



Trabajo Fin de Grado

Análisis de sistemas constructivos basados en adobe:
Aplicación Escuelas de los campamentos saharauis
de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba

Analysis of adobe-based building system:
application to schools in Lal Handala and Mahfud
Ali-Beida camps

Autor

Ester Tabernero Baños

Director

Enrique Cano Suñén

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2016/2017

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Ester Tabernero Baños,

con nº de DNI 16633555R en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) **Grado**, (Título del Trabajo)

Análisis de sistemas constructivos basados en adobe: Aplicación Escuelas de los campamentos saharauis de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23/11/17

Mark Morris

Fdo: Ester Tabernero Baños

Análisis de sistemas constructivos basados en adobe: Aplicación Escuelas de los campamentos saharaus de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba

Resumen

La facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza está trabajando para mejorar las condiciones de vida en los campamentos de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba en Argelia, más específicamente, en el problema que supone para los niños que van a las escuelas la falta de iluminación en las aulas. Es entonces cuando se propone a la Escuela de Ingeniería y Arquitectura trabajar en ello para, desde la arquitectura, estudiar y proponer una mejora de las construcciones.

Estos problemas tienen diferentes naturalezas: constructiva, material y estructural, que no sólo producen falta de iluminación, sino que también producen colapsos y derrumbes de partes de las escuelas, problemas de ventilación y de las condiciones higrotérmicas. Por todo ello, para llegar a la propuesta se realiza un análisis técnico del material que sentará las bases del diseño.

Analysis of adobe-based building system: application to schools in Lal Handala and Mahfud Ali-Beida camps

Abstract

The faculty of Sciences from the University of Zaragoza is working on the improvement of the living conditions at Lal Mandala and Mahfud Ali-Beiba camps in Argelia, specifically focusing on the lack of lightning that schools suffer and the problem it poses for children. The School of Architecture and Engineering has been thus proposed to study these constructions and put forward a solution.

The issues are of a constructive, material and structural nature and not only lightning difficulties are experienced because of them, but also building collapses, and problems with ventilation and hygrotermic conditions. Due to this, a technical analysis of the material is here carried out, with the aim of establishing the base of the design.

"Con el agua, el aire, el sol y la tierra somos capaces de construir y habitar"

Jorge Gallego y M^a Antonia Fernández

A. INTRODUCCIÓN	
1. Metodología	01
2. Objetivos	03
3. Introducción	05
4. Contexto	06
B. TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.....	07
1. Introducción	07
2. Adobe. Propiedades y producción	10
3. BTC	24
4. Tapia	26
5. Aditivos y estabilizantes	28
6. Cimentación	33
7. Revestimientos	34
8. Sismo	36
9. Casos de estudio	38
C. APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE SISTEMA DE ADOBE.....	51
1. Estudio estado actual de escuelas Lal-Handlala y Mahfud Ali-Beiba	51
2. Estrategia general	64
3. Estrategia higrotérmica	66
4. Aplicación en cimientos	70
5. Aplicación en muros	71
6. Aplicación en huecos	76
E. CONCLUSIONES.....	84
ANEXO 1. Mapa intencionado	86
ANEXO 2. Climograma	87
Índice de Figuras	90
Bibliografía	94

A.

INTRODUCCIÓN

1. Metodología

El trabajo se centra en el estudio del adobe como técnica constructiva capaz de dar solución a diversos problemas que se señalan en estas escuelas. Primero, el sistema constructivo da las pautas para el diseño más general que se basa en la economía de medios, la funcionalidad, la integración y la sostenibilidad. Después se investigan las diferentes propiedades de la tierra con el fin de tener los conocimientos para comprender cómo trabaja como material: la proporción de arcilla y arena necesaria, la consistencia, la proporción de agua, la resistencia a compresión y por supuesto, sus propiedades higrotérmicas. Es importante que tras conocer las propiedades se pueda hacer un proceso riguroso para que no se pierda ninguna de las propiedades, e incluso se puedan fomentar. Con ese objetivo se aborda el apartado en el que se tratan los aditivos y la estabilización, ya que las características de las materias primas pueden mejorar mediante tratamientos, ayudando que los muros sean más estables, ligeros y duraderos con procesos muy sencillos y sin apenas coste económico. Los revestimientos son también una parte importante de la construcción con adobe, aportará una capa que le protege de los fenómenos meteorológicos del exterior y aportará una visión estética diferente. Uno de los datos más determinantes a la hora de realizar un edificio en Tinduf con adobe, es el viento. Debido a su situación, el Siroco se lleva por delante muchas de las construcciones, por lo que, haciendo una analogía del esfuerzo cortante se tratarán las soluciones conocidas para sismos para su posterior aplicación.

Finalmente se proporcionan tres casos de estudio, un grupo escolar en Panyden (Tailandia), el colegio Kler Deh (Tailandia), la escuela infantil de Aknaibi (Marruecos) y la universidad indígena Chiquitana (Bolivia) que son interesantes por diferentes razones: el programa, la situación, el material, la relación con la población y los medios utilizados para su construcción.

De este modo, el acercamiento a los datos reales de las escuelas es mucho más preciso con los conocimientos adecuados y se puede hacer un diagnóstico de las causas por las que la iluminación no es adecuada y por las cuales se producen derrumbes parciales que provocan que se cierren los huecos existentes en los muros. El estudio de cada elemento que interviene en el papel del muro: la cimentación, el hueco y el revestimiento podrán aportar un entendimiento global del problema.

Por último, la propuesta de aplicación es fruto del estudio de un análisis global del material y un acercamiento más particular a las condiciones de los campamentos. Las estrategias tienen como objetivo trazar unas pautas para diversos aspectos que se han aprendido y han dado resultados en otros casos, pero también otras diferentes, que responden al clima, la tradición y las necesidades de la población.

2. Objetivos

-Conocimiento de las técnicas de construcción del con tierra

Con el fin de proponer una mejora de las escuelas con rigor es necesario el estudio de las técnicas que podrían llevarse a cabo: adobe, BTC, tapial... y así poder elegir la más adecuada. Además se podrán mejorar en distintos aspectos tras el estudio de los aditivos una vez que se hayan localizado los problemas. Y lo más importante, se analizará en profundidad la mejor manera de introducir luz en las aulas, consiguiendo mejorar la técnica que ya se utiliza e introduciendo otras posibilidades como las celosías.

Todas estas técnicas, además de estudiarse por separado, se analizan también una vez que se han llevado a cabo en diferentes proyectos cuyo programa es relativamente parecido al de las escuelas.

-Estudio de las escuelas en estado actual

Estudiar el modo de construcción de las diferentes escuelas objeto. Investigar también las técnicas utilizadas en la construcción de los muros de adobe, los cimientos y cómo se han practicado los huecos en las aulas. De esta forma podremos tener una visión más global a la hora de identificar los problemas y proponer las futuras propuestas.

Además, de esta manera podremos conocer también la situación y ubicación de las escuelas, las necesidades programáticas, etc.

-Identificación de los problemas constructivos existentes

Una vez que se conocen las técnicas y la forma más idónea para construir se pueden comparar las preexistencias con las técnicas estudiadas para identificar exactamente los problemas actuales. De esta manera se sabrá exactamente qué se puede mejorar, para las escuelas ya construidas y para las futuras escuelas que se puedan construir tanto en cimientos como en el levantamiento de los muros y en la apertura de huecos.

-Estrategias de aplicación del sistema

Cuando ya se hayan identificado los problemas existentes se puede comenzar a dar una solución para ellos. Tras el estudio se pueden proponer distintas soluciones que pasen por estrategias de concepción de las escuelas, que afecten al sistema constructivo, a la forma de trabajar el adobe y a la forma de abrir los vanos en los muros.

3. Introducción

La elección de los campamentos saharauis para el análisis de del sistema estructural se debe a la iniciativa por parte de la facultad de Ciencias para ayudar a los niños de las escuelas de la provincia de Tinduf, ya que, las condiciones lumínicas de sus aulas les están produciendo problemas de visión. El estudio se centra en las escuelas de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba gracias a los datos recogidos en febrero por Berta García, que realizó un trabajo de campo tomando datos y haciendo fotografías.

Este trabajo se centra en la construcción de los muros con la técnica del adobe, pero este proyecto es conjunto y se engloba también en el estudio que se realizará de forma posterior de otros elementos que interaccionan con el muro, con el objetivo de que compartiendo los datos y las investigaciones que se han realizado, se consiga una mejora real en las condiciones de vida de los niños que allí estudian.

El origen del problema es de naturaleza constructiva, los huecos presentes en los muros y que iluminan las clases no están debidamente orientados, no tienen en tamaño adecuado y a veces están ocultos bajo tablas de madera debido a las tormentas de arena. A estos problemas hay sumarle la inadecuada posición de vigas sobre los huecos, con el fin de sujetar los falsos techos que se colocan.

La solución de estos problemas pasa por el mejor entendimiento del sistema constructivo y del material que consigan unas condiciones adecuadas en el interior.

Así pues, este Trabajo Fin de Grado pretende exponer la posibilidad de aplicar las propiedades de la tierra y de su sistema constructivo en las escuelas de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba (Tinduf).

4. Contexto

En 1975 se firman los Acuerdos Tripartitos de Madrid, tras la cual España se va del Sáhara Occidental, que en 1952 había añadido a sus territorios de la península. En los años siguientes los habitantes de la zona huyeron a zonas más seguras, unas 40.000 hacia la frontera con Argelia y se estima que 165.000 refugiados saharauis viven en cinco campos de concentración habilitados.

Estas personas que se encuentran en una situación "temporal" siguen esperando una solución para volver al territorio del que partieron un día.

"Los campamentos saharauis se encuentran en plena hamada (desierto de piedra) argelina, un entorno aislado, de clima árido y seco, que limita significativamente las posibilidades de autonomía productiva y, por tanto, crea una alta dependencia de la ayuda externa. Se observan dificultades para integrarse en el tejido económico argelino aunque la población más joven empieza a tener deseos de hacerlo. Otro hecho destacable es el paulatino envejecimiento de la población saharaui un factor que deberá tener consecuencias a largo plazo."¹

¹ Ministerio de asuntos exteriores y cooperación.2014.*Población Refugiada Saharaui. Plan Operativo Anual 2014.*

B.

TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE

1. Introducción

Antes de analizar el estado actual en el que se encuentran las escuelas de ambos campamentos, podemos centrarnos en algunas técnicas que podrían aplicarse en estos casos particulares. Debido al clima, el tipo de tierra que allí se encuentra, las costumbres de la población y el contexto se puede deducir que la forma de construir más apropiada es el BTC² y el adobe, aunque también se estudiará la técnica con tapial.

Las construcciones en tierra que allí se encuentran tradicionalmente están formadas por bloques de adobe. El objetivo es estudiar esta técnica, mejorar su puesta en práctica, tanto en proporciones de las mezclas, en ejecución, en factores a tener en cuenta antes y después de la construcción y sobre todo en la forma de concebir estos edificios. Cada sistema constructivo tiene una forma de pensar un proyecto. Al igual que un edificio de madera no se puede pensar como uno de hormigón, esto ocurre con el adobe y el sistema de BTC.

En este sentido, con el fin de aprender de otros que ya han llevado a cabo proyectos de este tipo, en lugares con pocos medios, al final del bloque estudiaremos unas referencias de escuelas construidas con estas técnicas.

² Bloque de Tierra Comprimida. Técnica explicada en el apartado B3.

SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural con adobe debe cumplir cuatro principios básicos, que son: economía de medios, funcionalidad, integración y sostenibilidad.

El adobe es un componente básico que se prefabrica con una mezcla en estado plástico que es moldeable con la ayuda de moldes. Una vez seco se emplea como mampuesto unido gracias a la ayuda de un mortero con una mezcla que puede ser muy parecida a la del adobe.

Este sistema se puede utilizar en la construcción de muros autoportantes, arcos, bóvedas y cúpulas, además de admitir diferentes formas, ortogonales y curvas.

Por otro lado, es importante saber qué capacidad portante puede soportar dicho sistema. Para ello deberemos tener en cuenta diferentes aspectos como las dimensiones del adobe y para ello hay algunas recomendaciones:

- Longitud < Doble de ancho + Espesor de la junta (Máx. 40cm)
- Altura < 10cm
- Relación longitud-altura 4-1 para permitir el traslape horizontal en proporción 2-1

Por facilidades constructivas y de comportamiento mecánico se recomienda la forma cuadrada y dimensiones: 38-38-8. Al añadir el mortero, de espesor medio 2cm, sus dimensiones lineales de trabajo serían 40-20-10cm.

Se pueden hacer adobes más ligeros con materiales de deshecho, metiendo en el interior latas, botellas, cartones etc. Pero en este caso será necesario que la mezcla esté hecha con cemento, grava y arena en proporción 1-3-2.

Las ventajas de la construcción con adobe frente a otros sistemas son:

- Facilidad para la fabricación, el secado y el almacenaje.
- Propiedades higrotérmicas

Las principales desventajas son:

- Bajas capacidades de resistencia a compresión, flexión y tracción en comparación con otros sistemas
- Difícil obtención de bloques uniformes e iguales
- La calidad del material está sujeta al tiempo de secado
- Necesidad de refuerzos frente a sismos

2. Adobe

El origen del adobe coincide con la revolución neolítica y la sedentarización del hombre en Oriente Próximo. En Jericó y Mureybet se han encontrado ladrillos de tierra en forma de pan se moldeaban a mano unos 8.000 años A.C. Sin embargo, los bloques hechos en moldes más antiguos han sido encontrados en Çatal Höyük, Turquía, unos mil años más tarde.

Una veintena de centros históricos hechos con adobe son patrimonio mundial, como Shibam en Yemen, Tombuctou en Mali, Alepo en Siria, Lima en México.

El adobe es un ladrillo de tierra sin cocer y moldeado a mano o con un molde y después secado durante varios días al aire o en una zona cubierta. La tierra deberá contener arcilla, limos (25-45%) y arena (75-65%) mezclada con agua para conseguir el estado plástico de la mezcla. A veces, para reducir las fisuras durante el secado, se añaden fibras naturales.

Hoy día es utilizado aproximadamente por la mitad del globo terrestre. Debido a su cuidado mantenimiento, esta técnica se fue abandonando en Europa, pero en los países más pobres su utilización va casi en correlación con la explosión demográfica.

Porque, a igual solidez e inercia térmica, es más barato y el uso más sencillo de todos los materiales conocidos para hacer muros, terrazas e incluso bóvedas que se autosustentan, sin embargo, si se dejan sin cuidar, se deshacen sin que subsista la menor ruina.

Para los países más pobres, que se caracterizan por una proporción de hábitat rural dispersa, este material supone muchas ventajas, y una de ellas es económica, ya que la materia prima es un recurso local. Además la inversión para equipamiento es mínima para la ejecución de la obra, y aunque la obra tenga un poco más de dimensión, el hormigón de tierra estabilizado puede ser producido de forma local, lo que elimina el gasto en transporte que normalmente implicaría.

Además, esta técnica no está excluida en los países más desarrollados, ya que aunque antes se había quedado en otro plano menos importante, está volviendo a tenerse en cuenta tras la conciencia ecológica que se está adquiriendo en los últimos tiempos. Se puede afirmar tal cosa, ya que una obra de este material puede ser destruida con el tiempo completamente y volverse a utilizar el material tantas veces como se quiera.

Proporción de arcilla y arena

Según las propiedades de sus constituyentes, la tierra utilizada como material es un producto compuesto, análogo al hormigón ordinario. Gracias a su cohesión interna, la arcilla hace el papel de argamasa, mientras que la arena hace de esqueleto interno.³

Debido a las propiedades de la arcilla de cohesión, es necesaria en la mezcla, pero su capacidad de cambiar de volumen en función del agua puede tener un efecto negativo.

Así pues, la arcilla solo debe existir en un porcentaje limitado: debe ser inferior al 20% y la proporción de arena debe ser superior al 45%.

Estado de consistencia

El comportamiento en presencia del agua depende de las propiedades mineralógicas y químicas de sus constituyentes, y en particular de su arcilla.

El índice de plasticidad, tal como se define en mecánica de los suelos, es la diferencia entre el contenido de agua por el que el suelo presenta una consistencia líquida "tipo", y el contenido de agua por el que el suelo presenta una consistencia plástica "tipo".

Cuanto más elevado sea el índice de plasticidad de la mezcla de tierra, más importante será el hinchamiento por humedecimiento y la retracción por desecación.

³ Fuente: Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. Arquitecturas de adobe. París: Gustavo Gili

Proporción de agua y mezcla óptima

La proporción de agua para la mezcla óptima es un índice que permite caracterizar el comportamiento de un suelo en presencia de agua.

La proporción óptima de agua para la mezcla es la cantidad de agua necesaria para lubrificar las partículas del suelo y permitirles desplazarse al interior de la masa. Si la proporción de agua es demasiado débil, las partículas casi no pueden desplazarse. Si la proporción de agua es demasiado fuerte, la tierra se humedece en exceso y ya no presenta una cohesión suficiente.

La proporción óptima de agua varía con la presión de apisonamiento; cuando la presión aplicada aumenta, la proporción disminuye.⁴

Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de elementos secos hechos con tierra puede variar generalmente de 5 a 50 kg/cm³. Depende de: la cantidad y el tipo de arcilla, distribución granulométrica de limos, arena y método de compactación de preparación. Para aumentar esta capacidad mecánica se pueden agregar aditivos.

⁴ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

Según el FEB⁵, no hay correlación entre la resistencia a compresión y la cohesión. Como se puede ver en la figura, una mezcla con limos y cohesividad de 80g/cm² tiene una resistencia de 80g/cm² y sin embargo una arcilla de 390 tiene una resistencia sólo de 25, 80g/cm². Según la norma alemana, la resistencia permisible es de 3 a 5 80g/cm² y el factor de seguridad aproximadamente 7.⁶

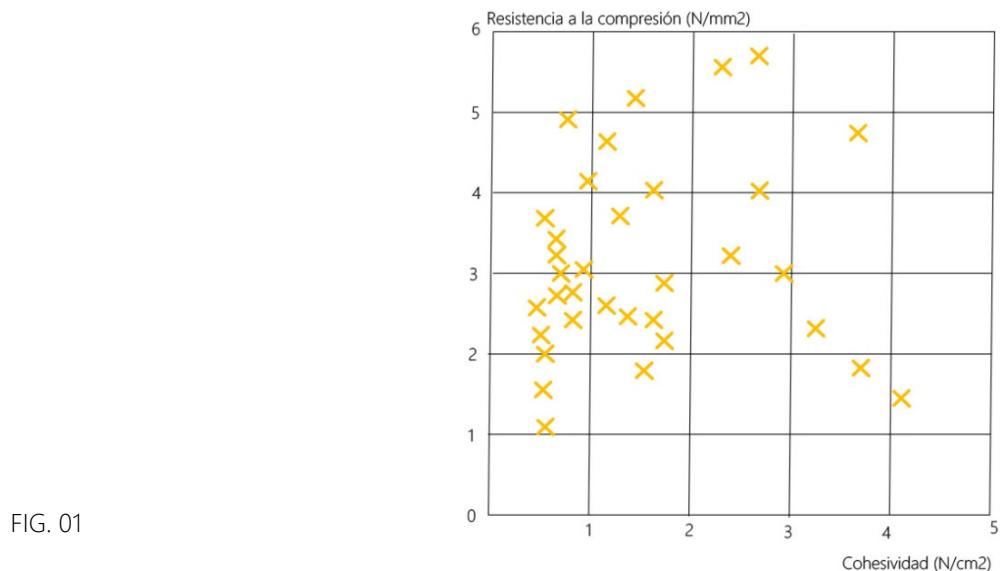


FIG. 01

⁵ Forschungslabor für Experimentelles Bauen. (Laboratorio de investigación para construcciones experimentales)

⁶ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

Propiedades higrotérmicas

"Tradicionalmente se ha asociado las construcciones en tierra con la idea de un buen comportamiento higrotérmico. El estudio de Palme⁷ concluyen que, incluso para climas extremos como es el clima desértico, las construcciones en tierra simuladas y monitorizadas responden con una eficiencia entre tres y cuatro veces mayor que las construcciones de bloques de hormigón o de madera, garantizando la estabilidad de las temperaturas interiores y el confort. Destaca la bondad de la tierra como material de construcción debido a sus propiedades de aislamiento, amortiguamiento e inercia térmica."⁸

HUMEDAD

La tierra es un material poroso que es capaz de absorber la humedad del aire y expulsar humedad al aire, por eso es un buen material para crear un equilibrio entre los climas interiores y exteriores. Que este proceso sea o no efectivo es gracias a la velocidad de absorción y expulsión.

Los valores varían de 0.4% para barro arenoso con 20% de humedad del aire, a 6% para un barro arcilloso con 97% de humedad en el aire. También es interesante que la paja de centeno bajo 80% de humedad tiene un equilibrio del contenido de humedad del 18%.

Cuanta mayor humedad, mayor la cantidad de agua absorbida por el material. Si la humedad del aire reduce, el material expulsará el agua.

⁷ Palme, Massimo. Thermal Performance of Traditional and New Concept Houses in the Ancient Village of San Pedro de Atacama and Sourroundings. Suiza, 2014.

⁸ Jorge Gallego, M^a Antonia Fernández. 2014. Congreso de arquitectura con tierra en Cuenca de Campos.

Las curvas de absorción de las diferentes mezclas de barro varían según la composición de esta, es decir, la proporción de arcilla y arena que contenga.⁹

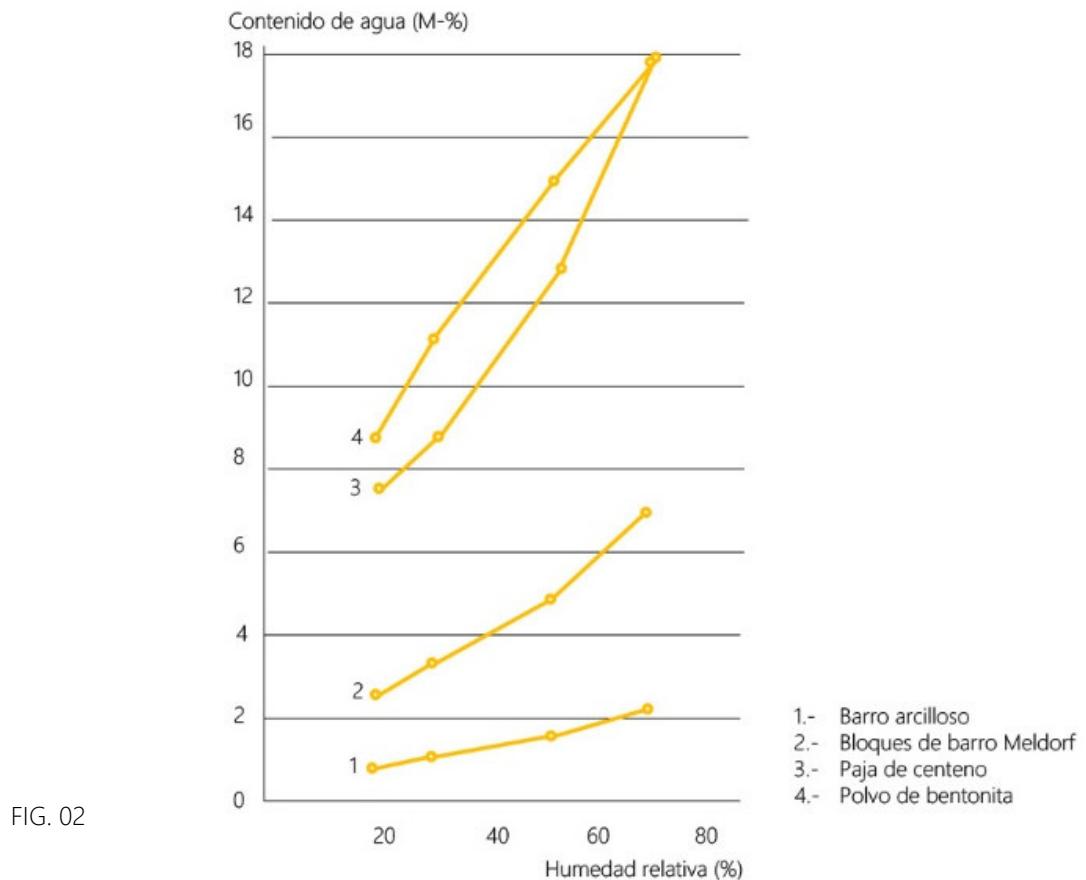


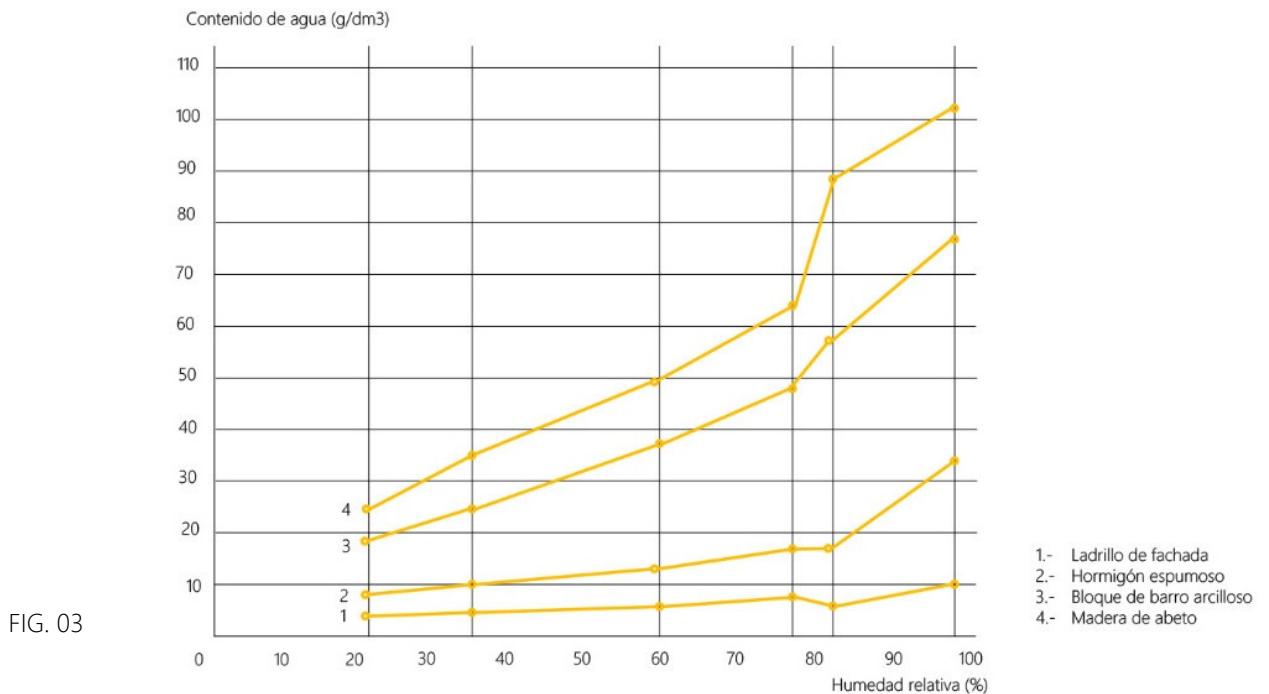
FIG. 02

En esta gráfica se muestra una mezcla de tierra y agua comparándolos con otros materiales. Se puede ver que mientras mayor es el contenido de arcilla¹⁰, mayor es el equilibrio del contenido de humedad.

El gráfico siguiente muestra que un ladrillo cocido alcanza un contenido de agua que es cinco veces mayor que un revoque de barro arcilloso bajo una humedad relativa del 50.

⁹ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

¹⁰ Si la mezcla tiene más arcilla, tendrá menor cantidad de agua.



Se debe tener en cuenta que para el efecto de balance de la humedad de los materiales, la velocidad del proceso de absorción es más importante que el equilibrio del contenido de la humedad.

INFLUENCIA DEL CALOR

A la hora de definir si un material es un buen aislante térmico es importante el volumen de aire alojado en los poros de éste al igual que su humedad. Cuanto más ligero sea un material, mayor será su aislamiento térmico y mientras más húmedo sea el material, menor su efecto aislante.

Técnicamente, la transferencia de calor de un material se caracteriza por su conductividad térmica. Según los autores de la norma alemana¹¹, podemos concluir que el barro alivianado con paja de densidad 750kg/m³ tiene un valor de 0.2W/mK y un barro aligerado con arcilla expandida de densidad 740kg/m³ tiene un valor de 0.18W/mK.

¹¹ Se toma la norma alemana porque es una de las pocas que en Europa recogen datos para la construcción con tierra.

Otra de las capacidades de los materiales es la pérdida y ganancia térmica. Esta cualidad es muy importante en la tierra, y se define por la difusión térmica que depende de del calor específico, la densidad y la conductividad térmica.¹²

FIG. 04

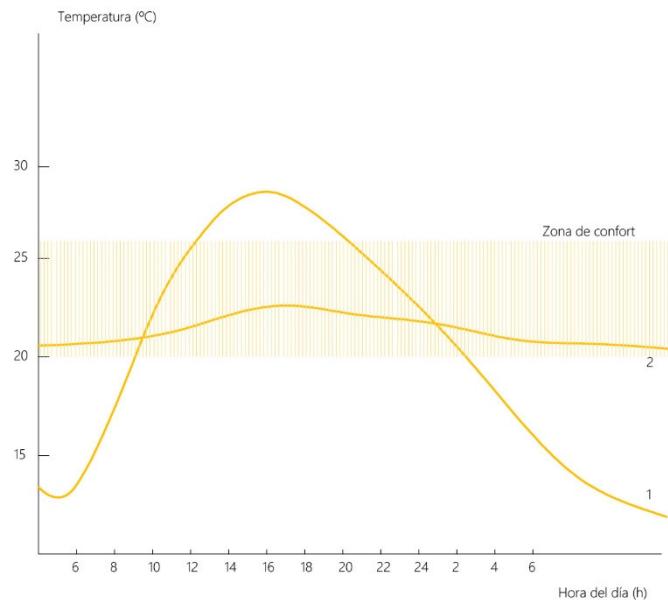
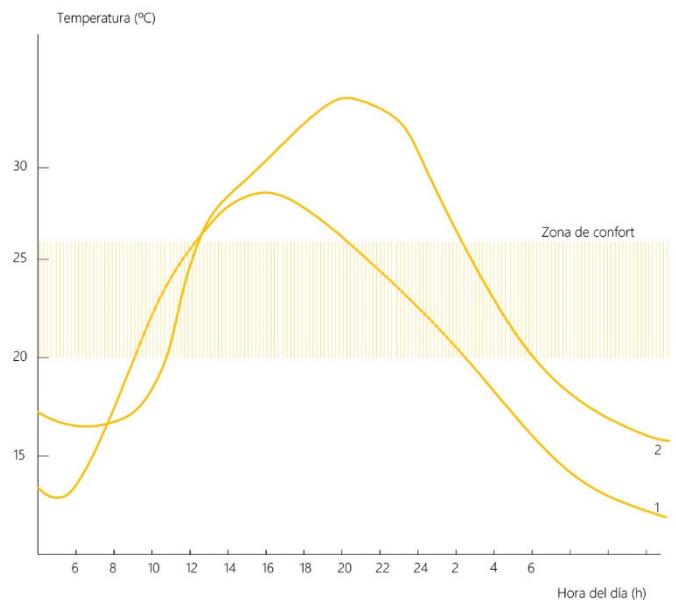


FIG. 05

1.- Temperatura exterior
2.- Temperatura interior



Es interesante en el ámbito de la arquitectura y el confort interior de un espacio, ya que esta capacidad de almacenamiento crea un largo retraso de la entrada del calor y una disminución de la amplitud térmica como se ve en las gráficas.

¹² Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

En un clima extremo con altas temperaturas durante el día y muy bajas durante la noche, es una cualidad importante a tener en cuenta a la hora de concebir un edificio.

Estas gráficas están tomadas de una experiencia en El Cairo con muros de barro apisonado de 50 cm de espesor y bóvedas de bloques de adobe. La otra, con elementos de hormigón prefabricado de 10cm de espesor y cubierta plana.

El desfase es la cualidad que proporciona un aislamiento térmico y que se traduce en la cantidad de horas que tardará el calor en penetrar en el interior.

$$D (h) = 0,53 \times T/2 \times (\rho \times C_e / \pi \times \lambda \times T)^{(1/2)} \times L$$

T= período de cálculo (24 h)

$\pi = 3,1416$

ρ = densidad (kg/cm³)

λ = conductividad térmica (w/m°C)

C_e = Calor específico (kj/kg°C)

L =grueso del muro (m)

Para comprobar la gran diferencia que existe entre el desfase en diferentes materiales vamos a realizar un pequeño cálculo para el hormigón, el ladrillo cocido y el adobe.

Aunque tomamos un valor para la conductividad térmica del adobe, hay algunos autores que no consideran posible definirla, sólo plantean el uso de un valor medio o tipo cuando hacen estudios del comportamiento térmico de este tipo de material.¹³Estos valores varían según la granulometría y la proporción de arcilla, limo y arena.

Sin embargo, según los estudios realizados por David Cavero y Félix Jové:

"Pese a tener una capacidad calorífica muy superior al resto de cerramientos, no es por sí sola suficiente para asegurar demandas energéticas menores a las de referencia, salvo climas muy puntuales

¹³ El valor tomado es facilitado por el Instituto de Arquitectura en Tierra de la Unesco.

como el caso de Tenerife, donde el muro de BTC¹⁴ asegura unas demandas más bajas, y por tanto podemos asegurar que las soluciones en tierra se adaptan mejor a los climas de la zona A3, correspondientes a los veranos más calurosos e inviernos menos fríos.”¹⁵

	Densidad (kg/cm ³)	Conductividad térmica (w/mº C)	Calor específico (kj/kgºC)	Grueso del muro (m)	Desfase
Hormigón	1500	0.35	0.16	0.4	4.85
Ladrillo	600	0.87	0.20	0.4	6.28
Adobe	2000	0.45	0.44	0.4	11.22

Esto confirma que uno de los materiales más adecuados para construir en zonas con grandes cambios de temperaturas es la tierra, ya que con el mismo espesor de muro podemos conseguir un confort interior de forma más fácil y con menos medios que con cualquier otro material.

Proceso de producción

- La mezcla puede realizarse en una hormigonera, pero entonces se debe añadir el agua antes de la tierra, mientras que si se mezcla en un pozo se debe mojar el suelo el día anterior antes de mezclar con las fibras naturales.

Se debe mezclar en el suelo el barro húmedo con los pies si es posible. Si este suelo contiene grandes gravas de menos de 1cm no es necesario examinarlo, pero si contiene piezas más grandes será necesario quitarlas. También se puede realizar una criba con un tamiz, pero esto puede cambiar las proporciones de arena y grava originales.

¹⁴ Bloque de tierra comprimida.

¹⁵ David Cavero y Félix Jové.2012. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos.

- Después se añaden las fibras naturales y se mezcla todo. Para saber si la mezcla contiene la cantidad adecuada de agua se puede hacer una ranura de 3cm a la masa, los dos lados deben mantenerse y no caer.
- La forma debe ser limpia y lisa. Se puede añadir agua con una tabla de madera. Se debe nivelar la masa y colocarla en el molde que previamente se ha humedecido.
- En el molde, la mezcla tiene que cubrir bien toda la superficie, con ayuda de los dedos para llegar bien a las esquinas de éste. Se puede añadir porciones de masa para llenar el molde y alisarlo con una tabla de madera.

Para evitar romper algunos ladrillos con el fin de obtener mitades o dos tercios de ladrillos, existen muchas veces unos moldes que permiten fabricar simultáneamente ladrillos enteros y partes de ladrillos.

- Se debe retirar el molde lentamente y en vertical. Si aparecen grietas en la superficie se debe añadir agua suavemente. Para seguir utilizando el molde se deberá lavar en caso de que alguna porción de mezcla continúe pegada.
- La parte superior del bloque sufrirá una retracción cuando se seque. Tras retirar el molde, el bloque de adobe tendrá un lado cóncavo y otro convexo. Para su correcta colocación en el muro, es necesario hacer un dibujo (como apoyar un dedo para dejar la huella) en la parte cóncava. Tras el secado, cuando el bloque se coloque, se deberá colocar esta parte hacia abajo.

Es importante que todos los bloques se coloquen de esta manera ya que así el mortero asentará de una forma más firme. Además, si el adobe se apoya por el lado cóncavo hacia arriba, el mortero se acumulará en el centro y no se repartirá de forma uniforme.

Si se coloca de forma correcta, se potenciará la forma que tiene el agua de transcurrir por el bloque, quedándose en la parte exterior del muro donde es más fácil que se evapore.

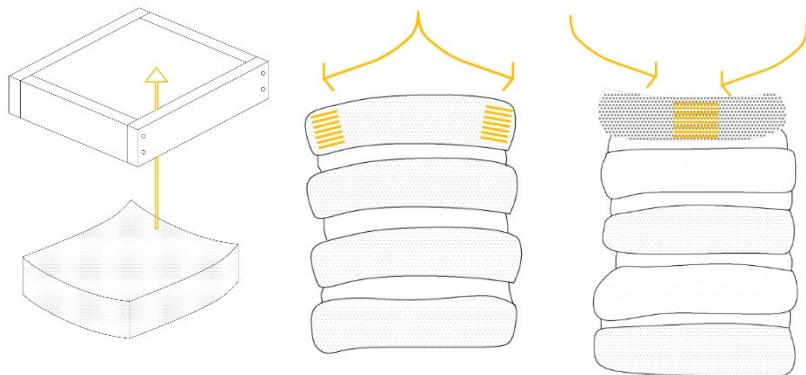


FIG. 06

- Los adobes deben dejarse secar de esta forma unos tres o cuatro días. Después, cuando hayan secado lo suficiente para que se mantengan en pie, se girarán 90° sobre su lado más estrecho.

Puede hacerse directamente al sol, sin cocción, y si es necesario bajo un invernadero en caso de clima variable. Necesita una atmósfera bastante seca, a falta de la cual la solidez de los ladrillos puede quedar comprometida. En los países africanos desérticos (Níger), la tierra (laterita) está desecada por el sol hasta tal punto que constituye una costra dura que puede ser recortada directamente en el mismo suelo, en forma de ladrillos. Naturalmente se alteran con la humedad y no resisten de ningún modo la lluvia.

- De esta manera, los bloques deben secar durante diez días, según el clima. Es recomendable organizar un patrón en zigzag para evitar que si uno cae, caigan todos por efecto dominó. También se debe eliminar cualquier material que quede suelto en la superficie del ladrillo. Una vez secos, se puede utilizar una paleta de albañil para limpiar la superficie y perfeccionar los bordes del adobe.

Cuando la mezcla tiene un alto contenido en arcillas, el resultado no es el deseable ya que, se producen grandes grietas y es fácil de romper. Por otro lado tendremos una textura más suave y mayor compacidad. Cuando la mezcla tenga un alto contenido en arena, no

se producirán grietas pero será muy fácil de romper, será fácilmente erosionable y la textura será áspera.

Debido a esto, la mezcla ideal contendrá un equilibrio entre la proporción de arena y arcilla, proporcionando una textura suave y sin grietas, aportando al bloque resistencia frente a roturas y la erosión

- Hay formas más recomendables de apilar y almacenar los bloques, en la imagen se muestra una de ellas. Cuando se apoyan en diagonal, unos sobre otros, se aplica menos peso a los bloques de abajo.
- Se deben almacenar sin ejercer presión y protegiendo la parte superior con una lona, metal o madera con peso, pero dejando los laterales libres, ya que el adobe debe respirar.

Una vez que los bloques de adobe están adecuadamente almacenados podemos proceder a levantar los muros, pero tenemos que tener en cuenta diversos aspectos que pueden afectar a la calidad, estabilidad y durabilidad del muro,¹⁶

¹⁶ Fuente: Uviña, F. 2006. Adobe Conservation. Santa Fe: Cornerstones Community Partnerships

Principales causas de las fallas en construcciones de adobe¹⁷

- Construcciones sobre terrenos blandos
- Mala calidad del adobe
- Dimensiones inadecuadas en altura
- Trabas inadecuadas y deficientes (provocando encuentros de juntas verticales continuas de tres y más hiladas)
- Deficiente mano de obra en la colocación
- Mal dimensionamiento de los muros (poco espesor y excesivo alto)
- Muchos vanos y pocos llenos en la distribución de un paño de un muro
- Poca protección frente a la erosión
- Uso exagerado de los muro de soga
- Falta de rigidez horizontal de los techos
- Inadecuada longitud de los aleros de los techos para proteger los muros de las lluvias
- Vanos de puertas y ventanas muy anchos y deficiente empotramiento de los dinteles
- Techos muy pesados y soluciones constructivas deficientes en su empalme con los muros de adobe

Además, antes de pasar a la construcción será importante realizar una prueba de selección de tipo granulométrica, de plasticidad y de resistencia, con el fin de asegurarse que la mezcla es adecuada para continuar con el proceso.

¹⁷ Fuente: Morales R., Torres R., Irala C., L. Renglio. (1993) Manual Para La Construcción De Casas En Adobe. Lima.

3. BTC (bloques de tierra comprimida)

Los bloques de tierra comprimida no han aparecido recientemente, ya que en 1950 el ingeniero Raúl Ramírez conquistó el mercado internacional debido a su ligereza y simplicidad. Tras el perfeccionamiento de la técnica se hizo popular en el terreno de los programas de vivienda económica en África y América latina.¹⁸

Se fabrican con prensas bien manuales o bien mecanizadas con tierra húmeda y aún en estado de polvo que esté compuesta en una proporción equilibrada de limos, arcilla y grava. Es normal añadir cal y cemento para aumentar la resistencia mecánica. Hay unidades industriales que son capaces de fabricar 50.000 bloques al día, pero el hecho de producirlos y transportarlos hace que no sea tan rentable económicamente hablando como utilizar las prensas ligeras.

En la siguiente tabla podemos ver una comparación de las propiedades de un bloque de adobe y un bloque de tierra comprimida. Se puede observar cómo éstas son mejores para los bloques de tierra comprimida.

	Adobe	BTC
Densidad (Kg/m ³)	1400-1700	1700-2000
Módulo de Young (kg/cm ²)	7000-70000	10000-70000
Resistencia a compresión (g/cm ²)	10-20	10-50
Calor específico (Kcal/kg)	0,203	0,155-0,220
Conductividad térmica (W/m°C)	0,55-0,80	0,80-1,10
Coeficiente de amortiguamiento (%)	5-10	5-10
Desfase diario (h)	10-12	10-12

El proceso de producción consta de diferentes pasos, al igual que en el adobe:

- 1.- Desde su preparación la tierra se aplasta y tamiza para obtener la textura deseada, polvorienta, húmeda y homogénea.
- 2.- La mezcla se pasa al molde de la prensa.

¹⁸ Fuente: Dominique Gauzin-Müller. 2016. Architecture en terre d' aujourd' hui. París: Museo éditions

3.-La tierra se comprime manualmente.

4.- El bloque se saca del molde de la prensa con mucha precaución ya que las aristas son muy frágiles.

5.- Cuando ya están estabilizados se apilan en una zona de almacenaje donde se van a proceder a curar sobre una lona durante aproximadamente 28 días.

6.- Los bloques de tierra comprimida se colocan en el muro con un mortero de tierra.

4. Tapia

Los primeros muros en tierra apisonada datan del siglo 5000 a.C. y el sistema consiste en el relleno de un encofrado de tierra apisonada con capas de un espesor de 10 a 15 cm.

Para la realización del encofrado se unen dos tablones de forma paralela mediante un travesaño. Es una técnica que se sigue utilizando en la actualidad debido a su rapidez de levantamiento de los muros.

A lo largo de los siglos se ha ido perfeccionando la tecnología con la que se puede llevar a cabo, como pisones eléctricos o neumáticos para compactar la tierra, de esta forma se pueden reducir los gastos de la mano de obra.

En la actualidad, se han realizado borradores para recoger las normas de la construcción de las tapias, como la norma UNE 2008 y el código técnico, pero ninguna lo ha llevado a la práctica.

Para la compactación, la humedad de la tierra a utilizar debe ser mayor en comparación a las otras técnicas estudiadas con el adobe o el BTC.

Durante su puesta en obra es necesario el encofrado, que es su forma más tradicional, están separados por medio de travesaños con un espesor a tener en cuenta, ya que posteriormente, ese espacio vacío deberá ser rellenado. Desde el FEB se han desarrollado sistemas optimizados y también otros sistemas de encofrados sin travesaños.

Las recomendaciones más importantes para la construcción de tapias son:

- Rígidez del encofrado para que no se produzca pandeo
- Piezas ligeras para facilitar su transporte
- Facilidad de ajuste de las piezas en horizontal y vertical
- Variaciones en el espesor con tolerancia específica
- Variaciones de longitud para adaptar las esquinas

El proceso de ejecución consiste en el montaje sucesivo del encofrado horizontalmente, lo que genera juntas cada 50 o 80 cm de altura y la tierra de las capas inferiores están más secas que las superiores, produciendo grietas de retracción en la parte superior. Esto puede producir un humedecimiento y desintegración del muro.

La técnica francesa pisé resuelve el problema mediante una capa de mortero de cal antes de ejecutar el siguiente encofrado. Otro método para resolver este problema es la realización del muro en vertical.

En cuanto a la ejecución de vanos se puede recortar orificios una vez ejecutado el muro. Además se puede utilizar un machete o un alambre de púas para moldear las jambas. La consistencia de la tierra tiene que tener suficiente consistencia para introducir clavos sin taladro.

5. Aditivos y estabilización

Las características de la materia prima pueden mejorar mediante tratamientos especiales y aditivos, ayudando así a que los muros sean más estables, más ligeros y más duraderos en el tiempo mediante procesos relativamente sencillos y con resultados bastante buenos.

De esta manera, el estudio de estos procesos para ponerlos en práctica puede ayudar en gran medida a las propuestas de mejora, debido a su bajo coste económico y la simplicidad de ejecución.

La utilización de los estabilizadores en la preparación de los morteros de tierra interviene tanto en la ejecución de los muros (tierra comprimida, adobe) como para la realización de sus revoques. Éstos no necesitan obligatoriamente el mismo tipo de estabilizador. Por ejemplo, la fabricación de los ladrillos (adobe o por prensa) que supone un periodo de almacenamiento en la obra de construcción y numerosas manipulaciones hace preferible los adyuvantes de cemento o cal que reducen su fragilidad. El mortero que les sirve de mortero de acabado, en cambio, será más eficaz si se hace a partir de aditivos "con armazón" (paja, bosta animal) o impermeabilizadores (vegetales oleaginosos, betún...)¹⁹

Reducción de las fisuras provocadas por la retracción

Se deben evitar las fisuras, sobre todo en ambientes con alta exposición a la lluvia debido a la creciente erosión. La retracción durante el secado depende del contenido de agua, del tipo y de la cantidad de minerales arcillosos y de la distribución granulométrica de los agregados.

El estabilizador tendrá por objeto unir las partículas del hormigón entre sí, impedir que el hormigón absorba agua, y evitar así las variaciones o contracciones. Existe una gran cantidad de estabilizadores, los heredados de la arquitectura tradicional o bien los

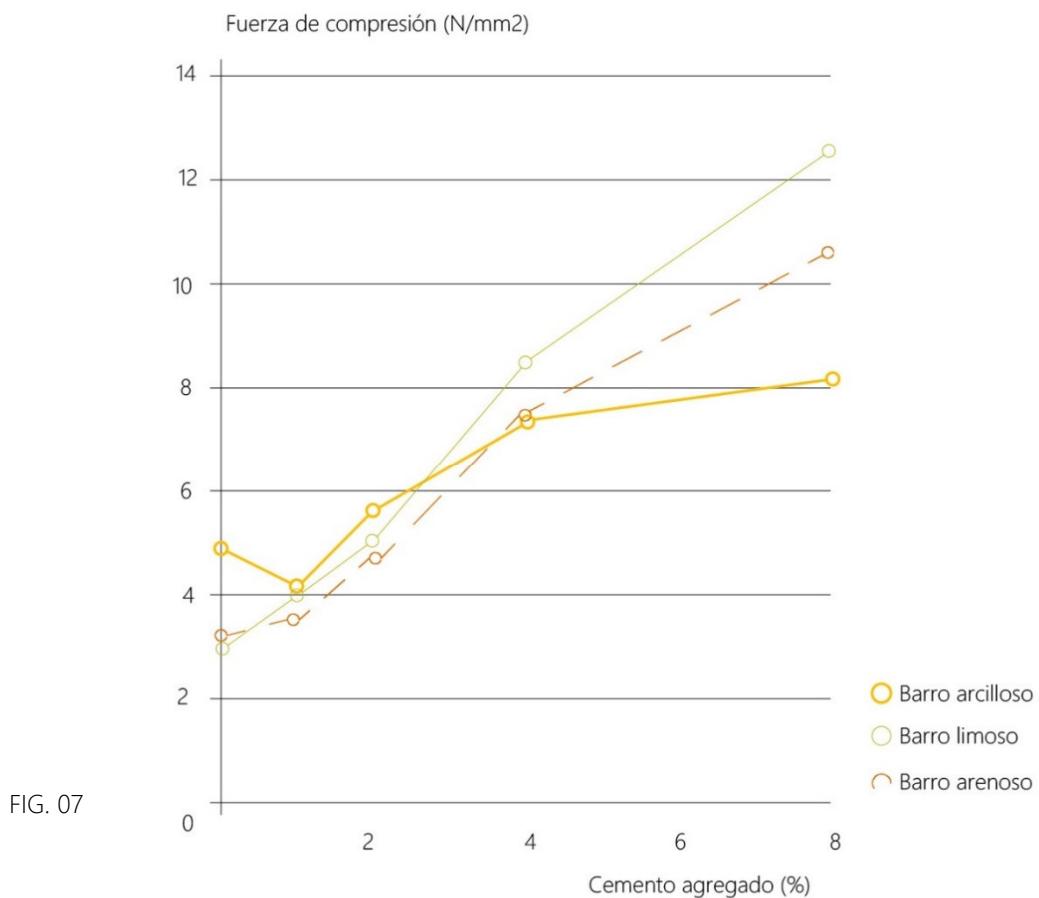
¹⁹ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

descubiertos recientemente. Pero todos ellos se inscriben en cuatro categorías según el efecto que tienen sobre las partículas.²⁰

Estabilización por cementación

Consiste en añadir el hormigón de tierra una sustancia capaz de solidarizar los granos de arena y las partículas a fin de formar un esqueleto interno capaz de oponerse a las variaciones de volumen de la arcilla y su absorción de agua.

Se puede utilizar también una mezcla de cenizas (de coque, de hulla...) y de cal y obtener así un cemento pobre, pero con buenas propiedades a pesar de todo.



²⁰ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

Adición de fibras

El contenido relativo de arcilla se reduce y parte del agua es absorbida por los poros de las fibras, y además se reduce la aparición de fisuras debido a que son las fibras incrementa la cohesión de la mezcla. Estos materiales funcionan como un esqueleto interno que aumenta la resistencia inmediata de la tierra, pero que disminuye ligeramente la resistencia final del hormigón seco; de una manera general, esta solución no protege totalmente el edificio de tierra de las infiltraciones de agua (por las fibras). En cambio asegura una buena subsistencia contra la erosión (de la lluvia y el viento) porque la capa exterior del hormigón está constituida por el material agregado, que es en sí resistente.²¹

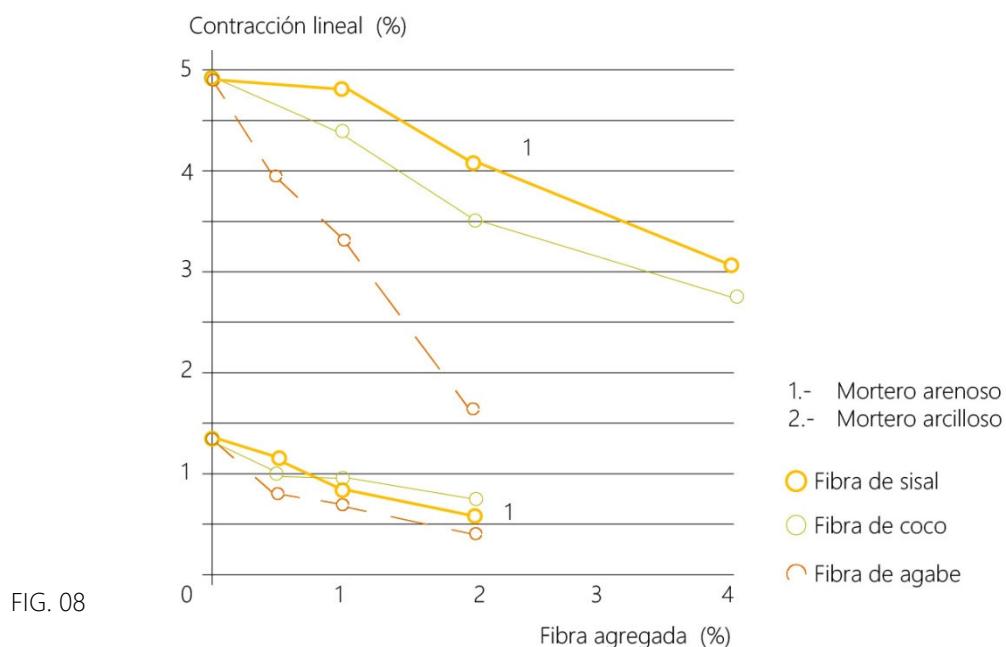


FIG. 08

Habitualmente se cree que todas las fibras incrementan la resistencia a compresión, pero cuando se añaden fibras pequeñas o pelos en pequeñas cantidades, la resistencia en tensión y por tanto, la resistencia a compresión incrementan levemente.

²¹ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

Sin embargo, cuando se añade paja, se produce el efecto contrario como demuestran las investigaciones del FEB.²²

Paja (%/masa)	Peso (kg/m ³)	Fuerza de compresión (N/mm)
0	1882	2.2
1	1701	1.4
2	1571	1.3
3	1247	1.1
4	872	0.3

²³

Impermeabilización

Consiste en envolver las partículas de arcilla en una capa impermeable con el fin de formar unos compuestos estables y volverlos insensibles a la acción de la humedad. Un ejemplo es el betún que crea una capa con un espesor de algunas micras, dejando que la mezcla conserve su composición y cohesión, pero pierde plasticidad y los cambios de volumen no son tan importantes. También se puede utilizar el aceite de coco, las savias de ciertas plantas de caucho, el pudrimiento de plantas de savia oleaginosa o látex, como las hojas de plátano tropical, los aceites vegetales...²⁴

Medidas estructurales

Es el método más simple: reducir las dimensiones de los elementos e incrementar el tiempo de secado. En el proceso se secado se deben voltear verticalmente y protegerlos del asoleamiento y brisa para garantizar un proceso de secado homogéneo y lento.

Otro método es diseñar juntas de retracción, evitando así fisuras de retracción. Estas juntas pueden sellarse posteriormente por separado.

²² Forschungslabor für Experimentelles Bauen. (Laboratorio de investigación para construcciones experimentales)

²³ Reducción de la resistencia a compresión del barro con adición de paja cortada

²⁴ Fuente: Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. Arquitecturas de adobe. París: Gustavo Gili

Aditivos

La cohesión de barros pobres puede incrementarse con suero, cuajada descremada queso fresco, orina, estiércol, aceite de linaza doblemente cocido o cola de cal y caseína. Los resultados deben ensayarse en cada caso antes de usar los aditivos en los elementos de construcción.

No es común aumentar la resistencia a compresión (normal de 20-50kg/cm²), normalmente no es requerida, solamente ocurre cuando las cargas son mayores debido a que la construcción se compone de varias alturas. La mayor necesidad de aumentar esta resistencia está en las esquinas que necesitan protegerse de los impactos.

Esta resistencia depende sobre todo de su composición granulométrica, del contenido de agua, de la compactación y del tipo de arcilla. La mejor situación es en la que la arena y la grava están bien distribuida. Algunas universidades (Zúrich y FEB²⁵) han comprobado que el barro ligeramente húmedo y compactado en una prensa de bloques de suelo usualmente posee una resistencia a compresión menor que el mismo barro con suficiente agua, mezclado a mano y finalmente puesto dentro del molde (como en el adobe).²⁶

²⁵ Forschungslabor für Experimentelles Bauen. (Laboratorio de investigación para construcciones experimentales)

²⁶ Fuente: Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

6. Cimentación

Primero realizaremos un estudio de las bases para empezar los muros, es decir, la cimentación. Si la cimentación no está realizada de una forma adecuada, más tarde, aunque el levantamiento de los muros se haga satisfactoriamente, es posible que se derrumbe o que no aguante bien las cargas de la cubierta.

La zanja para el cimiento debe tener una profundidad mínima de 40cm y por lo menos ser 20cm más ancha que el muro que se va a construir.

La preferencia es de hormigón ciclópeo, Las proporciones en volumen de los materiales que se deben utilizar son: 1 cemento por 10 de hormigón. Se debe añadir la mayor cantidad posible de piedra grande, que normalmente constituye 1/3 del volumen del cimiento. Las proporciones serán: 1 de cemento, 4 de arena, 8 de gravilla y 10 de piedra.

El sobre-cimiento será de hormigón ciclópeo y medirá 25cm como mínimo sobre el suelo para proteger las primeras hiladas de adobe de la erosión de las lluvias en proporción 1 de cemento y 8 de hormigón. Para el refuerzo de los muros se pueden usar otros materiales como la madera.

En las zonas lluviosas se recomienda hacer un canal de 15cm y 20cm de profundidad para desaguar el agua que cae de la cubierta.²⁷

²⁷ Fuente: Johan van Legen (2011) Cantos del arquitecto descalzo. Argentina: PAX MEXICO

7. Revestimientos

Hay muchas formas de revestir un muro que se ha construido con adobe o BTC y depende básicamente de los materiales que se vayan a utilizar y de cómo se fija al muro.

El material de revestimiento debe ser más o menos parecido al material al que se va a fijar para que se adhiera y no se desprendan.

Las soluciones más comunes son:

- Revestimiento de tierra: se utiliza el mismo material que en el muro, con un 50% más de arena y el 2% en peso de paja o pasto seco. Este barro puede estabilizarse con asfalto en una proporción del 2%.
- Revestimiento de tierra con cal: se compone de 5 partes de tierra y una de cal apagada. Para realizar este revoque es importante preparar antes la superficie, ya que debe ser rugosa para que se adhiera. Esto se puede realizar mediante un rastrillo sobre los bloques de adobe en diagonal. Otro método es humedecer la superficie para luego rayarla. También es conveniente realizar antes un ensayo de adherencia sobre un ladrillo. Éste debería quedarse pegado hasta que se seque totalmente después de dos o cuatro días. Si se desprende la mezcla no es la adecuada.

Los revoques exteriores deberán ser resistentes a los cambios de temperatura y a la humedad. Éste debe ser más elásticos que la superficie a la que se ha adherido para resistir estos cambios del exterior. En climas fríos no se recomienda este tipo de revoques si no hay un alero de la cubierta que lo proteja.

En el interior, este tipo de revoque puede ser sellado con pintura en caso de que se produzcan fisuras. Es recomendable que no tenga un espesor mayor de 1,5mm

- Revestimiento de yeso con cal: primero se reviste con tierra y la segunda capa con una parte de yeso, una de arena y una décima de cal.

- Revestimiento de tierra con cemento: se utiliza una tierra arenosa y se mezclan 10 parte de tierra con una de cemento. Se debe emplear un sistema de fijación, que puede ser utilizando juntas hundidas en los muros o una malla metálica.
- Revestimiento de arena, cemento y cal: es una mezcla compuesta de una parte de cemento, una parte de cal y de 6 a 8 partes de arena. También se debe emplear un sistema de fijación, ya sea una red de alambre o una malla clavada.²⁸

Es importante que la capa de revestimiento no sobrepase los pocos milímetros, porque si no se producirán efectos indeseados como las fisuras debidas a la retracción del agua. Si es necesario que sea más espeso se debe aplicar en diferentes capas. Además la superficie deberá estar seca para que no aumente la retracción y además deberá ser rugosa.

Es conveniente que a la hora de aplicarse, el mortero se lance, ya que aumenta la adherencia. Para aumentar la resistencia se pueden añadir aditivos ya mencionados antes.

²⁸ Fuente: Morales R., Torres R., Irala C., L. Renglio. (1993) Manual Para La Construcción De Casas En Adobe. Lima.

8. Sismos

En cuanto a la resistencia de las construcciones de adobe ante los sismos podemos decir que es baja debido a diferentes factores, los más significativos son la falta de arrostramientos de los muros y los huecos en éstos. Normalmente las fuerzas se concentran en las esquinas de las aberturas creando grietas.

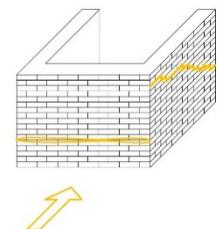


FIG. 09



Para disminuir el riesgo de colapso de la estructura es necesario que las construcciones no tengan diferentes niveles y alturas, y si es así que estén separadas estructuralmente y las plantas deberán ser todo lo compactas posibles. Los cimientos deben estar reforzados y trabajar como una zapata corrida bajo el muro portante.

También es importante que esta junta esté bien fijada para resistir el cortante que se produce. Al igual, en la cubierta habrá un anillo perimetral que enlace toda la estructura, y ésta será lo más ligera posible. Estos muros portantes no pueden ser inferiores a los 40cm y mantener una proporción en la altura, es decir, no ser 6 veces mayor que el grosor de la fábrica.

"Un concepto importante para realizar construcciones en zonas sísmicas es intentar que las uniones sean fijas y fuertes, pero no totalmente rígidas, es decir, evitar empotramientos, ya que en otro caso aparecerían agrietamientos y fisuras por movimientos torsionales en el interior de los elementos estructurales, llevando al colapso la construcción. Por tanto, es necesario permitir un cierto movimiento para que así puedas los muros y pilares absorber las posibles vibraciones trasmitidas por el terreno "²⁹

²⁹ Francisco-José Pinós. 2012. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos.

En los dibujos siguientes se muestran diferentes posibilidades para arriostrar el conjunto. Existen distintas posibilidades, con hormigón armado, con bambú y con vigas de madera.

Además, las esquinas de los huecos deben estar reforzadas, ya que son la parte más débil, con pilares de madera, de forma que las fuerzas horizontales no muevan estos elementos.

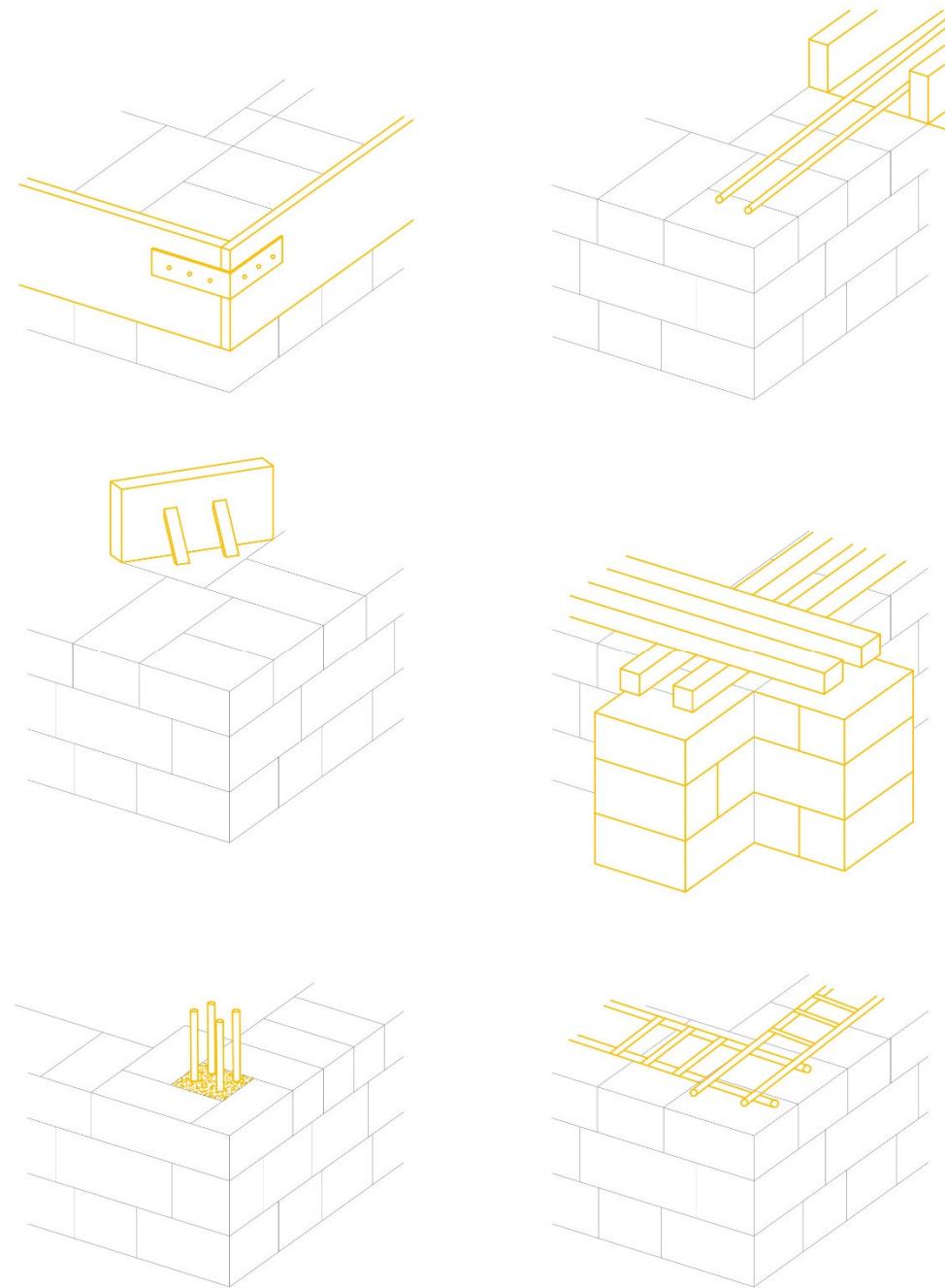


FIG. 10

9. Casos de estudio

Los siguientes proyectos han sido seleccionados bajo unos criterios de relación con la técnica constructiva, la iluminación, el contexto en el que fueron construidos y el clima con el que trabajaremos en los siguientes apartados. En ese sentido, con el objetivo de aprender de las estrategias de la arquitectura contemporánea, se realiza el estudio de cuatro proyectos de los últimos años.

Grupo escolar Panyaden, 2010, Tailandia

Esta escuela tiene como objetivo que los estudiantes introduzcan en las comunidades de las que proceden el concepto de "Green living" que aprenderán en esta. La escuela, que es privada y bilingüe, tiene unos 375 estudiantes.

La Escuela Panyaden tiene como objetivo ofrecer una educación holística que integre los principios budistas y la conciencia ecológica.

Esta escuela está situada en los alrededores de Chiand Mai y tiene una superficie de 5000 metros cuadrados con un conjunto de piezas colocadas de forma orgánica en el terreno.

Estas piezas pueden contener diferente programa. Por un lado están las aulas y por otro los pabellones sala.

Constructivamente, los pabellones aula tienen separaciones de muros de carga de tierra que separan las clases y los muros exteriores están formados por bloques de adobe.

Los huecos de las aulas están construidos con madera local, pero incluyen una novedad. Además de estos huecos, también hay otro tipo: huecos realizados con botellas y tapas de lavadoras en la fachada sur-oeste que introducen más luz natural pero de manera más difusa.

El otro tipo de pabellón se utiliza para usos comunes, como el salón de actos y la cafetería. Estos espacios más amplios necesitan pilares que están compuestos por bambú, que nacen de los cimientos de piedra y suben hasta la cubierta.

Los diseños de todos los pabellones se inspiran de elementos encontrados en la naturaleza y en la vida tailandesa diaria.

Toda la escuela ha sido construida a partir de tierra local y bambú de los bosques cercanos que ha sido tratado de forma natural para soportar los elementos.

Estrategias:

- Luz difusa con botellas y tapas de lavadoras → Economía de medios y protección de fachadas difusas
- Ventilación cruzada y natural
- Bambú entre las hiladas → Anti seísmo y economía de medios
- Construcción de aulas separadas para utilizar un sistema correcto en la parte del programa que lo necesita.

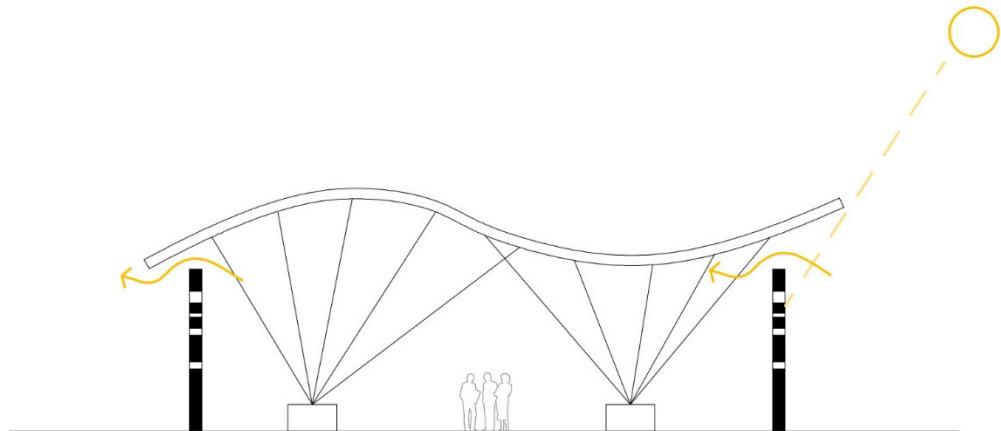


FIG. 11

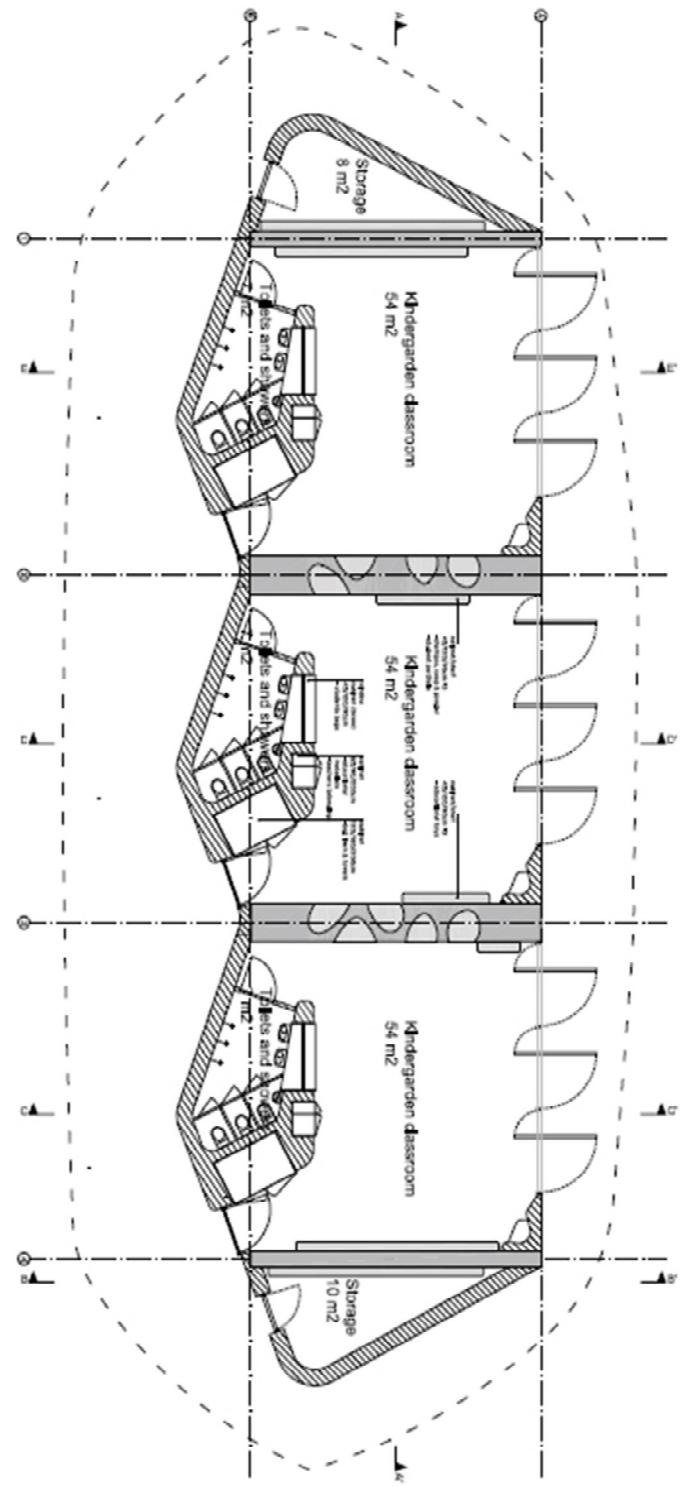


FIG. 12

Colegio Kler Deh, 2015, Birmania

Este proyecto empieza a desarrollarse en 2009. Se trabaja para crear nuevas infraestructuras que son necesarias en la zona de la frontera entre Tailandia y Birmania.

Esta escuela intenta no abandonar la armonía con la naturaleza propia de este pueblo. De una forma muy sostenible, utilizan madera y bambú de los bosques de alrededor y las gravas y la arena del adobe proceden de los ríos cercanos. Asimismo, las fibras naturales proceden de las granjas del pueblo.

El proyecto es sencillo, está compuesto de volúmenes simples realizados en adobe sobre los que sobresalen las cubiertas de acero que protegen de la lluvia y el viento los muros.

Este es el primer instituto en esta zona, y se compone de dos nuevas escuelas, cuatro dormitorios, una cocina, dos baños y duchas y dos aseos.

La biblioteca y la oficina se construirán este año. El socio colaborador Solbakken Organization ha proporcionado agua potable y energía solar para el proyecto.

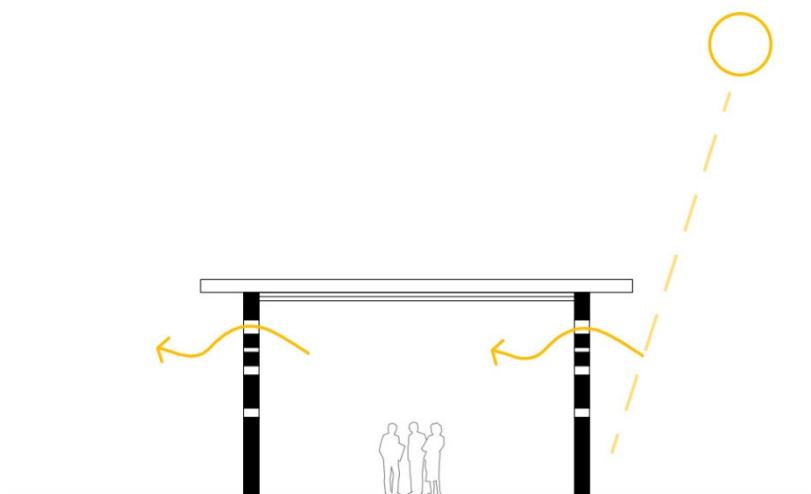


FIG. 13

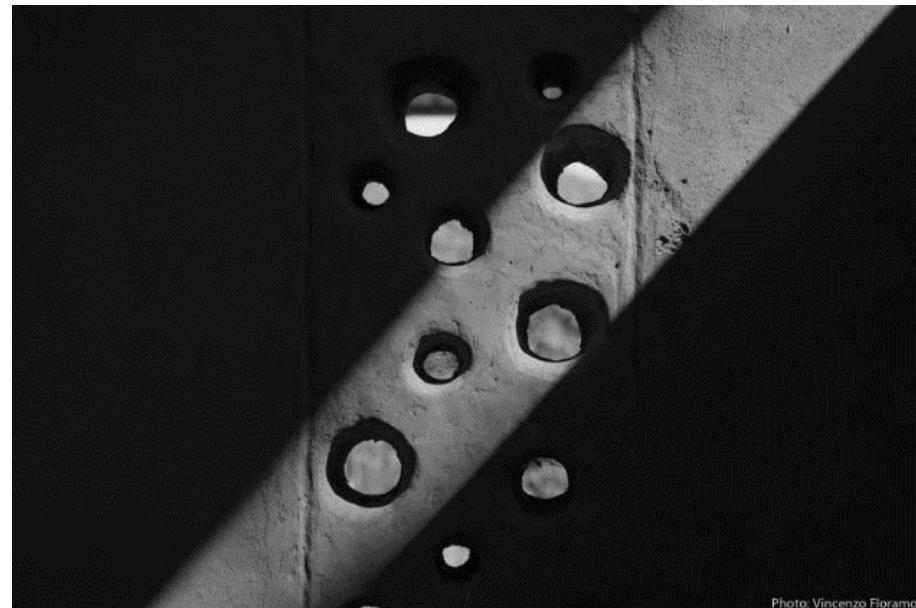


FIG. 14

Photo: Vincenzo Florano



FIG. 15

Photo: Vincenzo Florano

En esta imagen se muestran unos huecos con carácter menos importante y cuyo fin es ventilar las aulas. Estas pequeñas ventanas circulares están situadas estratégicamente para permitir que el aire exterior entre y fluya en el interior.

La localización de la escuela tiene un gran significado histórico. La ciudad tenía dos escuelas y un hospital cuando fue arrasada por el ejército Burmese y fue abandonada después del último ataque y los supervivientes se trasladaron a los campos del lado tailandés.

Una de las cosas más interesantes del proyecto es cómo comenzó, ya que nació gracias a la idea de la comunidad de asentar la situación de los habitantes, de forma que todos participaron intercambiando ideas.

Este es un paso difícil ya que las comunidades Karen no son democráticas, sino jerárquicas debido a su tradición miliar, pero cuando avanzan a una sociedad civil, es necesario dar un paso hacia un acuerdo democrático.

La inclusión de todas las partes implicadas y las discusiones referentes al proyecto es un proceso importante ya que da poder al individuo y a la comunidad que se sienten parte del proyecto.



FIG. 16

Estrategias:

- Volúmenes netos y sencillos → Economía de medio
- Ventilación natural y cruzada
- Expresividad y libertad en la cubierta
- Iluminación difusa por medio de los pequeños huecos

Escuela infantil comunidad de Aknaibi, 2014, Marruecos

El estudio de arquitectura belga BC architectes en colaboración con el estudio MAMOTH organiza un workshop con la comunidad de Aknaibi, en la región de Fez.

El proyecto consiste en la ampliación de la escuela para albergar una escuela infantil. Por ello, GoodPlanet, una fundación con fines sociales, lanza el proyecto influenciado por las técnicas y materiales de la zona, pero de una forma más contemporánea.

En los últimos años han aumentado los niños inscritos en las escuelas, pero aun así, la proporción de abandono escolar es muy alta, debido a las importantes distancias hasta la escuela más cercana y la falta de transporte público.



FIG. 17

Por ello, este proyecto tiene beneficios de dos tipos. En primer lugar económicos y sociales, ya que se mejora la calidad y confort de los niños, respeta el contexto cultural del territorio, se valora el saber hacer de los artesanos de la zona y se transitén sus conocimientos, y además se implica a la comunidad y a las autoridades locales en el proceso.

También tiene beneficios para el medio ambiente, debido a la utilización de materiales disponibles en la zona, es un edificio bajo en carbono, son sostenibles y perdurarán 200 años mínimo. También se necesita poca energía en la realización y utilización posterior.



FIG. 18

La cubierta de tierra y madera se sostiene gracias a los muros de tierra apisonada recubiertos por dos tipos de tierra, paja y arena. El recubrimiento interior da un acabado liso gracias a la composición de la tierra y el yeso. Esto permite crear un ambiente que hace difusa la luz del sol.

Con el fin de aislar el interior del calor, las fachadas oeste y este están sometidas a una alta exposición por lo que tienen un muro doble con una cámara de aire.

La fachada sur, la más expuesta, está perforada por pequeñas ventanas para permitir la ventilación de los espacios.

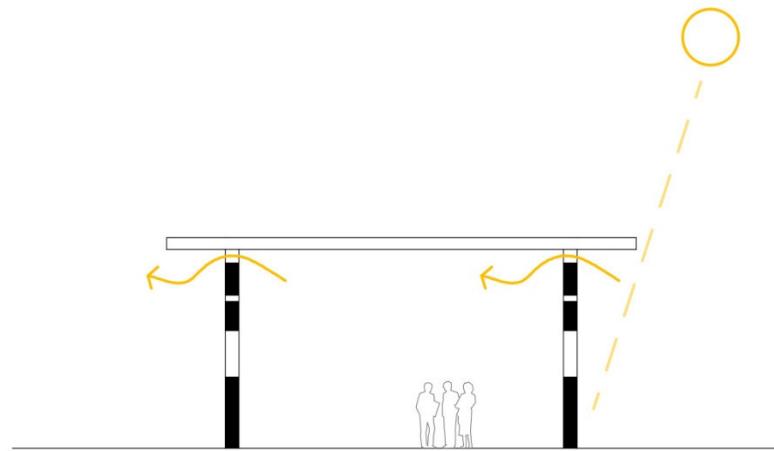


FIG. 19

Estrategias:

- Transmisión de conocimientos sobre la construcción entre generaciones.
- Celosía con el mismo material
- Cubierta con barro → con buen comportamiento higrotérmico
- Fachada diferente para cada orientación → Buen comportamiento bioclimático
- Muro doble en las fachadas con gran exposición y pequeñas aberturas en la fachada sur.

Universidad Indígena Chiquitana, 2001, Bolivia

La universidad indígena de la Chiquitania forma parte del programa Educacion para el desarrollo-Bolivia, coordinado desde la Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Este programa desarrolla mejoras en las técnicas de construcción locales y los proyectos son realizados por voluntarios de la universidad. Además se consigue que a población aprenda de estas mejoras con su participación en la ejecución. El proyecto está basado en las técnicas de la arquitectura tradicional, el adobe y la madera.



FIG. 20

La estructura está formada por muros de adobe de 40cm y una estructura de madera que soporta la cubierta y permite la iluminación mediante lucernarios que aportan también ventilación.

La arcilla extraída para realizar la cimentación se utiliza en la producción in situ de los adobes de 40x20x10cm.

El edificio está situado en una zona subtropical con una época de intensas lluvias. Para reducir el trabajo de mantenimiento se ha optado por la colocación de grandes aleros y porches. Además, los muros van revestidos con un revoco de tierra y cal.

Una vez finalizada la construcción se realizaron mediciones comparativas del confort térmico y lumínico dentro de las aulas de la

Universidad y de una escuela convencional para evaluar las mejoras alcanzadas.

Los resultados mostrados en las siguientes tablas muestran como la utilización del adobe reduce el salto térmico en comparación con un aula de un edificio convencional de ladrillo cocido en la misma orientación óptima norte-sur y de la misma tipología con porche en la fachada soleada. Aunque la instrumentalización se realizó en días distintos si se puede constatar el comportamiento general de las distintas tecnologías.

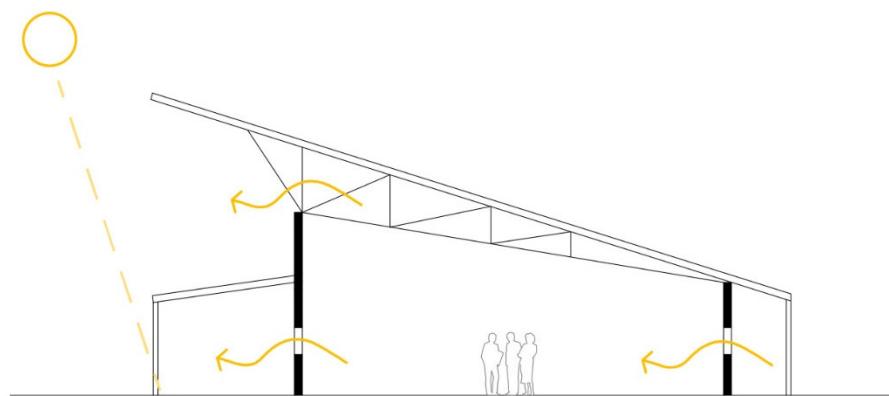


FIG. 21

Analizando las temperaturas de contacto en la superficie del muro en la fachada oeste de la Universidad, se aprecia que mientras que en el exterior se registra instrumentalmente un salto térmico de 25°C , en el interior se reduce a un salto térmico de únicamente 10°C , manteniendo mucho más estable la temperatura. La temperatura mínima en el exterior alcanza los 16°C pero en el interior nunca es inferior a 19°C .

La temperatura máxima en el exterior de 41°C mientras que en el interior no alcanza los 29°C . El comportamiento térmico de los muros de tierra mejora en gran medida con el efecto de la masa térmica debido al efecto del desfase térmico (16).

En la escuela de ladrillo, sin embargo, los datos de temperatura de contacto en la superficie de la fachada oeste, muestran que mientras en el exterior el salto térmico es de 16°C, la inercia del muro de ladrillo únicamente consigue rebajarlo a 13°C. Sorprendentemente hace más calor en el interior del aula, generando un ambiente fuera del ámbito de confort que dificulta la concentración de los estudiantes.³⁰

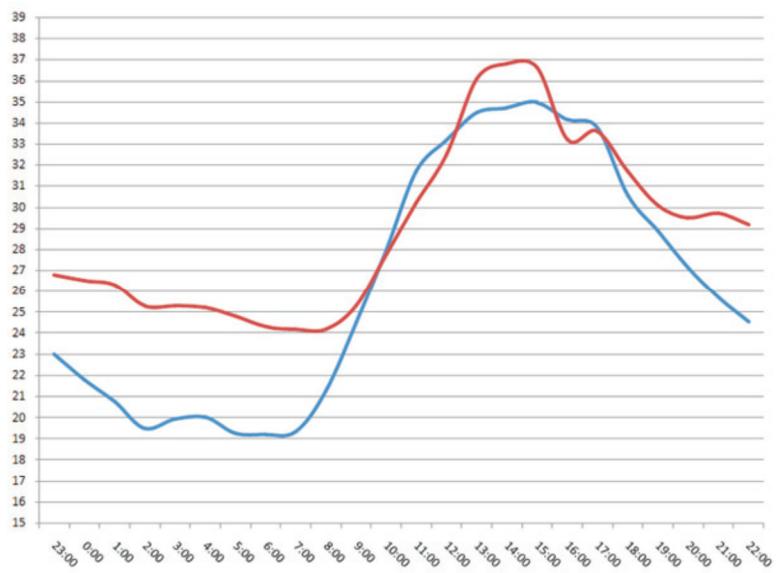


FIG. 22

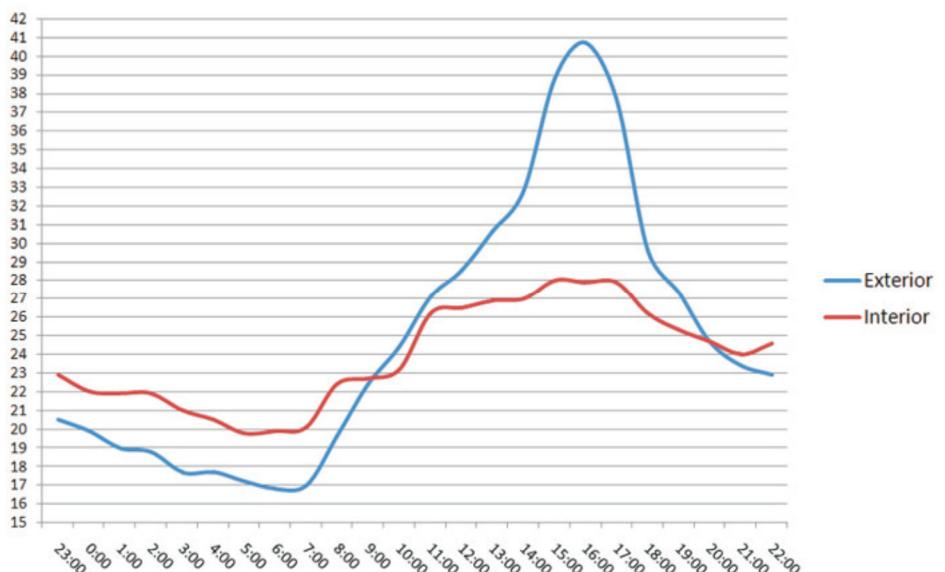


FIG. 23

³⁰ Imagen inferior adobe, imagen superior ladrillo.

Cuando en el exterior la temperatura ambiente aumenta y la humedad relativa disminuye, el edificio de adobe actúa mediante el mecanismo de refrigeración por evaporación y aumenta la humedad relativa interior en comparación con el exterior para lograr reducir la temperatura ambiente.

En cambio, en la escuela de ladrillo se observa cómo la poca amortiguación térmica coincide con la poca diferencia de humedad entre interior y exterior. Se constata que el edificio de ladrillo no realiza el mecanismo de control higrotérmico.

Estrategias:

- Porche exterior → Fácil circulación, protección solar y menor mantenimiento
- Conjunto de cubierta, muros de adobe y porche → Máximo confort higrotérmico
- Ventilación cruzada y salida del aire caliente

APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS EN SISTEMA DE ADOBE

1. Estudio estado actual de escuelas Lal-Handlala y Mahfud Ali-Beiba

Situación y clima

Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba se encuentran en las cercanías de Tinduf, una ciudad de Argelia, en la provincia del mismo nombre al suroeste de Argel. La población es de unos 48.000 habitantes, según datos de 2010, pero a ellos hay que sumar unos 90.000 refugiados que vienen del Sahara Occidental.

El clima de la zona es desértico y las lluvias raramente se producen. Las corrientes de aire frío de alta mar a veces producen niebla y rocío. La vegetación es escasa y sólo aparece en los oasis.

En los meses de invierno y primavera es bastante frecuente que aparezca el siroco, trayendo polvo y arena, que produce el llamado Harmattan, la mayor parte del tiempo, creando así un clima más caluroso y empeorando la visibilidad en los campamentos.

Mahfud Ali-Beiba

Situación, daira: Agti

FIG. 24

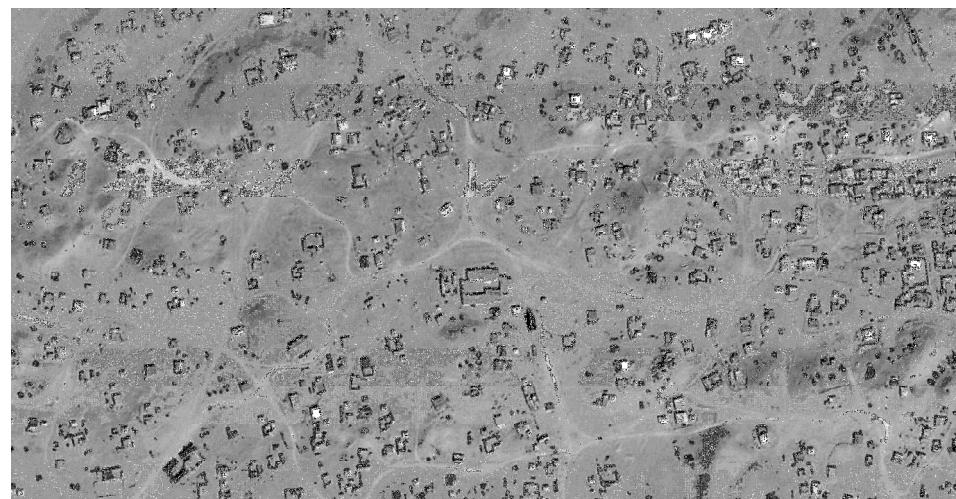
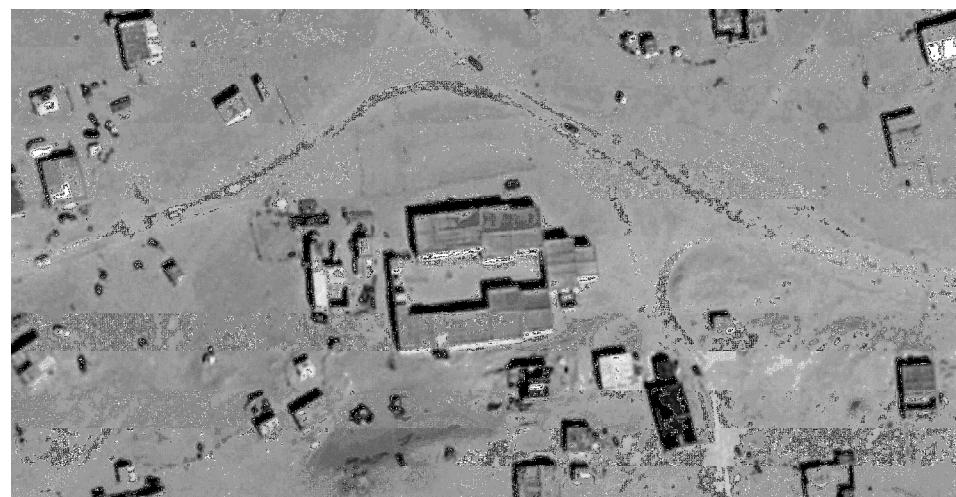


FIG. 25



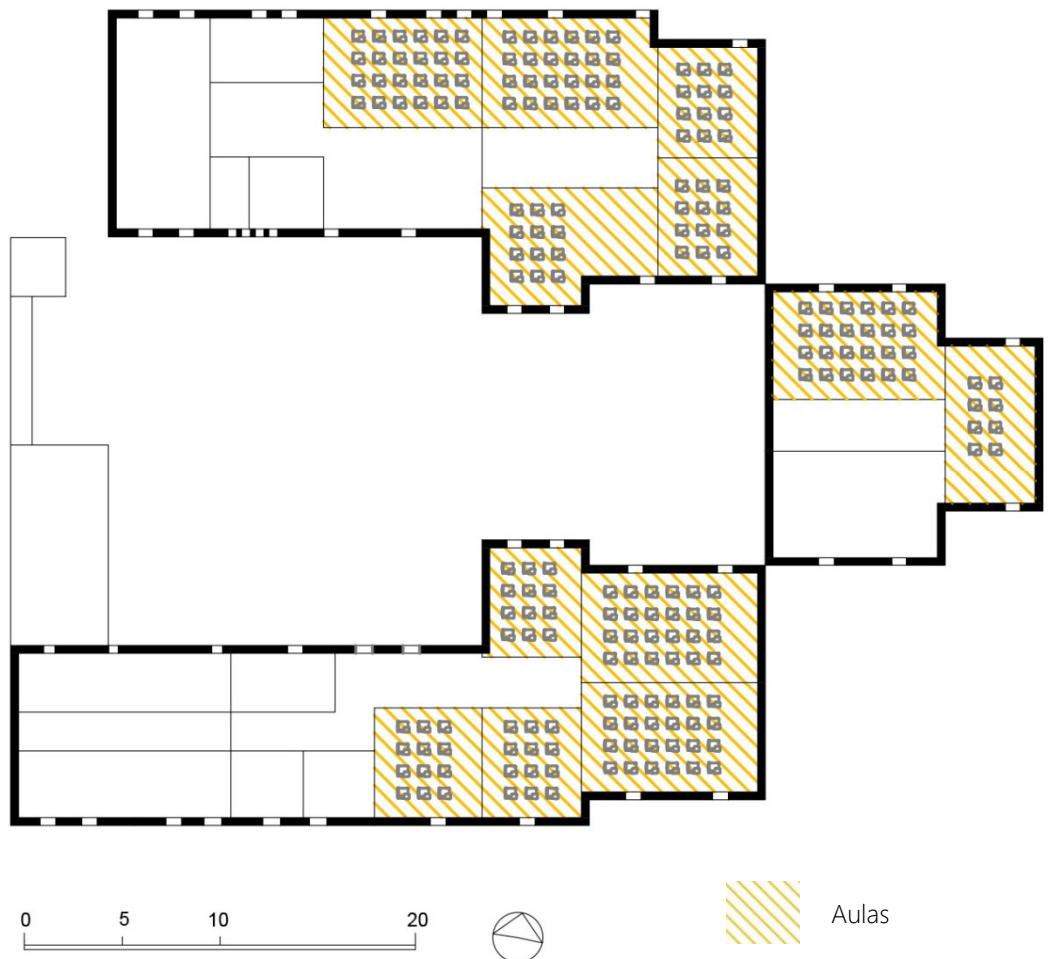


FIG. 27

CIMIENTOS

“La cimentación está compuesta por una hilada de piedra volcánica y una capa de hormigón. El proceso se repite varias veces.

Muchas construcciones se apoyan directamente sobre el terreno por lo que se derrumban con facilidad en caso de lluvias o con el siroco. Ahora se están empezando a ver más casas con cimentación.

Para las cimentaciones lo que suelen hacer, según me explicaba Charo, es alternar una primera hilada de una piedra de allí (tipo volcánica) con una capa de hormigón, varias veces.”³¹

La cimentación de esta escuela está compuesta por una base de hormigón ciclópeo con piedra volcánica local. Las proporciones de la mezcla son más difíciles de deducir, pero sobre esta base tenemos unos bloques de hormigón aligerado rellenos de hormigón.

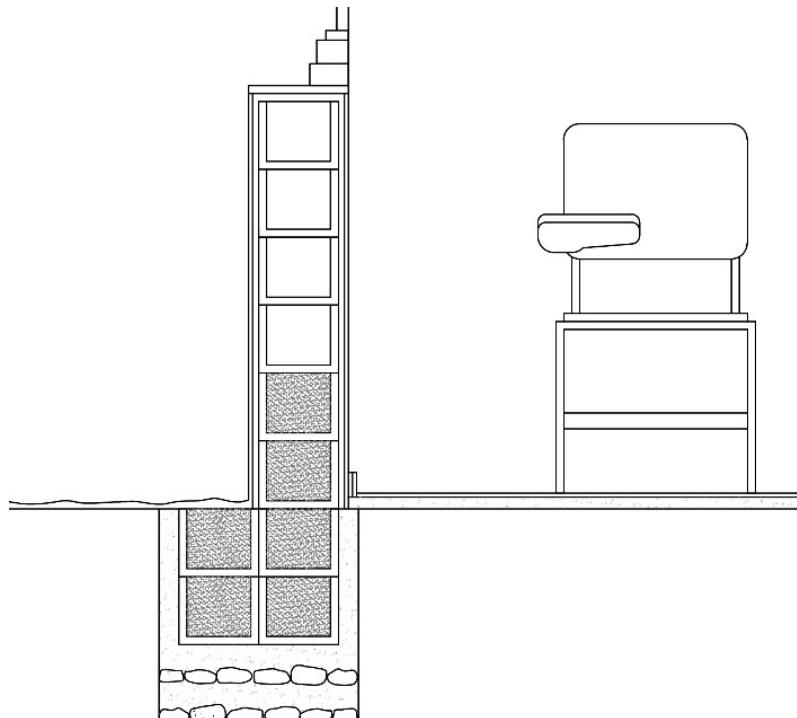


FIG. 28

³¹ Datos recogidos por Berta García Mombiela

MUROS

"Los muros están compuestos por ladrillos de adobe que forman la esquina con bloques de hormigón aligerado.

También hay partes de muro realizado con bloques de hormigón recubiertos de mortero de cemento y cal y de pintura plástica. Este recubrimiento es importante ya que protege de la lluvia y el viento.

*El mortero es rico en cemento y protege las capacidades portantes del muro frente a la lluvia y el viento aportando mejor consistencia y adherencia que el mortero de adobe.*³²

Las luces de los espacios de las aulas varían entre 6 y 12m, por lo que, de acuerdo con lo aprendido, los muros deberían ser de unos 1.2m en el caso de las luces de 12m. Sin embargo, lo ideal sería hacer los espacios de las aulas de una luz adecuada al sistema constructivo que se desarrolla, como 4-5m. Proporcionando el espacio necesario para realizar las actividades propias de una escuela y a la vez siendo coherente con el sistema constructivo en adobe y unos muros de unos 40-50 cm y una altura de 3.2m.

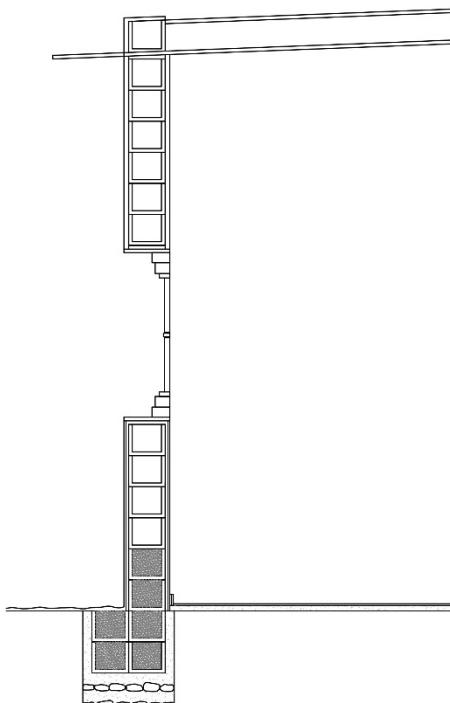


FIG. 29

³² Datos recogidos por Berta García Mombiela

HUECOS

“Los huecos se las ventanas se abren bajo dinteles de madera o de piedra y las ventanas están ancladas al muro. Cuando los cristales se rompen debido la arena que mueven los vientos, se reemplazan por plásticos translúcidos. Esto, sumado a la diferente orientación de las aulas produce una luz desigual entre las aulas.”³³

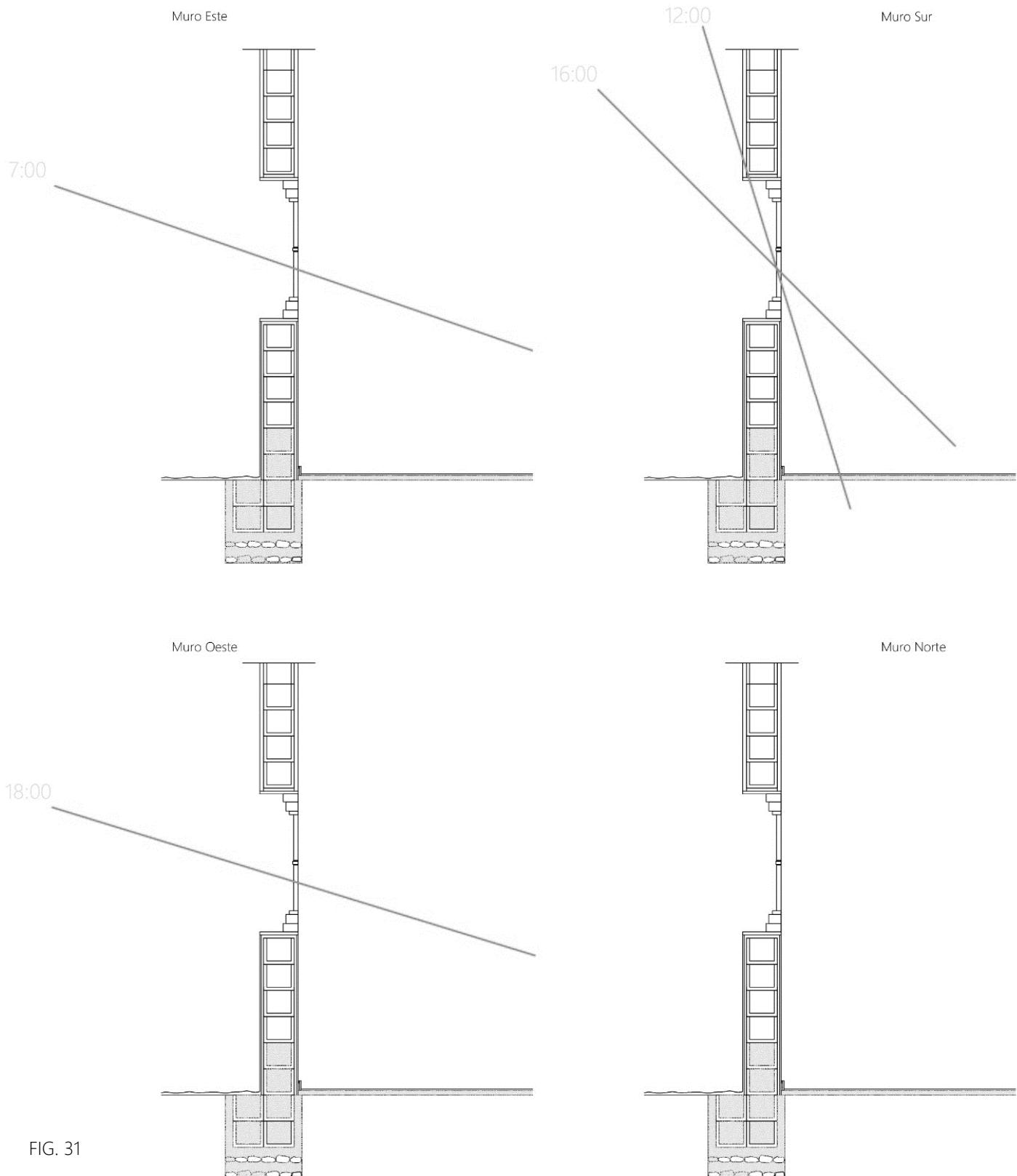
Los dinteles no se encuentran empotrados la distancia necesaria para resistir el empuje del muro. Además, las vigas colocadas para sostener el peso de la cubierta están colocadas sobre estos huecos, lo que produce que las cargas se transmitan al dintel provocando así su derrumbe.

En las siguientes secciones podemos observar cómo estos huecos que se distribuyen por todas las aulas sin tener en cuenta la orientación no son los más adecuados para el entorno y el clima, permitiendo que los espacios se calienten y la luz directa dificulte la visión.



FIG. 30

³³ Datos recogidos por Berta García Mombiela



1. Lal Handala

Situación

FIG. 32



FIG. 33



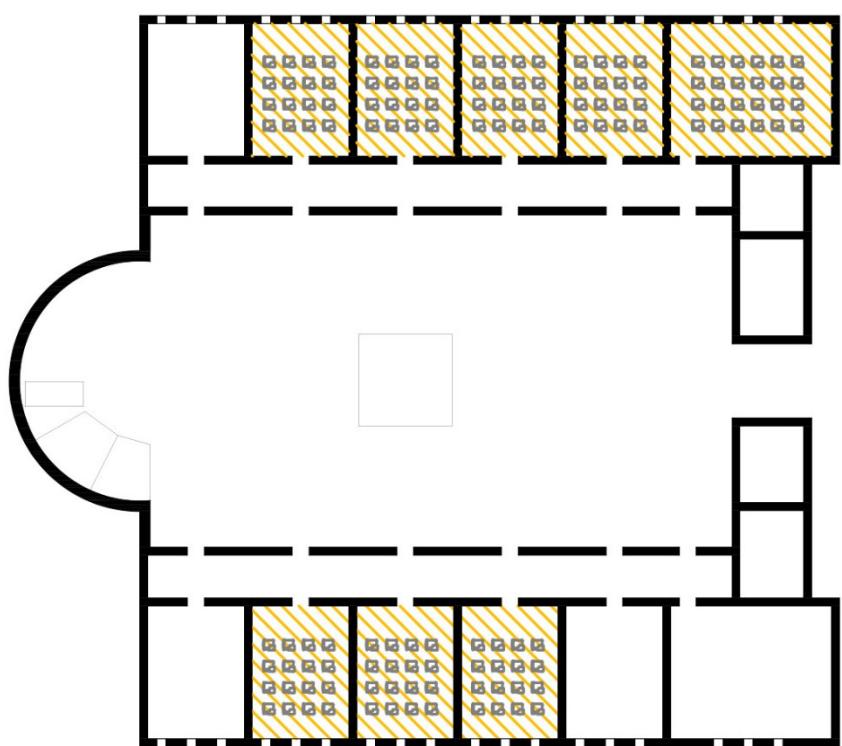


FIG. 34

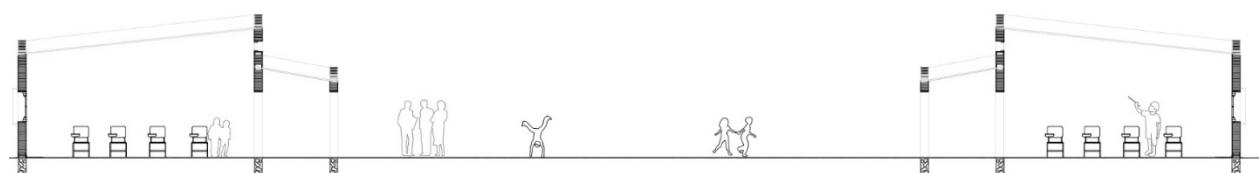


FIG. 35

CIMIENTOS

“La profundidad de las cimentaciones no supera en la mayoría de los casos los 60 cm .En la parte pegada al muro circular se puede ver la cimentación realizada con bloques de adobe fabricados con una arena más compacta.

- *Cimentación con piedra volcánica y hormigón*
- *Cimentación con adobe*
- *Sin cimentación, bloques colocados directamente sobre el terreno*

En la cimentación del interior del patio y en la acera de la fachada norte se intuye la cimentación con piedras gruesas y mezcla de cemento.”³⁴

La profundidad de la cimentación es adecuada, pero debería ser más ancha que el muro que se va a construir. Sí que se utiliza hormigón ciclópeo, con piedra volcánica de la zona, que es el más adecuado en las cimentaciones. La cimentación que se puede intuir en el patio y en la acera de unos 15cm puede ser adecuada ya que está compuesta por piedras grandes del hormigón ciclópeo.



FIG. 36

³⁴ Datos recogidos por Berta García Mombiela

MUROS

"Este colegio está construido con bloques de adobe (espesor del muro aprox. 40cm). En la parte circular, el adobe se coloca de forma simple (muro más fino) y en el resto de la escuela se coloca doblado.

Toda la estructura del colegio se realiza con los bloques de adobe, salvo en dos aulas (el aula de 5º curso y la sala de profesores). En estas se coloca un pilar doble de madera para salvar 9m de viga.

El revestimiento de los muros de adobe, al igual que en la escuela de Agti, se realizó con mortero de cemento y cal y sobre esta mezcla la pintura. En los baños y en la enfermería no se colocó revestimiento."

³⁵

La luz entre los muros en las aulas es de unos 6m, por lo que los muros deberían de tener aproximadamente 60cm de ancho. En los casos de las aulas con 9m de ancho, es necesario añadir un pilar de madera para salvar la luz. El sistema constructivo en adobe tan sencillo no permite luces tan grandes, por lo que ideal sería adaptar la tipología de escuela a este sistema constructivo para no tener la necesidad de pilares y vigas. Pero en el caso de añadir estos elementos, deberá estudiarse su posición, ya que en la posición actual en la que se encuentran, las cargas que trasladan desde la cubierta recae directamente sobre el hueco de la ventana, lo que provoca su derrumbe, reduciendo la entrada de luz notablemente.

³⁵ Datos recogidos por Berta García Mombiela

HUECOS

*"Los vanos de las ventanas se construyen con un dintel de madera. Hay dos tipos de ventanas, las de la fachada exterior son ventanas metálicas mientras que las ventanas que dan al patio son de metacrilato. Las primeras se anclan al muro mediante unos ganchos de metal situados en las cuatro esquinas de la ventana. Son totalmente opacas. La mayoría del tiempo están cerradas y la luz que entra a las aulas es a través de la puerta y de las 3 ventanas pequeñas que dan al patio. Estas ventanas se han construido con un marco de madera."*³⁶

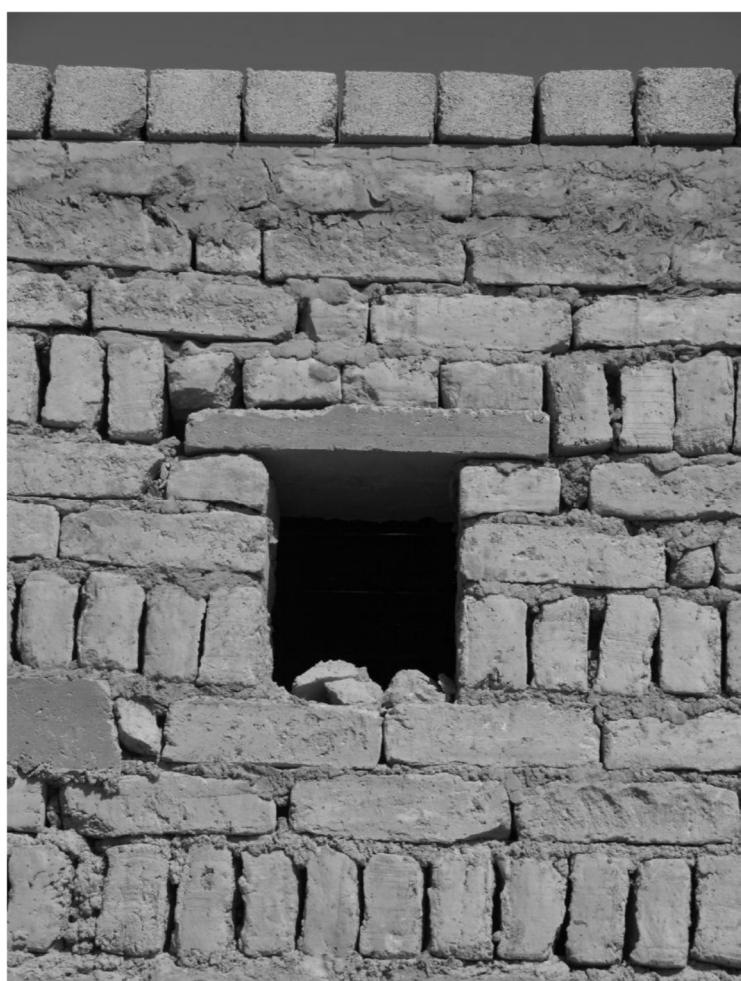


FIG. 37

³⁶ Datos recogidos por Berta García Mombiela

Las ventanas se encuentran cerradas para que no entre excesivo calor a las aulas o para evitar la entrada de arena que lleva el viento. Es la principal razón de la poca entrada de luz. Las ventanas que se mantienen abiertas son probablemente las de orientación norte, ya que la luz es más difusa y además, están abiertas hacia el patio que protege de los vientos más fuertes.

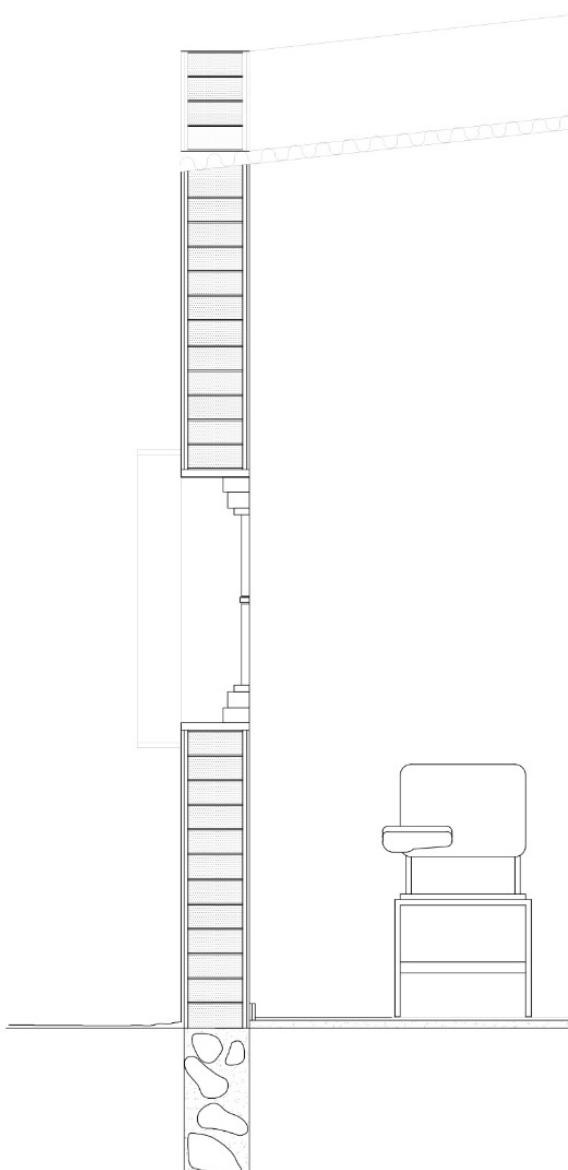


FIG. 38

2. Estrategia general

En la construcción de edificios implicado en una cultura y unas tradiciones distintas a la del arquitecto tiene mucha importancia que éste las sepa comprender y respetar. Para proponer nuevas formas de realizar las escuelas se van a cumplir unos requisitos de programa, pero además, estos espacios van a responder a unas necesidades de relación entre las personas que los van a habitar.

Para comenzar la aplicación constructiva, seguiremos unas estrategias básicas:

- Construir de forma similar a la técnica constructiva tradicional
- Aumentar la durabilidad de las partes con aditivos y otros materiales para disminuir su tendencia al deterioro.
- Emplear materiales reciclados y escombros para ahorrar en el consumo energético y reducir el uso de recursos.
- No producir residuos.
- Consumir una mínima cantidad de agua.
- Usar materiales reciclables.³⁷

Uno de los objetivos es mantener la identidad y el sentimiento de pertenencia. La construcción forma parte de la cultura aprendida y transmitida.

Es necesario un análisis de necesidades. La estrategia a desarrollar cambia según el concepto de confort y las necesidades de los usuarios. El usuario gestiona el medio ambiente de forma perceptiva y al parametrizar nos desvinculamos del medio.

También es importante el análisis de recursos, simplemente hay que mirar el paisaje. La arquitectura tradicional viene de la naturaleza y tiene poca intervención. Cada elemento tiene una función precisa. La arquitectura responde a los recursos que hay en el exterior.

³⁷ Fuente: Andrea Mara. Recuperación de la arquitectura en tierra de Zulia, Venezuela.

Para ello se realiza una selección consciente de los materiales. Se utilizan los materiales de las proximidades. Además se considera que las técnicas emergentes son un foco en las zonas rurales.

En cuanto a la forma, podemos concluir una serie de requisitos extraídos del análisis de la disposición y el programa de Lal Handala y de Mahfud Ali-Beiba.

- Patio y espacio de reunión. Las diferentes piezas crearán un espacio intersticial que enriquecerá la relación directa y visual entre los alumnos y profesores. Las piezas que vuelcan al patio conformarán el espacio.
- El programa básico estará formado por las aulas (dependiendo del número de alumnos), el salón de actos, la sala de profesores y un almacén, pudiéndose ampliar si se estima oportuno.
- Orientación de las aulas. Los espacios mirarán a norte por razones de confort climático que se explicarán más adelante.

3. Estrategia higrotérmica

La estrategia se basa en las propiedades del material con el que se va a trabajar, la tierra. Tiene la capacidad de absorber el calor durante el día y cuando llega la noche, ésta se enfriá emitiendo el calor hacia el interior de la estancia.

Si deseáramos calentar el espacio, deberíamos almacenar el calor del día para conservarlo en las horas más frías.



FIG. 39

Sin embargo, debido al clima, nuestro objetivo es el contrario, enfriar el interior. Por lo que debemos evitar la radiación solar y favorecer la emisión del calor absorbido en la noche.

Las escuelas harán el papel de cuerpo expuestos al sol, por lo que los muros son el sistema de: captación, almacenamiento y restitución.

Existen dos tipos de esquemas sencillos: sol, espacio y masa o sol, masa y espacio.

En el primero, el espacio de abre con vidrios al exterior y la radiación calienta el interior. En el segundo, el calor se capta gracias a un muro y poco a poco se extiende por el interior del espacio.

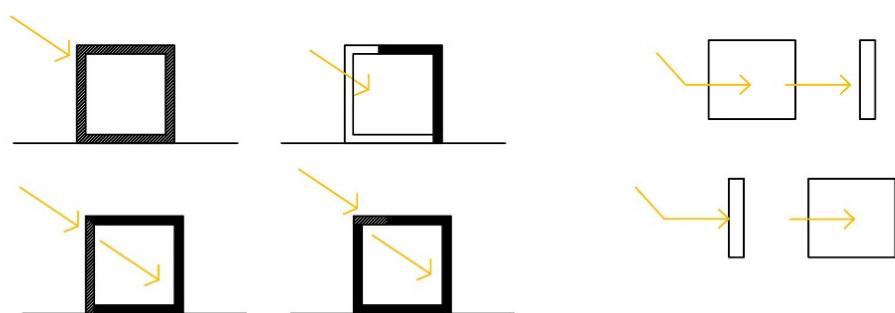


FIG. 40

Estos son los sistemas para calentar y por tanto, se evita la emisión del calor al exterior. Pero para nuestra propuesta se quiere conseguir el efecto contrario y deberemos evitar estas disposiciones frente a los rayos del sol y la idea principal será aislarse durante el día y abrirse durante la noche consiguiendo que los muros se refresquen.

Se intenta un confort en el interior del espacio gracias a la elección del material, ya sea vidrio, adobe, etc, consiguiendo, como ya se ha hablado, ya máxima economía de medios.

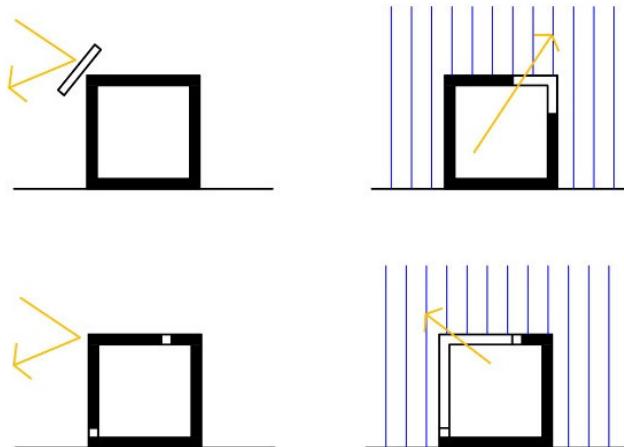


FIG. 41

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ADOBE

El planteamiento del sistema estructural se basa en la idea de mejorar las construcciones futuras con la mayor economía de medios posibles.

Por ello, el sistema elegido es el adobe y se ha dejado atrás la técnica de bloques de tierra comprimida, ya que la técnica conocida por los habitantes de los campamentos es esta. La implicación de las personas de la comunidad en la construcción del proyecto es muy importante, porque así se sentirán parte de las escuelas incluso antes de que esté construida.

También es un dato decisivo a la hora de elegir la técnica a utilizar, el tipo de tierra que ya existe en la zona. Hasta ahora los edificios de tierra han utilizado la técnica del adobe y la composición de éste suelo es la adecuada dicho sistema, ya que debido al suelo arenoso, la arcilla es inferior al 20% y la proporción de arena es superior al 45%. No resultaría productivo el uso de otra técnica como el BTC o la tapia.

Para la producción de la mezcla no es necesario ningún aparato, ya que la utilización de la hormigonera es opcional y se podrá realizar sobre el suelo con los pies. Como ya hemos mencionado, para realizar la masa, la tierra tendrá un 20% de arcilla y un 45% de arena y luego se añade el agua, hasta que tenga estado plástico. Será entonces el momento de añadir aditivos.

Tras analizar las necesidades y los problemas que se han registrado en los ejemplos de escuelas, uno de los estabilizantes con el que mejor resultado obtendríamos serían las fibras naturales. Éstas aumentarían la cohesión de la mezcla y por tanto proporcionarían una mayor resistencia del adobe al viento, uno de los factores más importantes.

Cuando la mezcla es uniforme y con la cantidad de agua adecuada, cosa que se asegurará con unas pruebas de campo muy sencillas, se procede a usar un molde de madera humedecido. El tamaño del molde tendrá el tamaño final de las piezas, por lo que tendrá estas dimensiones: 38cmx18x8cm.

Después se dejará secar siguiendo las indicaciones del apartado anterior de proceso de producción.

4. Aplicación en cimientos

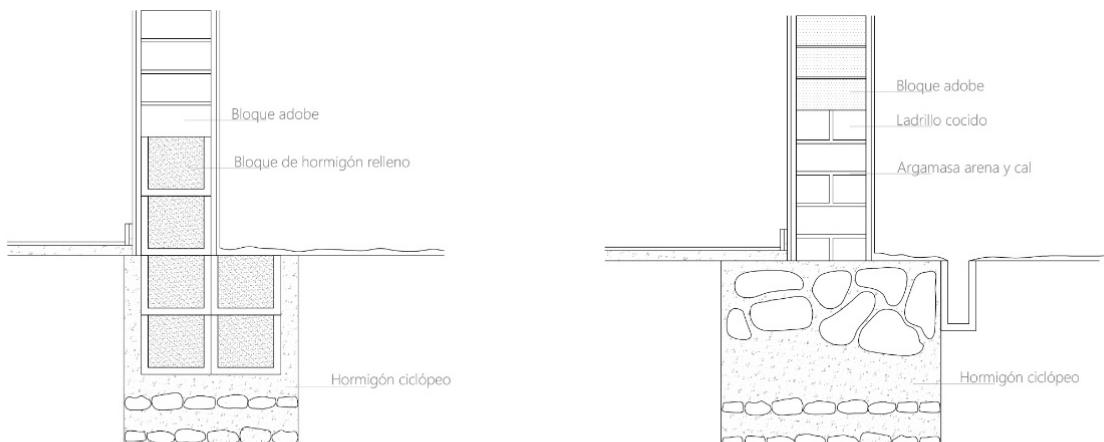
Los datos que antes hemos recogido acerca de los cimientos nos sirven ahora para proponer una forma más adecuada de construir en un futuro proyecto.

La excavación se realizará de unos 60 centímetros y teniendo en cuenta que los muros tendrán un espesor de 40 centímetros, la cimentación tendrá 80 cm de ancho.

Se ejecutará una zapata corrida debajo de todos los muros de carga con hormigón ciclópeo, con proporciones de una parte de cemento, cuatro de arena, ocho de gravilla y diez de piedra volcánica procedente de la zona.

Además se tendrá en cuenta una canalización, que en caso de lluvia, dirija el agua y no permita que ascienda por el muro, provocando grandes daños estructurales a la construcción. Las lluvias no son frecuentes en la zona, pero es aconsejable tenerlo en cuenta.

FIG. 42



5. Aplicación en muros

Una de las cosas más importantes en la construcción con tierra es la sobrecimentación. Aquí es donde se apoyará el muro y es imprescindible que esté protegido de la humedad que pueda ascender del suelo, por lo que este elemento deberá tener unos 40-50 cm de altura (FIG: 42). Podría estar compuesto por piedra volcánica de la zona o por ladrillos cocidos. Ambas soluciones son buenas y fáciles de ejecutar.

A continuación estudiaremos dos opciones de aparejo de adobe, ambas válidas y que, frente a la construcción con bloques de hormigón, pueden aportar otras ventajas como la inercia térmica para atenuar los bruscos cambios de temperatura debido al clima desértico. Además proporcionarán un aislamiento acústico ya que transmiten mal las vibraciones sonoras.

También se debe tener en cuenta que las condiciones higrotérmicas mejorarán gracias a la capacidad de los muros de adobe para impedir la condensación. Otra de las ventajas será la buena resistencia al fuego.

Es destacable que los muros de adobe no necesitan un mantenimiento para prevenir los insectos, como podría pasar con la madera, por tanto es adecuado para una zona donde los medios son limitados.

Podría ser asimismo un beneficio a largo plazo, ya que en caso de necesitar una ampliación, la escuela podría demoler una parte del muro, conservando los bloques y reutilizándolos en esa misma obra.

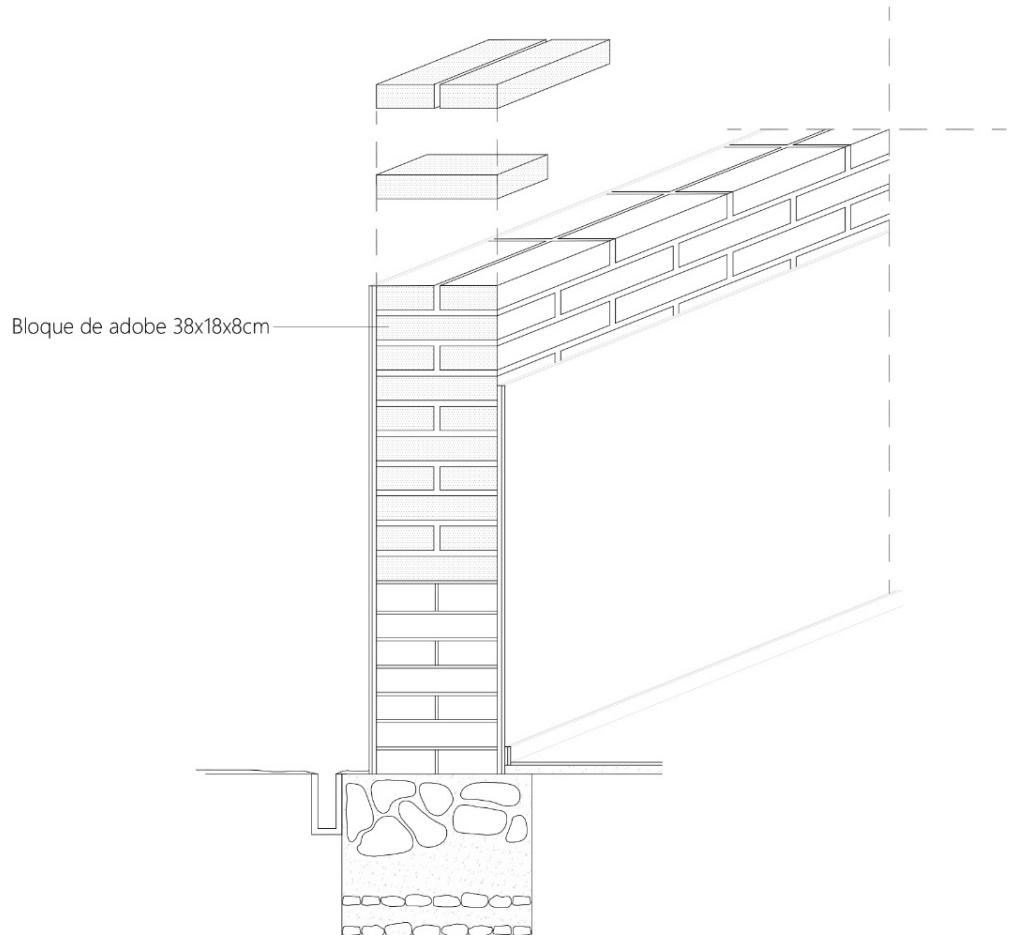


FIG. 43

A la hora de la construcción de los muros, sin importar el tipo de aparejo que se elija, el punto más débil será la esquina. Aquí se proponen dos opciones. La idea a la que responden es la de conseguir reforzar la esquina, ya que es la parte más débil.

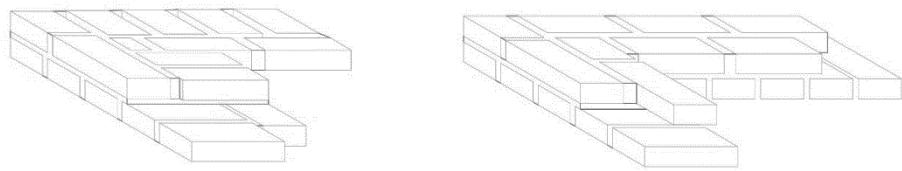


FIG. 44

Resistencia frente a viento

Estas propuestas pueden llegar no ser las adecuadas cuando el siroco y las tormentas de arena aparecen. Normalmente los edificios se dimensionan estructuralmente para hacer frente a las acciones gravitatorias y las cargas adicionales, pero en esta zona, se debe tener en cuenta fuerzas ambientales como el viento.

Las soluciones que se presentan a continuación, según las referencias, son adecuadas para sismos, pero ya que ambos fenómenos provocan un cortante que el muro no es capaz de soportar, podemos aplicarlas también.

Para evitar estos problemas, se presentan estas posibilidades, las dos se basan en la idea de arriostrar el conjunto mediante un elemento horizontal a lo largo de todo el perímetro. En una opción mediante un zuncho de hormigón que además tendrá posibilidades para que la cubierta funcione en caso de succión. La otra, mediante unas piezas de madera que refuercen la parte superior del muro. Aunque se estudien las dos opciones como posibles, la del zuncho de hormigón es la más viable debido a la posibilidad de encontrar el material, ya que se utiliza en la cimentación, y al mayor aporte de resistencia estructural.

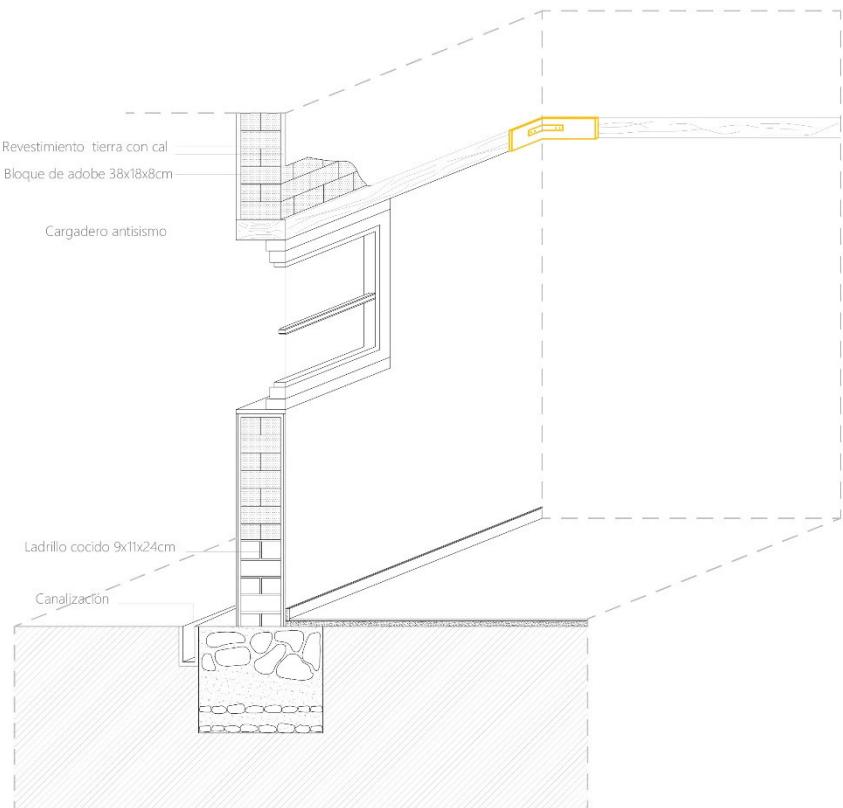


FIG. 45

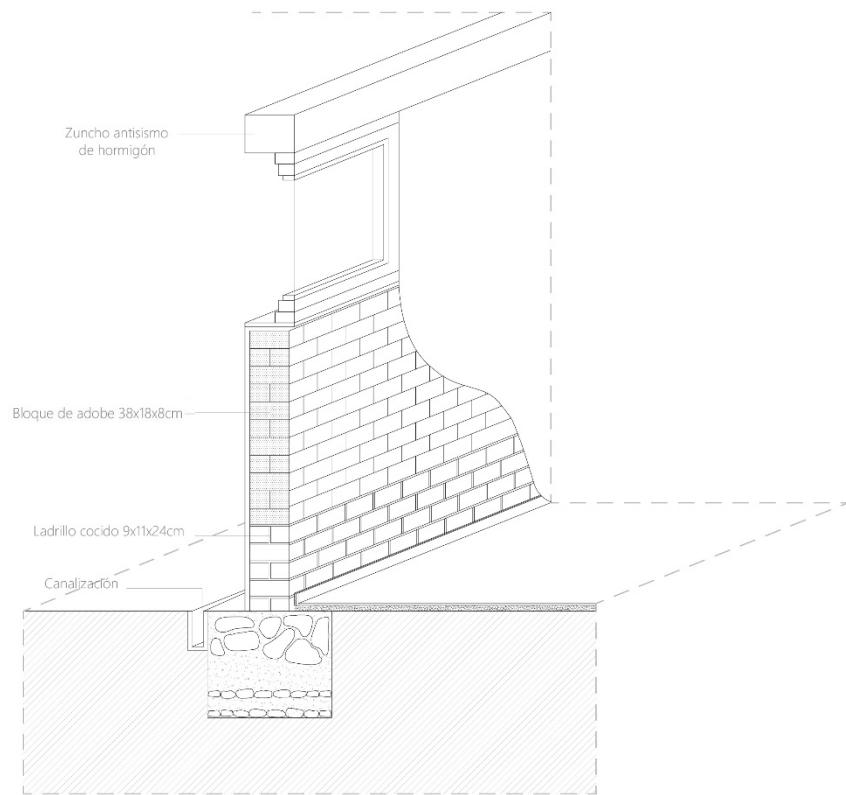


FIG. 46

Recubrimiento

En lo relacionado con la producción de los bloques de adobe y los revestimientos, debemos tener en cuenta diferentes aspectos que pueden mejorar las características de estos mediante aditivos.

Por eso, se propondrán diferentes soluciones que puedan ayudar a que las construcciones sean más resistente frente a los vientos y las cargas de las cubiertas.

Una de las maneras podría ser la utilización de fibras, naturales o plásticas en el adobe. Las fibras naturales han sido tradicionalmente utilizadas con el fin de reducir las fisuras añadiendo cohesión a la mezcla. La utilización de fibras de plástico sería una novedad, ya que esta técnica se utiliza pero no está muy extendida. De esta forma, además de aumentar las capacidades mecánicas del material, se realizaría una labor sostenible dando una segunda vida a envases y botellas usadas.

Otra de las posibilidades sería la utilización de aditivos como la caseína. Este producto es utilizado normalmente en la fabricación de quesos y por tanto es fácil de conseguir. Esta es una propuesta que ayudaría a aumentar la resistencia frente al viento, ya que sella los muros para que no se erosionen.

Sería recomendable que en cualquier caso se añadiera un recubrimiento para añadir más protección frente a los principales problemas derivados de los vientos. Puede que la solución más adecuada sea el recubrimiento de tierra y yeso, ya que así no serían necesarios otros materiales y la ejecución sería menos costosa.

6. Aplicación en huecos

Tras analizar la inclinación del sol a lo largo de las diferentes horas del día y el tipo de hueco existente en cada muro con diferente orientación de la escuela, podemos hacer los siguientes gráficos que reflejan la luz y cómo incide en las aulas durante un día.

Podemos observar cómo la utilización del mismo hueco sin importar la orientación no es óptima en ningún caso, y más si tenemos en cuenta el clima de altas temperaturas de la zona.



FIG. 47

Los rayos de sol inciden de forma total en el interior de las aulas, provocando un exceso de temperatura que no puede ser regulada, además de un exceso de luz concentrada en un punto, generando una luz que no es adecuada para estudiar, ya que deja el resto del espacio sin luz natural.

Una mejor solución podría empezar por la adecuada colocación de los huecos según la orientación. Es decir, orientar los huecos más grandes a norte, siempre y cuando se respeten las medidas

adecuadas para los vanos en muros de adobe o BTC³⁸, es decir, los vanos deben de estar centrados y éstos no pueden ser mayores de 1.20 metros. Además, tendrán un dintel que esté empotrado unos 40 cm.

Igualmente, una vez que se han tenido en cuenta estas normas de carácter constructivo, podemos estudiar otros parámetros como la inclinación de los rayos, pudiendo así optimizar los voladizos.

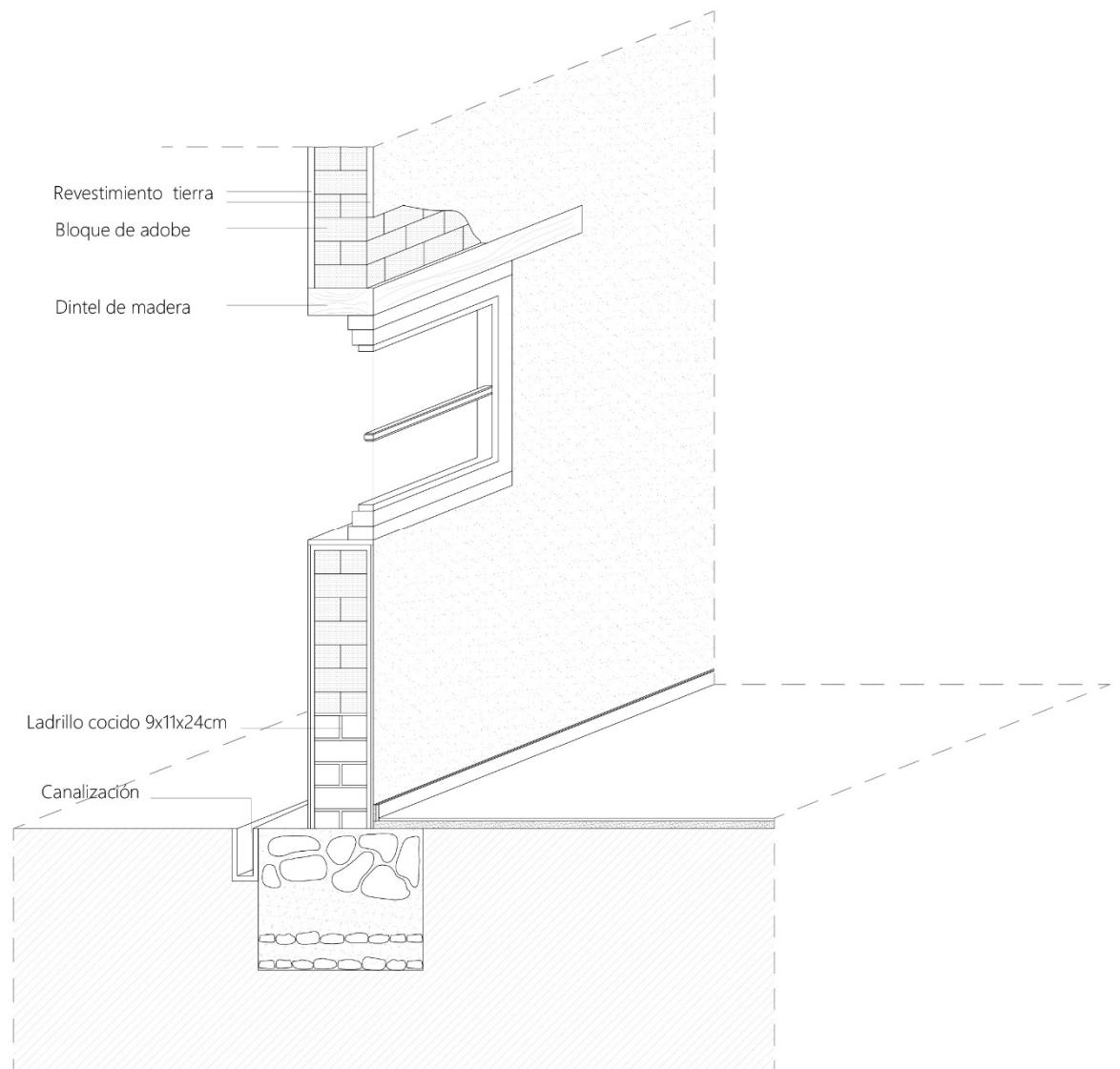


FIG. 48

³⁸ Bloque de tierra comprimida.

Para el muro norte, los huecos podrían tener la máxima amplitud que permita el sistema, como en el proyecto de la Escuela infantil de Aknaibi, consiguiendo una iluminación difusa y con unas carpinterías no practicables podrían solucionar el problema que suponen los grandes vientos de las tormentas de arena.

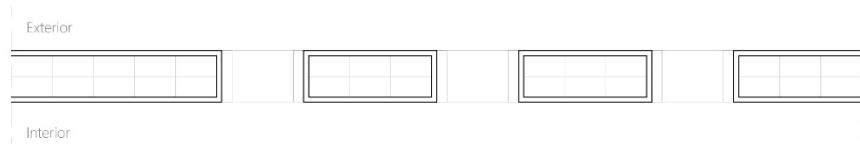
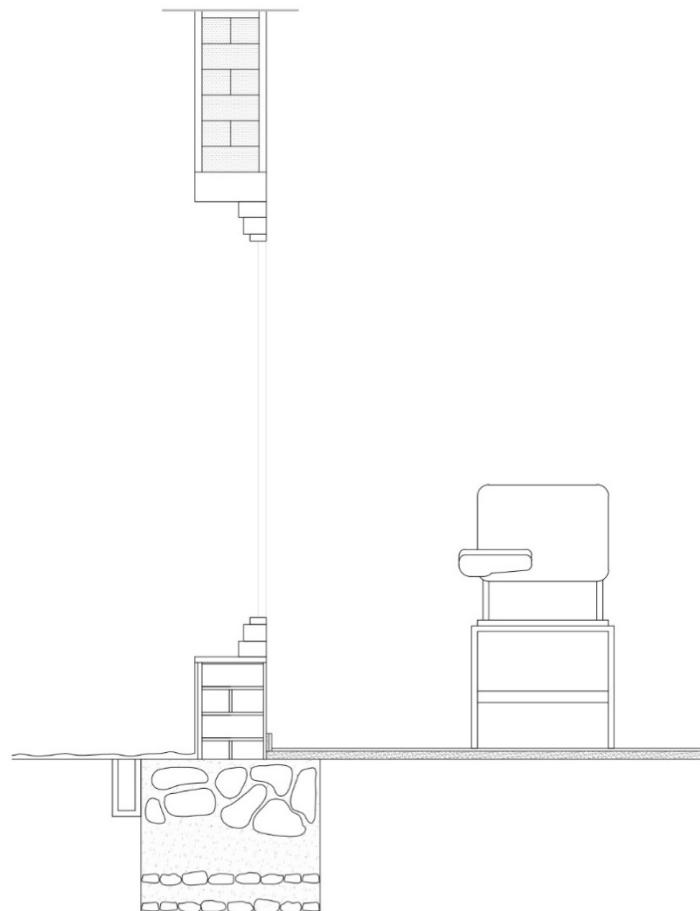


FIG. 49

En el caso de los muros de la parte sur, estudiamos tres propuestas diferentes.

La primera propuesta es de muy sencilla aplicación, consistiendo en ejecutar el vano de forma correcta³⁹ y que la pieza del dintel tenga una doble función, es decir, que sirva como dintel que reparte las cargas del muro y al mismo tiempo es un voladizo que con las dimensiones adecuadas, no permite la entrada directa de luz cuando incide con más fuerza.

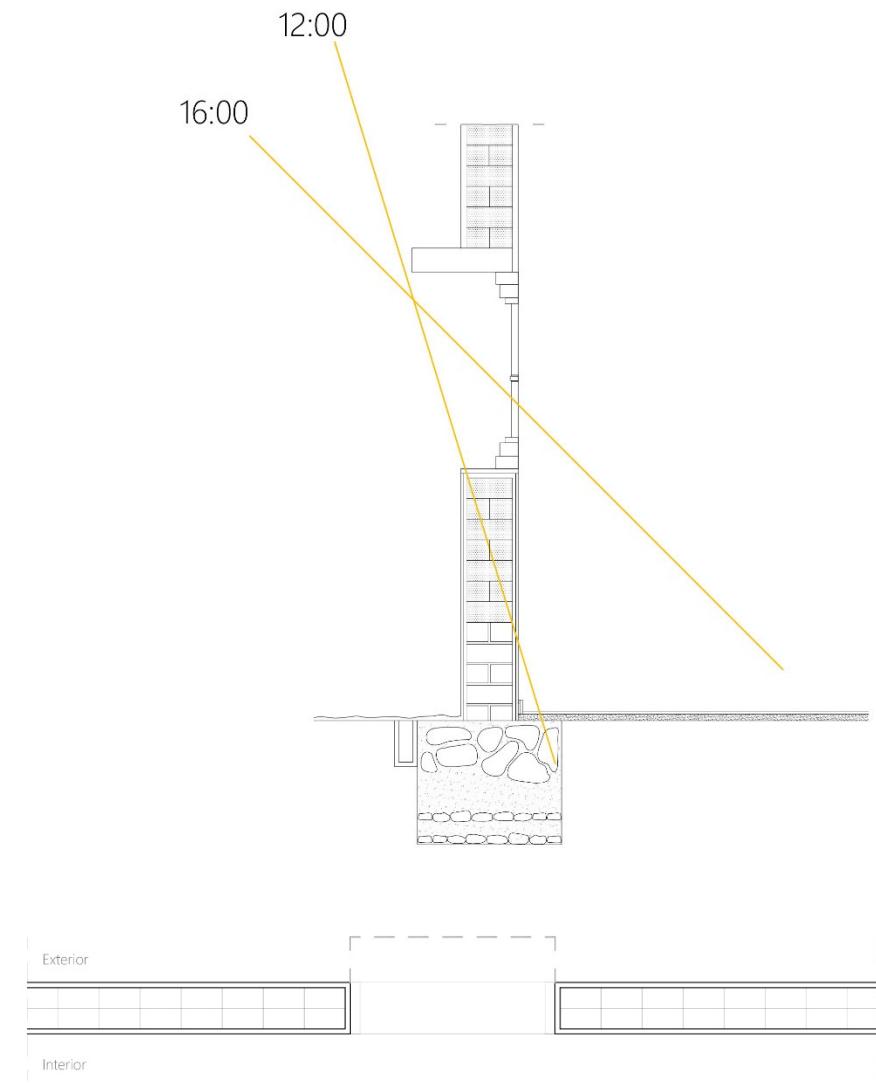


FIG. 50

³⁹ Empotramiento necesario.

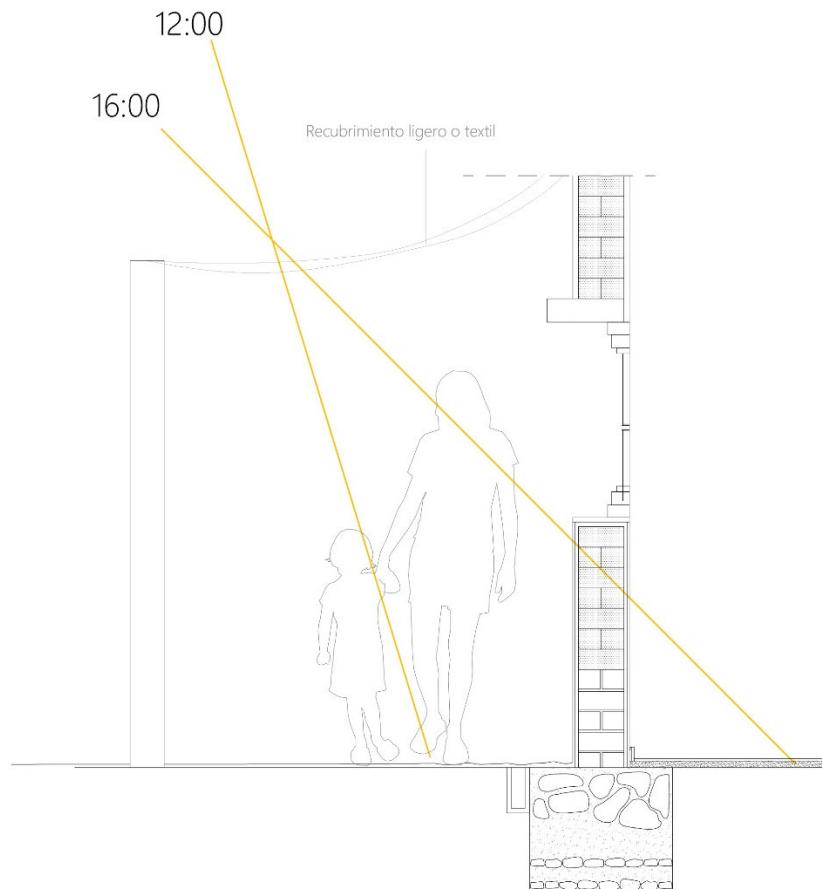


FIG. 51

En la segunda propuesta para la orientación sur, la idea consiste en un porche, que tiene diferentes funciones. La más inmediata está relacionada con la protección tanto solar como del viento. Además de conseguir un menor mantenimiento de las fachadas.

La siguiente ventaja está relacionada con un aspecto más proyectual, ya que podría dotar al conjunto de un filtro del patio a las aulas.

En la siguiente propuesta se utilizarían botellas de plástico, de diámetro de unos 7 centímetros, produciendo pequeñas entradas de luz, que además debido a la curvatura del material, serían de luz más difusa de lo normal.

Otra posibilidad es que, estos orificios tomen un tamaño más grande pudiendo realizarse con puertas de lavadora. Se podría conseguir igualmente una entrada de luz, que no sería directa. Igualmente,

podrían combinarse ambos elementos, teniendo como resultado final un conjunto más “aleatorio”.

Todas posibilidades tienen dos ventajas en relación al contexto económico y social del que parten las escuelas. Estos planteamientos tienen como protagonista el reciclaje y dar una segunda vida a los materiales, ya que además de conseguir unas condiciones de higrotérmicas mejoradas, su ejecución no tiene prácticamente ningún coste.

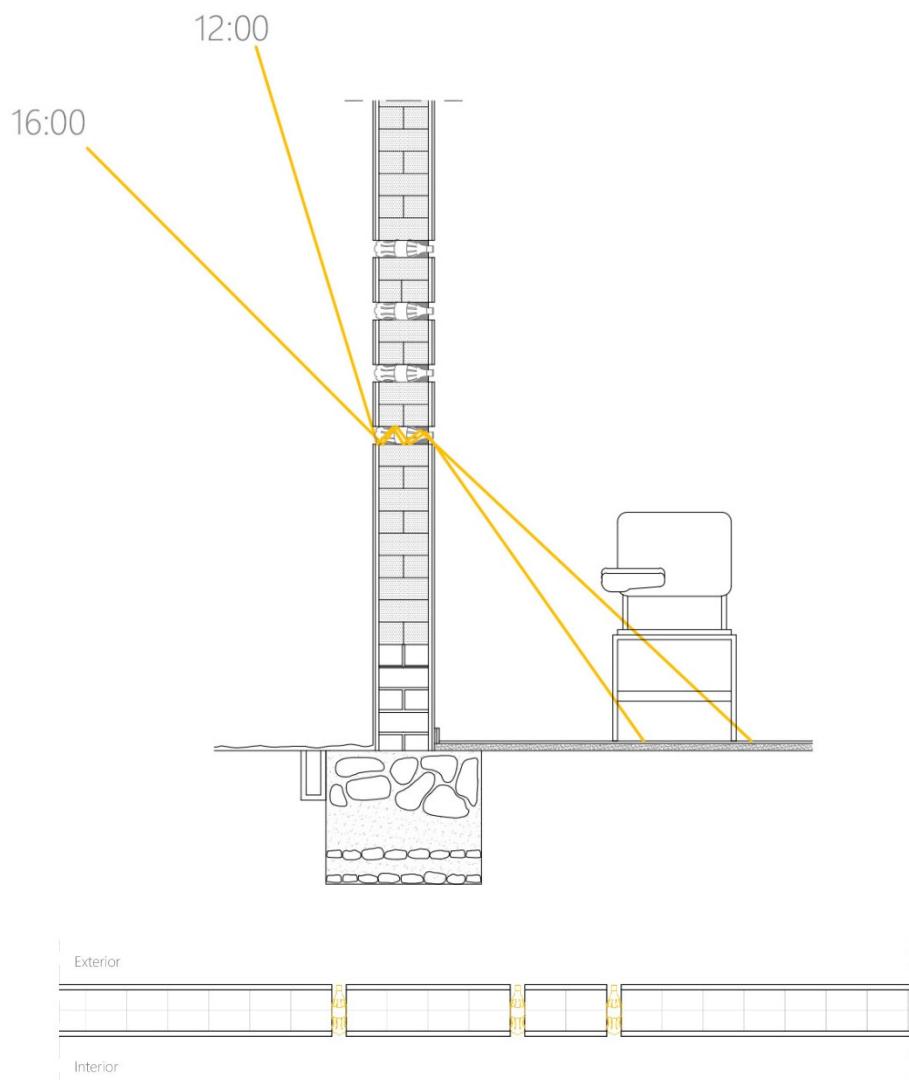


FIG. 52

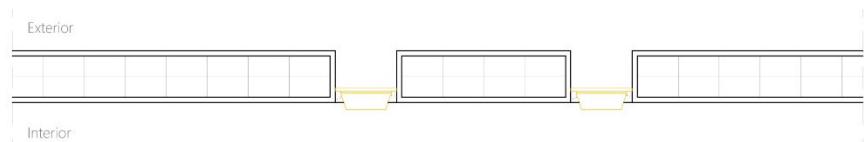
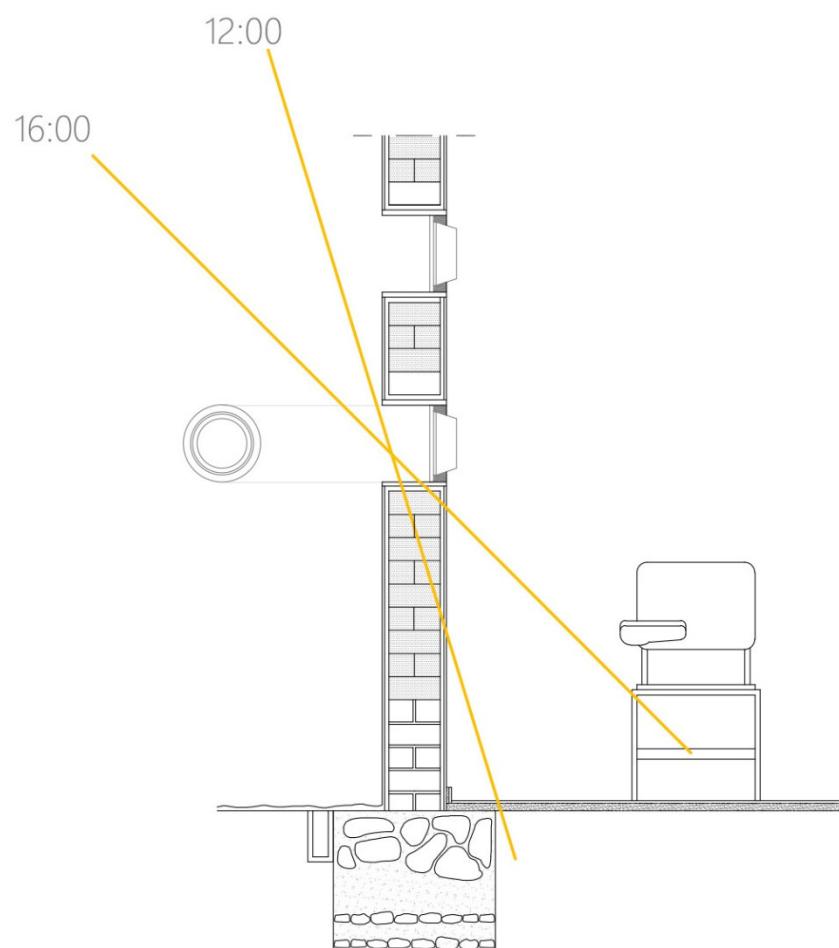


FIG. 53

Para las orientaciones este y oeste las propuestas podrían ser del mismo tipo, ya que la inclinación no varían mucho. Como ya se ha visto en la propuesta anterior, este planteamiento está basado en la reutilización de botellas de plástico como método de iluminación. Estas orientaciones además de conseguir una luz tenue podrían aportar a las aulas una forma de ventilación natural por medio de unas aperturas circulares, de diámetro un poco menor a los orificios de las botellas, dejando pasar el aire desde el exterior al interior.

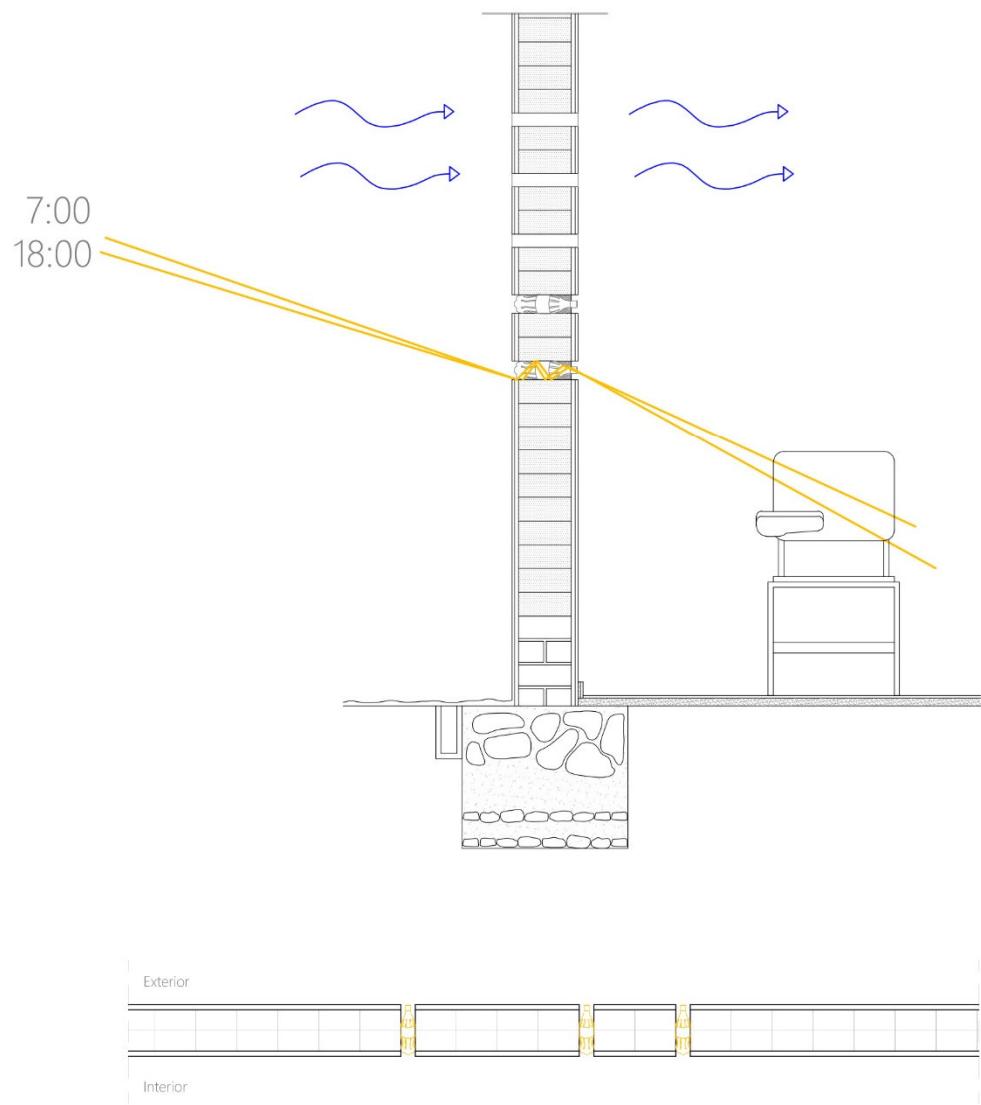


FIG. 54

D.

CONCLUSIONES

Después de analizar los huecos, el proceso óptimo de fabricación de los bloques de adobe y cómo conseguir que estructuralmente las construcciones de adobe funcionen frente a los fuertes viento, se puede deducir que una mejora de estas construcciones no necesita un gran coste económico o un cambio en la manera de construir, sino un entendimiento del sistema del adobe y la consideración del clima como el factor más importante, con el fin conseguir el confort.

El análisis de las dos escuelas presentado en el trabajo confirma que antes de comenzar a desarrollar ningún aspecto del diseño es necesario una gran investigación de cuestiones que contextualizan un proyecto. El hecho que hace que una población sienta el proyecto parte de la comunidad es significativo, por lo que una aproximación a la tradición y la cultura es imprescindible. Al mismo tiempo, es fundamental conocer las ventajas y las desventajas que nos puede aportar el lugar y por tanto su clima, para bien utilizarlos en favor del edificio o bien proteger al edificio de ellos.

La misión de la arquitectura es satisfacer las necesidades de los que allí viven y solucionar problemas. Sin embargo, la idea no es crear algo totalmente innovador y tecnológico y cambiar el estilo de vida de los habitantes, sino de mejorar las condiciones en las que aprenden los niños. En este sentido, el análisis de su forma de construir nos aporta los datos para, con los recursos que los avances e investigaciones de diferentes entidades, conseguir adaptar los avances que se han realizado. De esta forma se ligará de una forma adecuada las preexistencias, el material y la tecnología.

La cooperación en un proyecto es imprescindible ya que hay diferentes ámbitos que abarcar y la colaboración con miembros de diferentes colectivos y áreas de conocimiento son necesaria.

Hasta aquí se ofrece un estudio destinado al muro y el hueco, pero se enmarca en un trabajo conjunto con líneas futuras, encaminado hacia la interacción del muro con la cubierta, las juntas, el análisis climático, la adaptación de la tecnología... por lo que es importante aprender a no intentar abarcar todo y saber definir los límites del proyecto.

ANEXO 1.

MAPA INTENCIONADO

El siguiente mapa sirve para guiar al lector en el entendimiento de la situación y el entorno de los campamentos saharauis, comprendiendo de esta manera los conflictos que se relatan en el apartado del contexto de las escuelas.

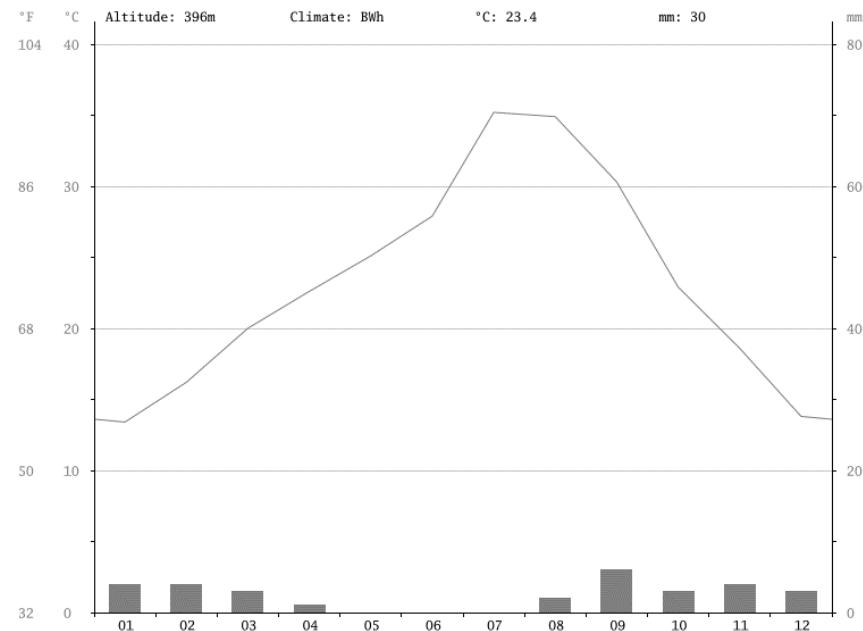


FIG. 55

ANEXO 2.

CLIMOGRAMA

A continuación se muestran unas gráficas que confirman lo relativo a las condiciones extremas en las que se sitúan los proyectos. La primera gráfica nos da a entender que las lluvias no son nada frecuentes, y por otro lado, la siguiente nos ayuda a entender el problema que pueden suponer las altas temperaturas en la vida cotidiana. Con este mismo fin se adjunta también la tabla de temperaturas. Por otro lado, tenemos también la carta solar, necesaria para saber la inclinación de los rayos incidentes y que son decisivas a la hora de la propuesta de los huecos.



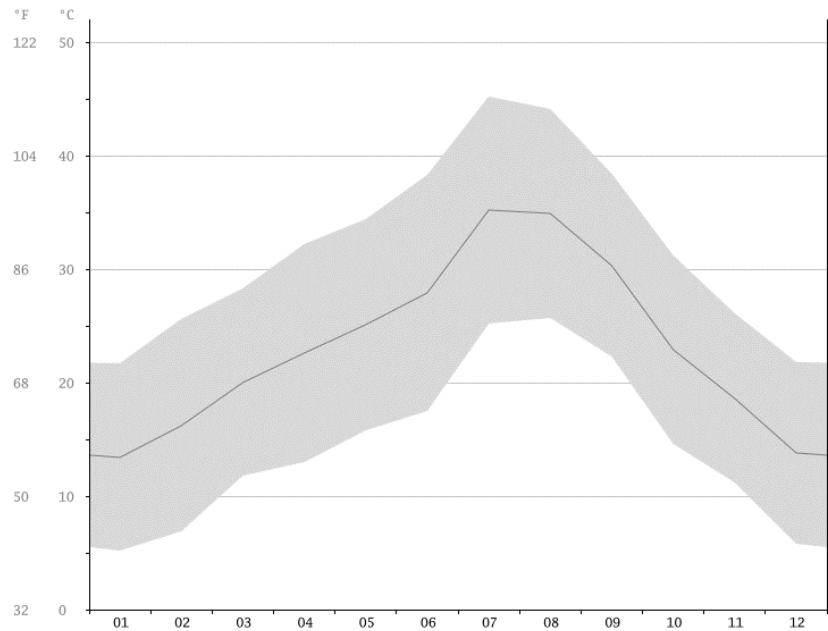


FIG. 57

Tabla climática con datos históricos del tiempo tinduf.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13.4	16.2	20	22.6	25.1	27.9	35.2	34.9	30.3	22.9	18.6	13.8
Temperatura min. (°C)	5.2	6.9	11.8	13	15.8	17.5	25.2	25.7	22.3	14.6	11.2	5.8
Temperatura máx. (°C)	21.7	25.6	28.3	32.2	34.4	38.3	45.2	44.1	38.4	31.2	26.1	21.8
Temperatura media (°F)	56.1	61.2	68.0	72.7	77.2	82.2	95.4	94.8	86.5	73.2	65.5	56.8
Temperatura min. (°F)	41.4	44.4	53.2	55.4	60.4	63.5	77.4	78.3	72.1	58.3	52.2	42.4
Temperatura máx. (°F)	71.1	78.1	82.9	90.0	93.9	100.9	113.4	111.4	101.1	88.2	79.0	71.2
Precipitación (mm)	4	4	3	1	0	0	0	2	6	3	4	3

FIG. 58

Carta solar de Tinduf. (27° 40' 33.964" N 8° 7' 39.549" W)

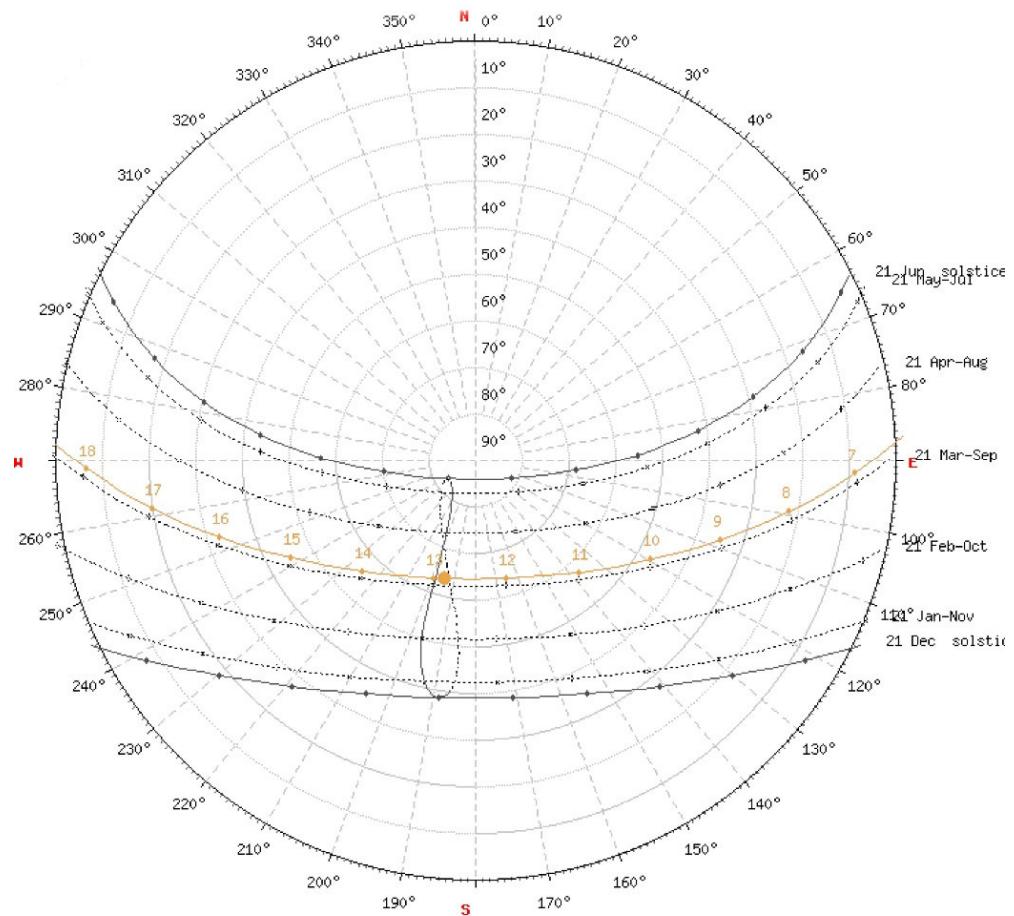


FIG. 59

Índice de figuras.

FIG. 01 Gráfica resistencia a compresión- cohesividad. Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo. (Con modificaciones propias).

FIG. 02 Gráfica contenido de agua- humedad relativa. Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo. (Con modificaciones propias).

FIG. 03 Gráfica contenido de agua- humedad relativa. Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo. (Con modificaciones propias).

FIG. 04 Relación temperatura interior y exterior en el Cairo para construcción de adobe. Viñuales, G. 2007. Tecnología y construcción con tierra. Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (Con modificaciones propias)

FIG. 05 Relación temperatura interior y exterior en el Cairo para construcción en ladrillo. Viñuales, G. 2007. Tecnología y construcción con tierra. Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (Con modificaciones propias)

FIG. 06 Esquema para correcta colocación del adobe. Uviña, F. 2006. Adobe Conservation. Santa Fe: Cornerstones Community Partnerships. (Con modificaciones propias)

FIG. 07 Gráfica fuerza de compresión – cemento agregado. Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo. (Con modificaciones propias).

FIG. 08 Gráfica Contracción lineal- fibra agregada. Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo. (Con modificaciones propias).

FIG. 09 Esquema grietas en sismo. Fuente de elaboración propia.

FIG. 10 Esquema soluciones frente a sismos. Elaboración a partir de Gernot-Minke. 2005. Manual de construcción en tierra. Montevideo: Fin de siglo.

FIG. 11 Sección grupo escolar Panyden. Fuente de elaboración propia

FIG. 12 Sección grupo escolar Panyden. Web ArchDaily
(www.archdaily.com) © Ally Taylor

FIG. 13 Sección colegio Kler Deh. Fuente de elaboración propia

FIG. 14 Sección colegio Kler Deh. Web Gyanw (gyaw.org)

FIG. 15 Sección colegio Kler Deh. Web Gyanw (gyaw.org)

FIG. 16 Sección colegio Kler Deh. Web Gyanw (gyaw.org)

FIG. 17 Foto interior de las aulas de Aknaibi. Web Good Planet
(www.goodplanet.org)

FIG. 18 Foto exterior de Aknaibi. Web Good Planet (www.goodplanet.org)

FIG. 19 Sección colegio Aknaibi. Fuente de elaboración propia

FIG. 20 Foto exterior Universidad Índigena Chiquitana. S. Bestraten, E. Hormías , A. Altemir 2011. Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción. Barcelona: ETSAB

FIG. 21 Sección Universidad Índigena Chiquitana. Fuente de elaboración propia

FIG. 22 Gráfica temperatura exterior- interior a lo largo del día para ladrillo, S. Bestraten, E. Hormías , A. Altemir 2011. Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción. Barcelona: ETSAB

FIG. 23 Gráfica temperatura exterior- interior a lo largo del día para adobe, S. Bestraten, E. Hormías , A. Altemir 2011. Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción. Barcelona: ETSAB

FIG. 24 Situación Mahfud Ali-Beiba. © Google Earth.

FIG. 25 Situación Mahfud Ali-Beiba. © Google Earth

FIG. 26 Planta escuela Mahfud Ali-Beiba. Fuente de elaboración propia

FIG. 27 Sección escuela Mahfud Ali-Beiba. Fuente de elaboración propia

FIG. 28 Cimentación escuela Mahfud Ali-Beiba. Fuente de elaboración propia

FIG. 29 Muro escuela Mahfud Ali-Beiba. Fuente de elaboración propia

FIG. 30 Interior escuela Mahfud Ali-Beiba. © Berta García

FIG. 31 Huecos de diferentes orientaciones escuela Mahfud Ali-Beiba.
Fuente de elaboración propia

FIG. 32 Situación Lal Handala. © Google Earth

FIG. 33 Situación Lal Handala. © Google Earth

FIG. 34 Planta escuela Lal Handala. Fuente de elaboración propia

FIG. 35 Sección escuela Lal Handala. Fuente de elaboración propia

FIG. 36 Foto realización de la cimentación. © Berta García

FIG. 37 Foto hueco Lal Handala. © Berta García

FIG. 38 Muro escuela Lal Handala. Fuente de elaboración propia

FIG. 39 Estrategia higrotérmica. Elaboración propia a partir de Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. Arquitecturas de adobe. París: Gustavo Gili

FIG. 40 Estrategia higrotérmica. Elaboración propia a partir de Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. Arquitecturas de adobe. París: Gustavo Gili

FIG. 41 Estrategia higrotérmica. Elaboración propia a partir de Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. Arquitecturas de adobe. París: Gustavo Gili

FIG. 42 Aplicación de técnica a la cimentación. Fuente de elaboración propia

FIG. 43 Aplicación de técnica a la traba del muro. Fuente de elaboración propia

FIG. 44 Aplicación de técnica a la esquina. Fuente de elaboración propia

FIG. 45 Aplicación de técnica frente a viento. Fuente de elaboración propia

FIG. 46 Aplicación de técnica frente a viento con zuncho. Fuente de elaboración propia

FIG. 47 Interior escuela Mahfud Ali-Beiba. © Berta García

FIG. 48 Aplicación de técnica en los huecos. Fuente de elaboración propia

FIG. 49 Aplicación de técnica en los huecos Norte. Fuente de elaboración propia

FIG. 50 Aplicación de técnica en los huecos Sur. Posibilidad 1. Fuente de elaboración propia

FIG. 51 Aplicación de técnica en los huecos Sur. Posibilidad 2. Fuente de elaboración propia

FIG. 52 Aplicación de técnica en los huecos Sur. Posibilidad 3. Fuente de elaboración propia

FIG. 53 Aplicación de técnica en los huecos Sur. Posibilidad 4. Fuente de elaboración propia

FIG. 54 Aplicación de técnica en los huecos Este y Oeste. Fuente de elaboración propia

FIG. 55 Mapa intencionado situación geográfica de Tinduf. Fuente de elaboración propia

FIG. 56 Gráfica precipitaciones anuales en Tinduf. Web Climate-data (www.climate-data.org)

FIG. 57 Gráfica temperaturas anuales en Tinduf. Web Climate-data (www.climate-data.org)

FIG. 58 Tabla temperaturas históricas en Tinduf. Web Climate-data (www.climate-data.org)

FIG. 59 Carta solar Tinduf. Web Sun Earth Tools (www.sunearthtools.com)

Bibliografía.

- Dominique Gauzin-Müller. 2016. *Architecture en terre d'aujourd'hui*. París: Museo éditions
- Morales R., Torres R., Irala C., L. Renglio. 1993. *Manual Para La Construcción De Casas En Adobe*. Lima.
- Gernot-Minke. 2005. *Manual de construcción en tierra*. Montevideo: Fin de siglo.
- Houben, H., Doat, P., Hays, A. 1979. *Construire en terre*. CRATerre-EAG
- Houben, H., Rigassi, V., Garnier, P. 1996. *Blocs de terre comprimée. Équipements de production*. Bruselas: CRATerre-EAG
- Barbeta, G. 2002. Tesis doctoral. *Método para la elección del estabilizante óptimo*. ETSAB
- Neves, C. y Borges, O. 2011. *Técnicas de construcción con tierra*. FEB UNESP/Protierra
- Bardou, P. y Arzoumanian, V. 1979. *Arquitecturas de adobe*. París: Gustavo Gili
- Uviña, F. 2006. *Adobe Conservation*. Santa Fe: Cornerstones Community Partnerships
- Jové, F. y Sáinz, J.L. 2012. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva
- Jové, F. y Sáinz, J.L. 2014. *Construcción con tierra. Investigación y documentación*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva
- Jové, F. y Sáinz, J.L. 2014. *Construcción con tierra. Patrimonio y vivienda*. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva

Rivera, JC y Muñoz, E. *Caracterización estructural de materiales de sistemas constructivos en tierra: el adobe*. Bogotá: Universidad Pontificia Universidad Javeriana

S. Bestraten, E. Hormías, A. Altemir 2011. *Construcción con tierra en el siglo XXI*. Informes de la construcción. Barcelona: ETSAB

Viñuales, G. 2007. *Tecnología y construcción con tierra*. Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

Yuste, B. *Arquitectura de tierra*. ETSAB

Johan van Legen. 2011. *Cantos del arquitecto descalzo*. Argentina: PAX MEXICO

Kéré , D. 2014. *Arquitectura Viva*. 133

Páginas web consultadas

<http://www.convega.com/compromisosahara/historia.html>

<https://eacnur.org/blog/refugiados-saharauis-40-anos-de-vida-en-los-campos/>

<https://es.climate-data.org/location/29494/>

<http://espiral21.com/siroco-de-80kmhora-envuelve-los-campos-de-tinduf/>

https://elpais.com/elpais/2011/11/06/africa_no_es_un_pais/1320534311_132053.html

<http://fundacionio.org/viajar/paises/africa/sahara%20occidental%20campamentos%20recomendaciones.html>

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top

<http://ebasl.es/construir-una-casa-con-adobe/>

<https://prezi.com/fp6ua0naq2x3/adobe-con-pead-y-pasto-reciclado/>

Imágenes: <http://gyaw.org/portfolio-items/kler-deh-highschool/>

