubierta es la parte más destacada del proyecto. Para poder adaptarse a los dos grandes patios elípticos contenidos en el proyecto, la arquitecta utiliza las técnicas constructivas locales y las modifica posibilitando esta forma de 8 que le da el carácter distintivo al proyecto. De esta forma, la arquitecta japonesa decide proyectar este elemento basándose en el entramado de cañas de bambú y acabado de paja.



Fig 172 : Vista superior del centro

La estructura de la cubierta viene recibida por unos elementos de acero. Esta está formada por tres capas de bambú. Toshiko incorpora conocimientos de técnicas constructivas con bambú japonesas modificando y mejorando el comportamiento de las construcciones usadas en el lugar.



Fig 173 : Ejecución de la cubierta



Fig 174 : Ejecución del acabado en paja de la cubierta

La estructura principal de la cubierta está compuesta por un entramado de cañas de bambú que generan esa forma ondulada sobre la cual se apoyan diversas capas de paja que permiten una impermeabilización al interior del recinto.



Fig 175 : Vista interior de la cubierta

De este modo la cubierta posibilita la desviación del agua hasta los aljibes establecidos en los dos extremos del complejo.



Fig 176 : Detalle de la cubierta



Fig 177 : Ejecución de los canales



Fig 178 : Acabado de los canales



Fig 179 : Construcción del aljibe



Fig 180 : Imagen de uno de los dos aljibes

La captación del agua y su almacenamiento es uno de los puntos principales del proyecto. El clima ecuatorial que tiene Senegal genera una continua escasez del recurso hídrico. La cubierta está resultando geométricamente para facilitar la evacuación del agua hacia los dos patios, donde ésta se recoge y conduce hasta llegar a dos depósitos sobre los cuales los habitantes pueden recoger diariamente agua para abastecerse.

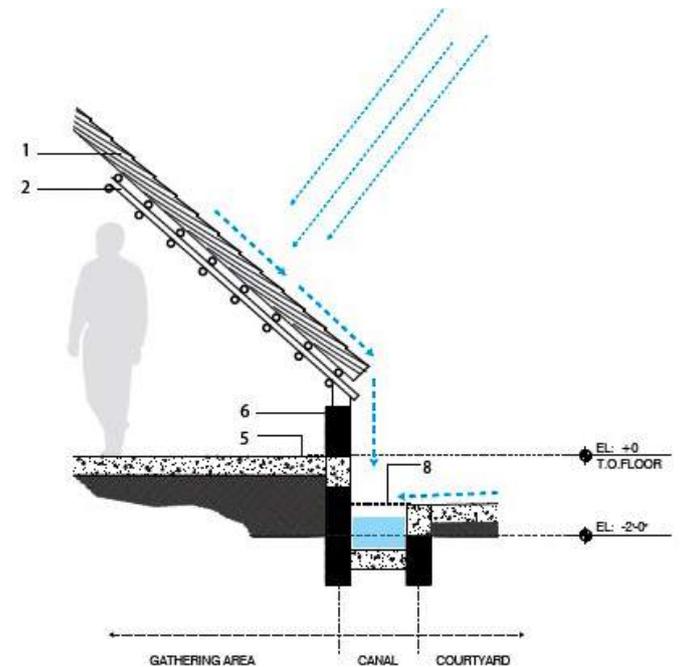
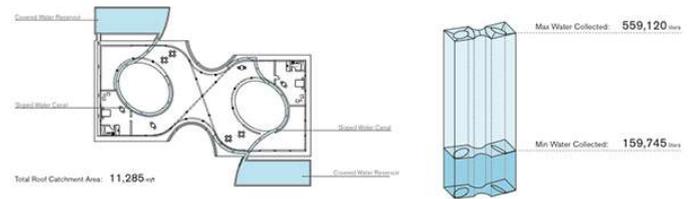
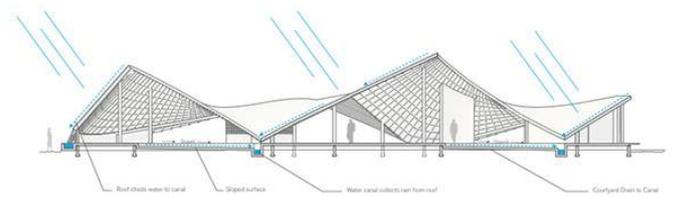


Fig 181 : Esquemas de desviación y acumulación de agua



Fig 182 : Imagen del uso social del centro

Con esta propuesta, la arquitecta transmite una gran sensibilidad y respeto sobre las capacidades constructivas de un país utilizando los conocimientos existentes de construcción vernacular. Diseño y funcionalidad se enlazan adaptándose perfectamente a las condiciones del lugar.

Como resultado se ejecuta una obra con formas que dialogan con el paisaje y la llanura del país a la vez que integra las figuras artísticas y técnicas populares del lugar.



Fig 183 : Imagen del uso social del centro



Fig 184 : Imagen del espacio interior del centro



## CONCLUSIONES

---

Muchas regiones del mundo se encuentran a día de hoy en una situación de subdesarrollo que pone en peligro la evolución de las sociedades que las componen.

La mayoría de los problemas que han creado las situaciones de dichos países no están al alcance del ámbito arquitectónico debido a su relación directa con sistemas de políticas y economías regionales. Sin embargo, la arquitectura tiene un rol primordial como mecanismo de cambio en la sociedad.

Es deber de la arquitectura llegar a crear espacios en los que se produzca y se vea reflejada la semilla del cambio en una comunidad. Es por ello que espacios dedicados a la educación primaria de los habitantes de una región deben ser de vital importancia, pues es allí donde se va a generar el conocimiento que impulse al progreso.

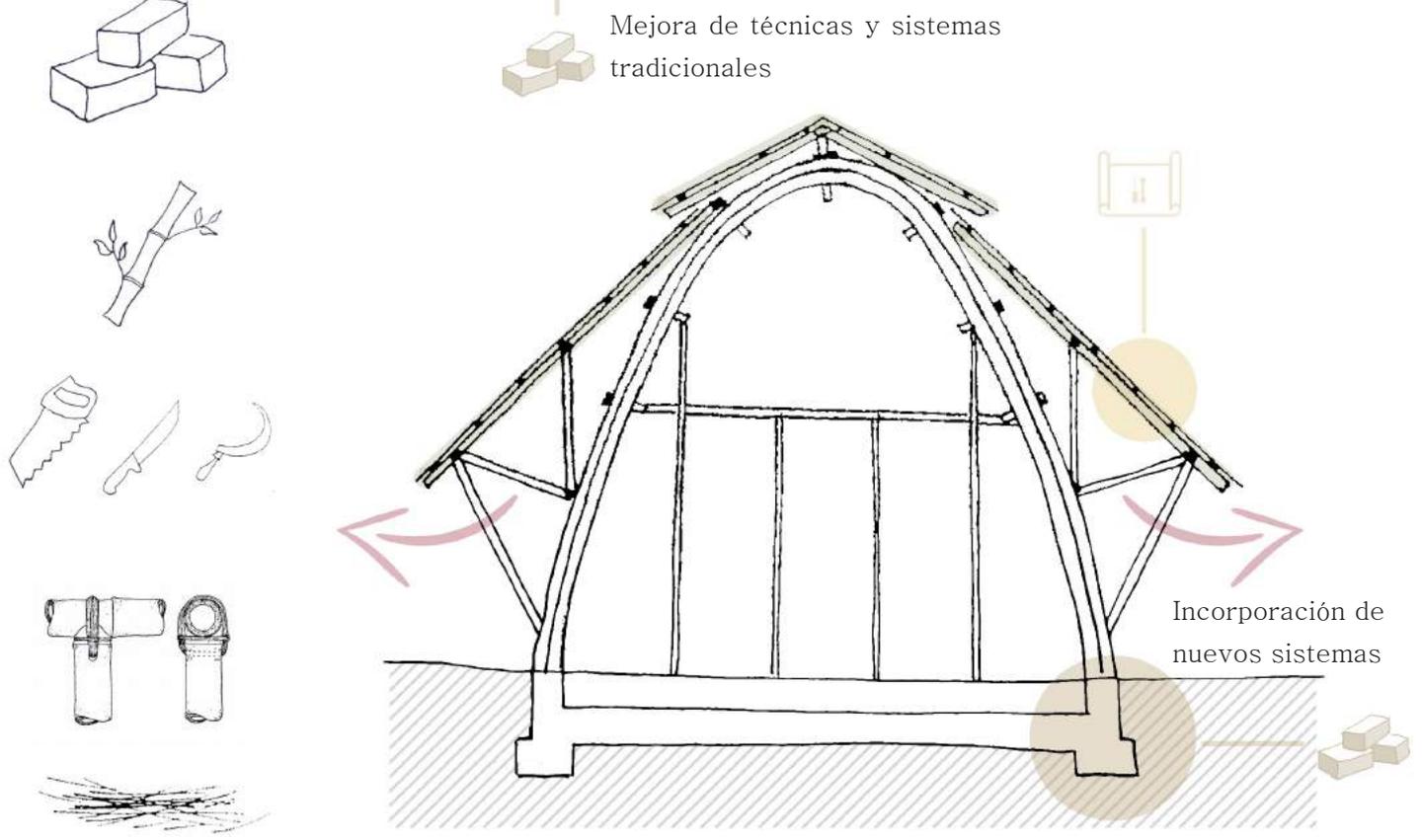
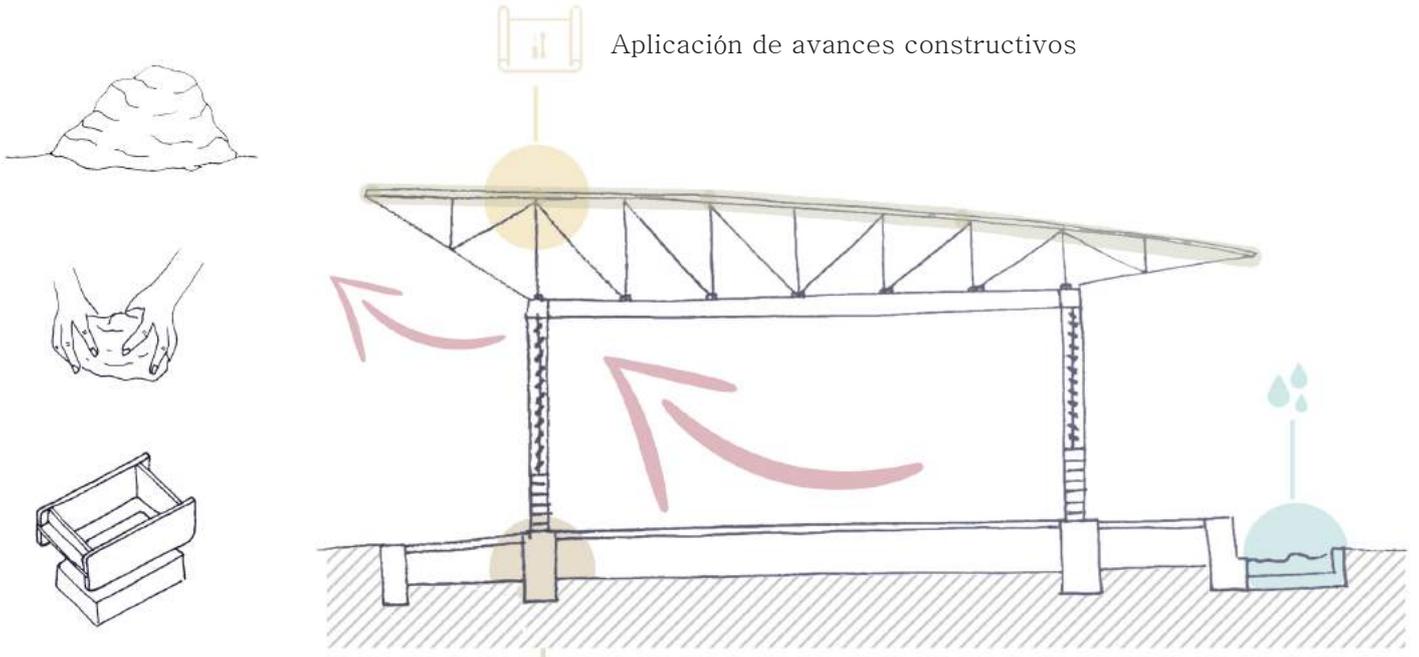
Sin embargo, la creación de estos espacios no debe ser una 'colonización' en la que técnicas y materiales usados en países con un mayor desarrollo constructivo se implanten de forma brusca e insensibilizada en un contexto disconforme con la actuación. La arquitectura debe seguir un proceso de integración en el lugar de su implantación, haciendo un análisis previo a la construcción, tanto de las necesidades del lugar como de los sistemas utilizados, las técnicas, los materiales y el futuro uso y mantenimiento que se le pueda dar a la construcción.

Para darle este carácter personalizado es importante el uso de los materiales locales, lo que no solo beneficia en la reducción de costes de traslado y manipulación, sino que también le da un carácter único y personal a cada una de las construcciones. Por ello, el estudio previo de las tramas urbanas, las construcciones tradicionales y el contexto en el que se vaya a integrar la obra debe cobrar relevancia en las fases previas al proyecto.

Es en la fase de ejecución cuando aparece el concepto de comunidad. No se debe olvidar que el proyecto siempre está diseñado para una comunidad que lo va a acoger en su trama urbana dándole un uso específico. La comunidad debe estar de acuerdo con el proyecto, los habitantes locales deben colaborar en la ejecución y tienen que sentir que la construcción es parte de una obra propia, es entonces cuando esta será acogida, respetada y utilizada como un espacio creado por y para sus habitantes. Además, únicamente de este modo se le podrá asegurar un uso adaptado a las necesidades que el pueblo demande.

Durante la fase de obra se debe hacer un intercambio de saber, tanto del pueblo hacia el diseñador del proyecto como viceversa. Este concepto cobra vital importancia. La aplicación de nuevas técnicas desarrolladas en países con construcciones más formalizadas compone uno de los puntos clave para facilitar el desarrollo constructivo en estas comunidades. Al ser así, el arquitecto debe intercambiar sus conocimientos con los habitantes del poblado, de forma que la construcción de la obra no sea sino una muestra de aprendizaje para el pueblo, de forma que a mayor o menor escala, otros habitantes puedan hacerse eco de los conocimientos y desarrollarlos en futuras construcciones. Estos conocimientos, ligados a sistemas de ventilación, soleamiento, mejoras en sistemas constructivos, recogidas y abastecimiento de agua...siempre deben estar adaptados a los contextos locales en los que se desarrolla el proyecto, respetando las raíces de las construcciones tradicionales.

El concepto de arquitectura tiene que ir estrechamente ligado con el ámbito de la educación, la formación y el intercambio de conocimientos culturales. Ésta es la única forma en la que una obra se adapta al contexto en el que se ubica.







## LIBROS

- Franz Volhard (2016), *Light Earth Building: A handbook for building with wood and earth.*
- Gernot Minke (2012), *Building with Bamboo: Design and technology of a Sustainable architecture*
- Sainz Guerra, Jose Luis (2013), *Cómo puede ayudar el conocimiento de la construcción sostenible en el desarrollo de las ciudades. El ejemplo de Manta. Proyecto de cooperación internacional de la Universidad de Valladolid, España y la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador*
- Jules J.A. Janssen (2000), *Designing and Building with Bamboo*
- Peace Corps (1981), *Handbook for Building Homes of Earth*
- Prof. Federico M. Butera, (2014), *Handbook Sustainable Building Design for Tropical Climates*
- Prof. Miguel Rocha; Felix Jové Sandoval (2016), *Técnicas de construcción con tierra. Introducción*
- Jové Sandoval, Félix, coord. Sáinz Guerra, José Luis, coord. (2014), *Construcción con tierra : investigación y documentación : XI CIATTI 2014, Undécimo Congreso de Arqui*
- Francis Kéré (2016) *Francis Kéré : radically simple*
- Gianni Scudo, Luisa Morfini (1998) *Materiali, clima e costruzione : tecniche esecutive congruenti ai contesti a clima caldo arido del continente africano*
- *Luis Fernández-Galiano (2014) : ARQUITECTURA VIVA Nº 161 SABER LOCAL / LOCAL KNOWLEDGE. SOCIAL AND SUSTAINABLE PROJECTS*

## ARTÍCULOS ONLINE

- TOMÁS GONZÁLEZ MARTÍNEZ (2016), *Análisis constructivo de la obra de Diébedo Francis Kéré en el contexto de la arquitectura vernácula de Burkina Faso.*  
<https://aula3tfg.files.wordpress.com/2016/02/gonzalez-martinez-tomas-gonzalez-martinez-tomc3a1s-tfg.pdf>
- CAROLINA MOYANO Y JOSÉ MOYANO (2014), *Tipologías constructivas en el sur de Senegal*  
<http://www.morethangreen.es/en/la-maison-senegal-por-el-pan-del-mono-educacion-y-arquitectura-autoctona-por-la-sostenibilidad-economica-y-social-en-dindefelo-senegal/>
- CAROLINA MOYANO Y JOSÉ MOYANO (2014), *Construcción con tierra aproximación al estudio de la tierra como material y a los métodos de construcción con tierra más extendidos*  
<http://www.morethangreen.es/en/la-maison-senegal-por-el-pan-del-mono-educacion-y-arquitectura-autoctona-por-la-sostenibilidad-economica-y-social-en-dindefelo-senegal/>
- Tomà Berlanda (2016), *Thread Cultural Centre Sindhian, Senegal*  
<https://archnet.org/system/publications/contents/10742/original/DTP103127.pdf?1475759608>
- Estudio dawoffice (2014) *Hagamos escuela, Senegal*  
<http://foundawtion.org/wp-content/uploads/2018/08/FOUNDAWTION-Contigo-2.pdf>

## PUBLICACIONES ONLINE

- Jon Sojkowski, *'African Vernacular Architecture, Documentation for Preservation'*  
<https://www.africanvernaculararchitecture.com/>
- Janet B. Hess Paul Oliver, *'African architecture'*  
<https://www.britannica.com/art/African-architecture>
- Unesdoc.unesco.org. (2018)  
<http://unesdoc.unesco.org/imagetitles/0024/002476/247647s.pdf>
- Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas(1015), *Decenio internacional para la acción*  
<http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>



- Figura 1 : Fotografía realizada por Lynn Johnson  
[www.nationalgeographic.com.es](http://www.nationalgeographic.com.es), 2018
- Figura 2 : Gráfico comparativo de población  
<http://www.demographics.at/structure.html>
- Figura 3 : Densidad demográfica en las ciudades  
<https://qz.com/afrika/1016790/>
- Figura 4 : Producto interior bruto per cápita (Dolares)  
<https://es.actualitix.com/pais/afri/afri-ca-pib-per-capita.php>
- Figura 5 : Agartala durante la sequía del 2009  
<http://www.elmundo.es/elmundo/2013/10/08/natura/1381249672.html>
- Figura 6 : Fotografía de la falta de servivios electricos  
<http://ghonetv.com/ongoing-dumsor-is-as-a-result-of-poor-planning-by-government-edward-bawa/>
- Figura 7 : Fotografía de niños en la escuela  
<http://www.wikistrike.com/2016/04/pourquoi-l-afrique-est-pauvre-video.html>
- Figura 8 : Mapa geográfico de Africa  
[http://oer2go.org/mods/es-wikipedia-static/content/a/%25c3%2581frica\\_subsaariana.html](http://oer2go.org/mods/es-wikipedia-static/content/a/%25c3%2581frica_subsaariana.html)
- Figura 9 : Ortofoto de [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)
- Figura 10 : Ortofoto de [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)
- Figura 11 : Ortofoto de [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com)
- Figura 12 : Elaboración de Catherine Linard, Marius Gilbert, Robert W. Snow, Abdisalan M. Noor, Andrew J. Tatem
- Figura 13 : Times Atlas Of The World- Mid-Century Edition
- Figura 14 : International Monetary Fund World Economic Outlook (October- 2016)
- Figura 15 : International Monetary Fund World Economic Outlook (October- 2016)
- Figura 16 : [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)
- Figura 17 : World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP)
- Figura 18 : Fotografía de construcción vernácula  
<http://www.wander-home.fr/cases-collines-benin/>
- Figura 19 : Imagen de la Alhambra de Granada  
<https://www.minube.com/rincon/la-torre-de-la-vela-a2201198>
- Figura 20 : Imagen de la mezquitate Djenné  
<https://www.amusingplanet.com/search/label/Travel?updated-max=2013-01-07T10:17:00-08:00&max-results=10&start=30&by-date=false>
- Figura 21 : Arcilla antes de ser tratada  
<http://stjosep.com/escola2/20160615-activitats-3inf-fem-fang/>
- Figura 22 : Proceso de construcción con tierra
- Figura 23 : Ilustración de tierra  
 Portada del libro *Técnicas de construcción con tierra. Introducción*
- Figura 24 : Textura de Guijarros  
[https://es.123rf.com/photo\\_62222012\\_antes-compone-de-grava-triturada-fracción-fina-en-la-luz-del-sol.html](https://es.123rf.com/photo_62222012_antes-compone-de-grava-triturada-fracción-fina-en-la-luz-del-sol.html)
- Figura 25 : Textura de grava  
[https://es.123rf.com/photo\\_62222012\\_antes-compone-de-grava-triturada-fracción-fina-en-la-luz-del-sol.html](https://es.123rf.com/photo_62222012_antes-compone-de-grava-triturada-fracción-fina-en-la-luz-del-sol.html)
- Figura 26 : Textura de arena  
<https://www.construshop.com.co/producto/arena-de-pena/>
- Figura 27 : Textura de limo  
<https://sp.depositphotos.com/5690779/stock-photo-silt-texture.html>
- Figura 28 : Textura de arcilla  
<https://www.redbubble.com/es/people/launchmission/works/26603894-textura-superficial-de-la-cancha-de-tenis-de-arcilla?p=poster>
- Figura 29 : Imagen de limo con juncos  
<https://elbarroanimado.com/juncos-galeria-2-cuadrado-2/>
- Figura 30 : Textura de paja  
<https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-paja-o-heno-vieja-que-miente-en-la-tierra-textura-de-la-hierba-secada-vendimia-imagen-93493061>

- Figura 31 : Textura de paja como refuerzo constructivo  
<http://www.oyp.com.ar/nueva/revistas/209/1.php?con=2>
- Figura 32 : Extracción de laterita  
<https://destinoinfinito.com/la-cantera-de-laterita-de-karaba/>
- Figura 33 : Bloques de laterita  
<http://www.iwate-kokyo.info/imagelgkl-laterite-soil-in-kerala.shtm>
- Figura 34 : Textura de laterita  
<https://sp.depositphotos.com/56494511/stock-photo-red-laterite-gravel-for-background.html>
- Figura 35 : Muestra del terreno  
[https://extension.illinois.edu/gardenerscorner/issue\\_08/special\\_06\\_12.cfm](https://extension.illinois.edu/gardenerscorner/issue_08/special_06_12.cfm)
- Figura 36 : Test de caída
- Figura 37 : Resultados 1
- Figura 38 : Resultados 2  
<http://civilblog.org/2014/04/21/field-tests-on-soil-to-determine-suitability-of-soil-for-brick-manufacturing/>
- Figura 39 : Ejemplo de construcciones vernaculares  
[www.2varantx diez.blogspot.com](http://www.2varantx diez.blogspot.com)
- Figura 40 : Muro de COB  
<http://www.thiscobhouse.com/category/cob-2/page/3/>
- Figura 41 : Porciones de tierra  
<https://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-fabricación-de-la-mazorca-image44857316>
- Figura 42 : Ejecución del muro  
[http://www.solaripedia.com/713/25/3935/cob\\_wall.html](http://www.solaripedia.com/713/25/3935/cob_wall.html)
- Figura 43 : Amasado del material  
<http://www.cobcourses.com/cob-houses/>
- Figura 44 : Golpeo y estabilización del muro  
<https://www.thewbba.com/cob-house-design-ideas/>
- Figura 45 : Bloques de adobe  
<https://es.slideshare.net/FabiolaMilano1/terminos-basicos-construccion>
- Figura 46 : Uso de adobe en construcción  
[https://es.123rf.com/photo\\_9364383\\_casas-de-barro-tradicional-adobe-africa-na-en-etio%C3%ADa-lallibela.html](https://es.123rf.com/photo_9364383_casas-de-barro-tradicional-adobe-africa-na-en-etio%C3%ADa-lallibela.html)
- Figura 47 : Elaboración de bloques  
<http://ceteme.blogspot.com/2015/05/recursos-no-metalicos.html>
- Figura 48 : Proceso de secado  
<https://eudomus.com/como-hacer-ladri-llos-de-adobe/secando-adobes-al-sol/>
- Figura 49 : Unión con mortero  
<http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2014/08/arquitecturas-muros-de-diferentes.html>
- Figura 50 : Acabado exterior de cal  
<http://www.malawiarchitecture.com/wood-poles>
- Figura 51 : Cimentaciones para muros de adobe  
 Light Earth Building, A handbook for building with Wood and Earth, Franz Volhard.
- Figura 52 : Ejecución de vanos  
<https://unmontonenconstruccion.wordpress.com/tag/cob/>
- Figura 53 : Muro de arcilla apisonada  
<https://www.tlcd.com/rammed-earth-wall-rises-at-tlcd-project/>
- Figura 54 : Acabado de muro de arcilla apisonada  
<https://www.rammedearthworks.com/blog/>
- Figura 55 : Ejecución de muro
- Figura 56 : Ejecución de muro
- Figura 57 : Movimiento de paneles  
 Light Earth Building, A handbook for building with Wood and Earth, Franz Volhard.
- Figura 58 : Proceso de ejecución de muro 1
- Figura 59 : Proceso de ejecución de muro 2
- Figura 60 : Proceso de ejecución de muro 3
- Figura 61 : Proceso de ejecución de muro 4  
<http://theakaaproject.org/2015/10/how-to-ram-a-wall/>

- Figura 62 : Ejecución de bloques  
[www.lowtechmagazine.com](http://www.lowtechmagazine.com)
- Figura 63 : Muestra de granulados de tierra  
<https://slideplayer.es/slide/9435583/>
- Figura 64 : Proceso de mezclado de materiales  
<http://bioconstruyendoenguayaibity.blogspot.com>
- Figura 65 : Ejecución de bloques  
 Light Earth Building, A handbook for building with Wood and Earth, Franz Volhard.
- Figura 66 : Ejecución de bloques  
<http://www.tierraalsur.com/s-constructivos/btc/>
- Figura 67 : Secado y almacenamiento de bloques  
[www.plataformaurbana.cl](http://www.plataformaurbana.cl)
- Figura 68 : Imagen de tronco de bambú  
<https://peoplepng.com/bamboo-leaf-png-hd/79790/free-vector>
- Figura 69 : Partes de una pieza de bambú  
[rescateurbanousar.wordpress.com](http://rescateurbanousar.wordpress.com)
- Figura 70 : Crecimiento de la planta  
<https://lewisbamboo.com/how-bamboo-grows/>
- Figura 71 : Ejemplo de arquitectura asiática con bambú  
<https://www.arquitecturayempresa.es/noticia/arquitectura-de-bambu-al-poder>
- Figura 72 : Ejemplo de arquitectura africana con bambú  
[www.ecohabitar.org](http://www.ecohabitar.org)
- Figura 73 : Imagen de tallos de bambú cortados  
[www.dreamstime.com](http://www.dreamstime.com)
- Figura 74 : Imagen de estructura de bambú  
[www.obrasweb.mx](http://www.obrasweb.mx)
- Figura 75 : Elementos estructurales de bambú  
[www.estudiandoagriculturaentaiwan.blogspot.com](http://www.estudiandoagriculturaentaiwan.blogspot.com)
- Figura 76 : Unión de elementos  
[www.bambusa.es](http://www.bambusa.es)
- Figura 77 : Información de parámetros de bambú  
[www.obrasweb.mx](http://www.obrasweb.mx)
- Figura 78 : Información de parámetros de bambú  
[www.wgbis.ces.iiscernet.in](http://www.wgbis.ces.iiscernet.in)
- Figura 79 : Cimentación de bambú con unión metálica  
[www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)
- Figura 80 : Cimentación de hormigón  
[www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)
- Figura 81 : Uniones entre piezas de bambú  
 Building with bamboo Design and technology of a sustainable Architectur, Gernot Minke
- Figura 82 : Conexiones entre piezas de bambú  
 Building with bamboo Design and technology of a sustainable Architectur, Gernot Minke
- Figura 83 : Tratamiento de pieza de bambú  
<https://www.guaduibamboo.com/preservation/>
- Figura 84 : Voladizo como diseño constructivo de protección  
<https://www.phnompenhpost.com/post-property/bamboo-no-longer-underdog-material-world->
- Figura 85 : Sistema de drenaje  
<https://www.archdaily.mx/mx/786495/vivien-da-para-profesores-gando-kere-architecture>
- Figura 86 : Construcción de zócalo  
[www.plataformaarquitectura.cl](http://www.plataformaarquitectura.cl)
- Figura 87 : Cimentaciones con piezas metálicas  
[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- Figura 88 : Cubierta de bambú a dos aguas  
[www.debambu.net](http://www.debambu.net)
- Figura 89 : Construcciones de bambú con voladizo  
<https://livegreen.blogia.com/temas/arquitectura-vernacula/>
- Figura 90 : Acabado de cubierta con piezas de bambú  
<https://www.flickr.com/photos/erikkristensen/59843125/>
- Figura 91 : Partición de piezas de bambú  
<http://www.chinabamboopoles.com/treatment/>
- Figura 92 : Tejas de bambú  
<http://flaggedmailsapp.com/bamboo-roof/photo-album-website-bamboo-roof/>
- Figura 93 : Partición de tallo de bambú  
<http://maribo.intelligentsolutions.co/how-to-make-a-bamboo-roof/>
- Figura 94 : Pieza de bambú limpia  
<http://flaggedmailsapp.com/bamboo-roof/photo-album-website-bamboo-roof/>
- Figura 95 : Zapata reforzada con bambú  
<http://engineeringfeed.com/innovation-reinforced>
- Figura 96 : Proceso de ejecución de cimentación  
[http://www.earth-auroville.com/sre\\_foundations\\_en.php](http://www.earth-auroville.com/sre_foundations_en.php)

- Figura 97 : Bloques de adobe  
[www.vivires.com](http://www.vivires.com)
- Figura 98 : Elaboración de muro con método COB  
[www.lanatural.eu](http://www.lanatural.eu)
- Figura 99 : Construcción de cerramiento de Zarzo  
[www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)
- Figura 100 : Detalle de cerramiento de zarzo  
[www.nuevamujer.com](http://www.nuevamujer.com)
- Figura 101 : Esquema de sistema de Bahareque  
Light Earth Building, A handbook for building with Wood and Earth, Franz Volhard.
- Figura 102 : Muro ejecutado con sistema Bahareque  
[www.lowimpact.org](http://www.lowimpact.org)
- Figura 103 : Muro ejecutado con bambú y COB  
[www.mundo-casas.com](http://www.mundo-casas.com)
- Figura 104 : Ventilación natural del interior  
[www.sott.net](http://www.sott.net)
- Figura 105 : Acabado de cubierta con paja  
<http://www.archiexpo.es>
- Figura 106 : Estructura de cubierta con soporte de madera  
<https://hertsthatcher.com>
- Figura 107 : Disposición de hiladas  
<http://www.fao.org/docrep/s1250e/S1250E01.htm>
- Figura 108 : Ejecución de cubierta de paja  
[www.alamy.com](http://www.alamy.com)
- Figura 109 : Cubierta de palma  
[www.coastalshadeco.com](http://www.coastalshadeco.com)
- Figura 110 : Esquema de cubierta de palma  
<https://civilchesmonzon.wordpress.com/tag/bohio-cubano/>
- Figura 111 : Disposición de hojas de palma sobre cubierta  
[www.huellasdearquitectura.wordpress.com](http://www.huellasdearquitectura.wordpress.com)
- Figura 112 : Entrelazado de hojas de palma  
[www.freepik.es](http://www.freepik.es)
- Figura 113 : Vista interior del acabado  
<http://argana.co/palma-sintetica.html>
- Figura 114 : Arquitectura vernacular circular africana  
<https://www.archdaily.com>
- Figura 115 : Arquitectura vernacular circular africana  
<https://www.archdaily.com>
- Figura 116 : Arquitectura vernacular africana  
[www.theculturaltrip.com](http://www.theculturaltrip.com)
- Figura 117 : Dibujo de tipología circular con bambú  
[www.morethangreen.es - la maison Senegal](http://www.morethangreen.es-la-maison-Senegal)
- Figura 118 : Construcción circular con muros de piedra  
<http://www.africavernaculararchitecture.com/lesotho/>
- Figura 119 : Dibujo de tipología circular con muros de piedra  
[www.morethangreen.es - la maison Senegal](http://www.morethangreen.es-la-maison-Senegal)
- Figura 120 : Construcción circular con muro mixto  
[www.thepianista.com](http://www.thepianista.com)
- Figura 121 : Dibujo de tipología circular con muro mixto  
[www.morethangreen.es - la maison Senegal](http://www.morethangreen.es-la-maison-Senegal)
- Figura 122 : Construcción circular con muros de COB  
<https://www.archdaily.com>
- Figura 123 : Dibujo de tipología circular con muros COB  
[www.morethangreen.es - la maison Senegal](http://www.morethangreen.es-la-maison-Senegal)
- Figura 124 : Construcción circular con galerías  
<https://www.archdaily.com>
- Figura 125 : Dibujo de tipología circular con galerías  
[www.morethangreen.es - la maison Senegal](http://www.morethangreen.es-la-maison-Senegal)
- Figura 126 : Fotografía de Francis Kéré  
[https://elpais.com/elpais/2015/09/22/eps/1442916465\\_285411.html](https://elpais.com/elpais/2015/09/22/eps/1442916465_285411.html)
- Figura 127 : Vista exterior de la escuela de Gando  
<https://www.archdaily.com/785955/primary-school-in-gando-kere-architecture>
- Figura 128 : Esquema del sistema de ventilación e iluminación  
<https://www.moma.org/interactives/exhibitions/2010/smallscalebigchange>
- Figura 129 : Esquema de los componentes de la escuela  
<https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/escuela-primaria-en-gando-burkina-faso-de-francis-kere-architecture-3724/>
- Figura 130 : Imagen de la estructura de la cubierta  
[https://archnet.org/sites/4363/media\\_contents/45092](https://archnet.org/sites/4363/media_contents/45092)
- Figura 131 : Imagen de la ejecución de la cubierta  
<https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/escuela-primaria-en-gando-burkina-faso-de-francis-kere-architecture-3724/>
- Figura 132 : Sección de la escuela de Gando  
<https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/>
- Figura 133 : Imagen exterior de los vanos  
<http://www.floornature.it/roma-architettura-sostenibile-con-francis-kere-12769/>
- Figura 134 : Imagen exterior de los vanos  
<http://www.floornature.it/roma-architettura-sostenibile-con-francis-kere-12769/>

- Figura 135 : Sección longitudinal de la biblioteca  
<https://aula3tfg.files.wordpress.com/2016/02/gonzc3a1lez-martc3adnez-tomc3a1s-tfg.pdf>
- Figura 136 : Construcción de la biblioteca  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 137 : Construcción de la cubierta de la biblioteca  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 138 : ejecución de la cubierta  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 139 : Vista de la cubierta de la biblioteca  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 140 : Detalle de la cubierta  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 141 : Vista interior de la biblioteca  
<http://tectonicablog.com/docs/Gando.pdf>
- Figura 142 : Vista exterior de las viviendas de profesores  
<https://www.archdaily.mx/mx/786495/vivien-da-para-profesores-gando-kere-architecture>
- Figura 143 : Imagen del equipo de foundawtion  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 144 : Plano urbano de la ciudad de Thionick-Essyl  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 145 : Esquema figurativo de la trama urbana  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 146 : Esquema de la composición constructiva  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 147 : Plano distributivo  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 148 : Planta y sección del aula  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 149 : Esquema de los componentes constructivos  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 150 : Extracción de tierra para posterior manipulación  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 151 : Bloques de tierra compactada  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 152 : Bloques colocados sobre cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 153 : Funcionamiento del efecto botijo  
[www.eloviparo.wordpress.com](http://www.eloviparo.wordpress.com)
- Figura 154 : Ejecución de cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 155 : Finalización de la cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 156 : Elevación de la cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 157 : Construcción del aula sobre la cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 158 : Movimiento de la cimbra  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 159 : Interior de las aulas  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 160 : Ejecución del interior de las aulas  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 161 : Imagen exterior del aula  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 162 : Imagen final del aula  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 163 : Secciones generales del recinto  
 Imagen de Toshiko Mori  
<http://foundawtion.org/proyectos/hagamos-escuela/>
- Figura 164 : <http://sketchbook.carolkurtharchitects.com/2011/10/>  
 Fotografía exterior del centro  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/cen-tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta>
- Figura 165 : [tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta](http://www.metalocus.es/es/noticias/cen-tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta)
- Figura 166 : Planta explicativa de los espacios del centro  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>
- Figura 167 : Fotografía del patio central  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/cen-tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta>
- Figura 168 : Fotografía de la fase de ejecución de muros  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/cen-tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta>
- Figura 169 : Detalle del sieño de acabados interiores  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>
- Figura 170 : Imagen del interior de las habitaciones  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/cen-tro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshi-ko-mori-arquitecta>

Figura 171 : **Imagen del sistema de ventilación**  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/centro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshiko-mori-arquitecta>

Figura 172 : **Imagen del sistema de ventilación**  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/centro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshiko-mori-arquitecta>

Figura 173 : **Ejecución de la cubierta**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 174 : **Ejecución del acabado de la cubierta**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 175 : **Vista interior de la cubierta**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 176 : **Detalle de la cubierta**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 177 : **Ejecución de los canales**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 178 : **Acabado de los canales**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 179 : **Construcción de los aljibes**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 180 : **Ejecución de los canales**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 181 : **Esquemas de la recogida de agua**  
<https://www.metalocus.es/es/noticias/centro-de-artes-thread-en-senegal-por-toshiko-mori-arquitecta>

Figura 182 : **Imagen del uso social del centro**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 183 : **Imagen del uso social del centro**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>

Figura 184 : **Imagen del espacio interior del centro**  
<http://www.afritecture.org/architecture/thread-artist-residency-and-cultural-center>