



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Construcción de cubiertas para escuelas en los
campamentos de refugiados saharauis

Roof construction for schools in Saharawi refugee
camps

Autor/es

María Farjas Lacasa

Director/es

Enrique Cano Suñén

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

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

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. María Farjas Lacasa,

con nº de DNI 73412705 V 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)

Construcción de cubiertas para escuelas en los campamentos de refugiados
saharauis

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

Zaragoza, 22/11/2017

Fdo: María Farjas

CONSTRUCCIÓN DE CUBIERTAS PARA ESCUELAS EN LOS CAMPAMENTOS DE REFUCIADOS SAHARAUIS

Resumen

Después de que la facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza detectase la pérdida de visión en los niños en algunas escuelas de los campamentos de refugiados del Sahara, se pone en contacto con la facultad de Arquitectura. El objetivo es ver si la arquitectura puede ser capaz de resolver este problema cambiando ciertos planteamientos en el modo de construir.

Para lograr este fin, en primer lugar habrá que identificar cuáles son estas lógicas constructivas, y así poder saber en qué puntos no están funcionando para poder cambiarlos después. El problema de la iluminación se acaba convirtiendo en el punto de partida de un estudio mucho más extenso en el que se entrelazan tres trabajos de esta índole. En el presente, tanto el análisis como las posibles propuestas se plantean desde la perspectiva de la cubierta.

"No es mi sueño vivir siendo un refugiado pero si mi derecho vivir con dignidad."

Tateh Lehib Barika

INDICE

1.INTRODUCCIÓN.....	04
2.CONTEXTO.....	08
2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	08
2.3 SITUACIÓN CLIMÁTICA.....	08
2.4 SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA.....	12
2.5 SITUACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.....	14
3. ANÁLISIS Y DIAGNOSTICO.....	18
3.1 EXPLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO ACTUAL.....	18
3.2 PROBLEMAS DE LA CONSTRUCCIÓN.....	24
4. ESTUDIO DE DIFERENTES SISTEMAS Y ESTRATEGIAS.....	34
4.1 DEFINICIÓN DE INTERESES.....	34
4.2 SISTEMA DE CÚPULAS.....	34
4.3 SISTEMA DE BOTELLAS.....	43
4.5 ARQUITECTURA TEXTIL.....	45
4.6 KÉRÉ ARCHITECTURE.....	49
5. APLICACIÓN Y CONCLUSIONES.....	56
5.1 RESUMEN Y PRIMERAS CONCLUSIONES.....	57
5.2 PROPUESTA 1.....	59
5.3 PROPUESTA 2.....	66
5.4 CONCLUSIONES FINALES Y LÍNEAS FUTURAS.....	74
6. ÍNDICE DE FIGURAS.....	78
7. BIBLIOGRAFÍA.....	81

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En Febrero de 2016 la organización Oftalmólogos por el Mundo se pone en contacto con Ingenieros sin Fronteras (ISF), buscando una solución a la creciente pérdida de visión de los niños que estudian en las escuelas de los campos de refugiados saharauis, ocasionada por una deficiente iluminación.

Enrique Cano, miembro de ISF y profesor de la EINA, transmite este problema a los estudiantes del grado de arquitectura. La alumna Berta García, interesada en participar en el proyecto, viaja a los campamentos y realiza una extensa toma de datos de las escuelas donde se había identificado el problema. A su regreso, me sumo junto con otra alumna, Ester Taberner, al proyecto, estudiamos las líneas de trabajo que nos plantea esta situación y decidimos que Berta se centrará en el problema de los huecos y la iluminación, Ester estudiará en profundidad la construcción en adobe y yo me centraré en la cubierta, de modo que los trabajos se completen entre sí con un mismo motor, resolver los problemas de iluminación, pero desde perspectivas diferentes.

En mi trabajo voy a estudiar las posibilidades de la cubierta como elemento clave en la solución de los problemas que derivan de la arquitectura, como es la iluminación y la temperatura. Al mismo tiempo, estudiaré cómo se puede mejorar el comportamiento de este elemento frente a las condiciones climáticas que se dan en este emplazamiento concreto con las posibilidades materiales, técnicas y sociales de las que disponen.

El objetivo es llegar a proponer un nuevo sistema constructivo de cubierta que consiga adecuarse a todos los condicionantes que se estudian a lo largo del trabajo, así como proponer un modo de ejecución.

Es por esto que en primer lugar se realiza un análisis del contexto, desde el punto de vista geográfico, climático y socioeconómico, para poder tener una visión global de todos los aspectos que van a suponer un condicionante a la hora de construir en esta región.

Una vez conocido el entorno general, el trabajo se va a centrar en elaborar un análisis exhaustivo de la construcción de la cubierta de la escuela Mahfud Ali-Beiba situada en la wilaya¹ 27 de Febrero, para poder detectar los principales problemas existentes en la construcción de las cubiertas de las escuelas y así poder solucionarlos después.

Mahfud Ali-Beiba fue construida en 2011 gracias al impulso de la asociación del Alto Aragón ALOUDA para dar desahogo a la desbordante demanda de educación para niños de entre 6 y 12 años, que la primera escuela, Lal Handala, construida en 1994, ya no podía cubrir.

¹ Denominación que reciben la provincia en Argelia.

Durante el estudio de campo, la compañera Berta Garcia analizó también la escuela de Lal Handala, pero debido a la limitación de tiempo y a la semejanza entre sus sistemas constructivos en la cubierta, en este documento solo se incluye el análisis de Mahfud

Una vez estudiados los problemas actuales, se llevará a cabo un análisis de otras soluciones constructivas que se desarrollan en una situación similar, para extraer estrategias que sean aplicables a las cubiertas de estas escuelas y así mejorar su funcionamiento en todos los aspectos que sea posible (estructurales, térmicos, de ventilación, de protección frente al agua, etc.).

Este análisis es tan solo una pequeña muestra de las posibilidades que existen en torno a la ejecución de cubiertas y es por eso que se han escogido soluciones muy diversas para poder tener una visión lo más amplia posible. Los sistemas que se van a comentar son: bóvedas y cúpulas por el empleo únicamente de adobe en su construcción; la arquitectura textil por su significado y arraigo en la cultura saharauí; un sistema que usa botellas de plástico para la construcción, ya que es uno de los proyectos de innovación que se están llevando a cabo actualmente en los campamentos; y por último, la arquitectura de Francis Kéré, por contar con unos condicionantes similares.

Por último, con toda esta información sobre la mesa, se van a extraer una serie de conclusiones a partir de las cuales elaborar una o varias propuestas que por un lado sean coherentes con las posibilidades técnicas y materiales disponibles y por otro, sean capaces de solucionar o por lo menos mejorar los problemas identificados.

CONTEXTO

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

Los campamentos de refugiados del Sahara se encuentran al oeste de Argelia, lindando con Marruecos, con la exprovincia española de Sahara Occidental y con Mauritania. Están organizados en cuatro núcleos poblacionales: Aaiun, Dajla, Auserd y Smara, denominados wilayas. Además, existen otros asentamientos más pequeños como Rabuni (centro administrativo, donde se encuentran los ministerios de la R.A.S.D.) o "27 de Febrero", donde se encuentran las escuelas que vamos a estudiar. Exceptuando Dajla, todas las wilayas se sitúan en la Hamada de Tindouf².

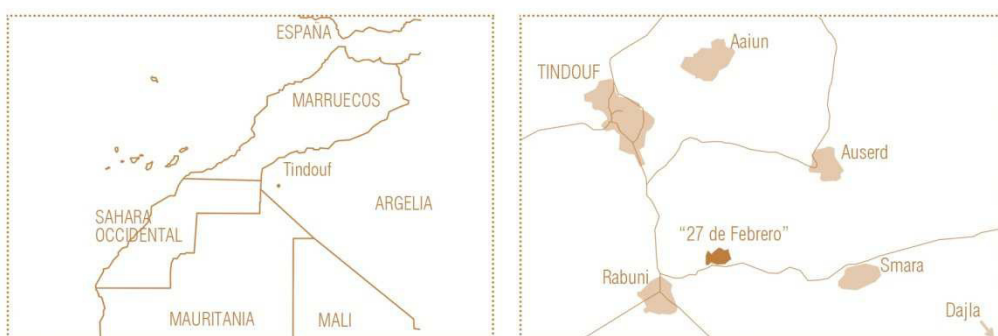


FIG. 01

SITUACIÓN CLIMÁTICA

La misma denominación Sahara, nos indica el tipo de clima que vamos a encontrar. Sahara es el femenino de Ashar, que significa rojizo, pardo, haciendo alusión al color de las vastas llanuras sin vegetación que componen este paisaje. Sahara y desierto vendrían a ser diferentes palabras para designar un mismo territorio.

De las distintas clasificaciones climáticas mundiales que existen, la de Martone (1964) y la de Viers (1968) incluyen la zona de estudio entre el tipo de clima sirio y sahariano, mientras que la clasificación Strahler y Strahler (1989) se decanta por el tipo desértico. A pesar de no coincidir en la denominación, ambas responden a un tipo de clima que se caracteriza por sus altas temperaturas y por la alta irregularidad de las precipitaciones.

Con el fin de definir con más detalle el clima de la zona se ha recurrido al estudio de los datos climáticos recogidos por la estación meteorológica de Tindouf, ciudad que se encuentra a unos 30 Km de la zona a la que se refiere este estudio.

² Las hamadas son amplias mesetas de desierto caracterizadas por una topografía muy poco accidentada.

Temperatura y humedad

	En.	F.	M.	A.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
T (°C)	13,4	16,0	20,5	23,2	26,1	31,0	35,8	35,1	30,2	25,0	19,5	15,0	24,2
TM (°C)	21,7	23,8	28,3	31,3	34,6	39,8	44,2	43,1	38,1	32,5	27,0	22,5	32,2
Tm (°C)	6,6	8,7	12,7	15,0	17,1	21,6	26,9	26,8	22,7	17,9	12,6	8,6	16,4
H (%)	41,8	37,4	32,5	30,7	29,5	25,4	18,6	20,6	29,9	36,7	39,9	45,4	32,4

FIG. 02

Como podemos observar en estos datos que recogen la media de temperatura y humedad de cada mes de 2000 a 2013, las temperaturas son bastante altas durante todo el año, especialmente en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre, que rondan los 40°C.

Por otra parte, la humedad relativa del aire es muy baja durante todo el año, con un media de 32,4%, situándose muy por debajo de lo que sería un porcentaje saludable que se establece entre un 50-70%.

Precipitaciones

	En.	F.	M.	A.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
PP (mm)	1,9	10,3	4,4	2,5	2,9	0,8	0,9	3,7	11,5	9,5	5,2	4,6	58,4

FIG. 03

La Organización Meteorológica Mundial clasifica las lluvias según los mm al año³, si son menos de 200 son insuficientes, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1000 son suficientes, entre 1000 y 2000 son abundantes y más de 2000 son excesivas.

Por lo tanto nos encontramos en una situación clara de lluvias insuficientes, al recogerse 58,4 mm al año.

Otra forma de caracterizar la lluvia es la cantidad de precipitación por hora (mm/h). Se consideran precipitaciones débiles cuando su intensidad es menor de 2 mm/h, moderadas si está entre 2-15 mm/h, fuertes entre 15-30 mm/h, muy fuertes 30-60mm/h y torrenciales en el caso de que superen los 60 mm/h.

Esta tabla, al recoger los valores medios de un periodo de años, no es representativa acerca de la intensidad, puesto que no refleja los episodios de lluvias torrenciales que se dan cada cierto tiempo. Gracias a otros estudios se tiene conocimiento de que estas situaciones se han dado en octubre de 1994 y 2004, en febrero de 2006 y últimamente en octubre de 2015, alcanzando intensidades de 100 mm/h.

En diversas noticias pueden leerse los efectos devastadores que estas lluvias han causado en los campos, arrasando las construcciones de adobe hasta reducirlos a escombros.

³ La altura de agua caída recogida en un metro cuadrado superficie plana y medida en milímetros.

Acción eólica

	En.	F.	M.	A.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
V (Km/h)	24,6	30,2	31,9	37,9	35,8	34,1	30,8	34,2	30,9	31,9	28,2	31,2	31,8
Vm (Km/h)	50,0	66,0	58,0	66,0	48,0	55,0	52,0	66,0	59,0	55,0	41,0	59,0	56,3
VM (Km/h)	9,0	11,0	11,0	22,0	22,0	15,0	15,0	15,0	22,0	15,0	13,0	15,0	15,4

FIG. 04

Otro de los factores climáticos determinante del área del suroeste argelino es el viento. Aquí, su acción es intensa y constante, llegando a superar los 60 Km/h. Por ello, es común que la atmósfera esté enturbiada por una niebla rojiza de partículas minerales, llegando a impedir la visión más allá de 300 metros en los días de mayor intensidad eólica.

Predominan los vientos provenientes del noroeste y noreste.

La consecuencia más significativa de este fenómeno atmosférico es su labor erosiva. El viento, como ya hemos mencionado, arrastra masas de arena por la superficie llegándose a producir frecuentemente remolinos de eje vertical. Los elementos en suspensión que el viento contiene van chocando violentamente con cada obstáculo que encuentran a su paso ejerciendo una presión que puede alcanzar los 170 Kg por metro cuadrado. Estos empujes constantes de partículas contra las construcciones provocan su prematuro desgaste. Fruto también de este fenómeno es el movimiento de la arena a ras de suelo, que se acumula en cada obstáculo y genera dunas en algunas fachadas.

Sismo

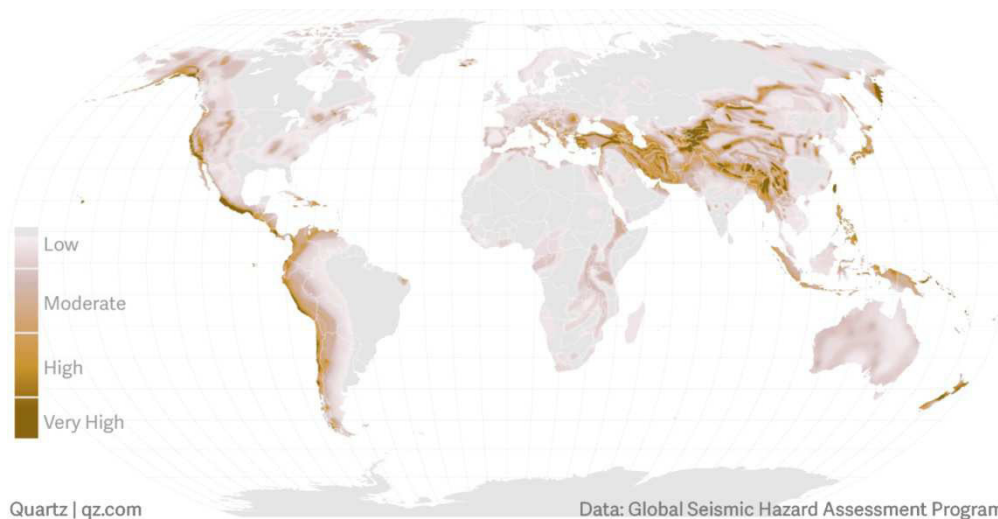


FIG. 05

Como se puede observar en el mapa, los campos se encuentran en una zona de baja actividad sísmica por lo que no será un factor determinante en las construcciones como los anteriores que hemos analizado.

Soleamiento

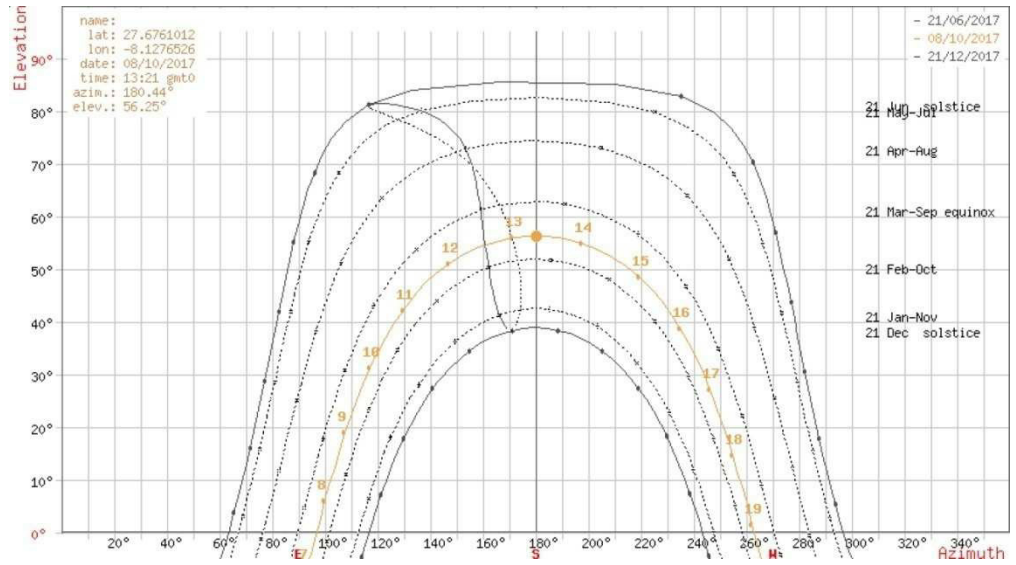


FIG. 07

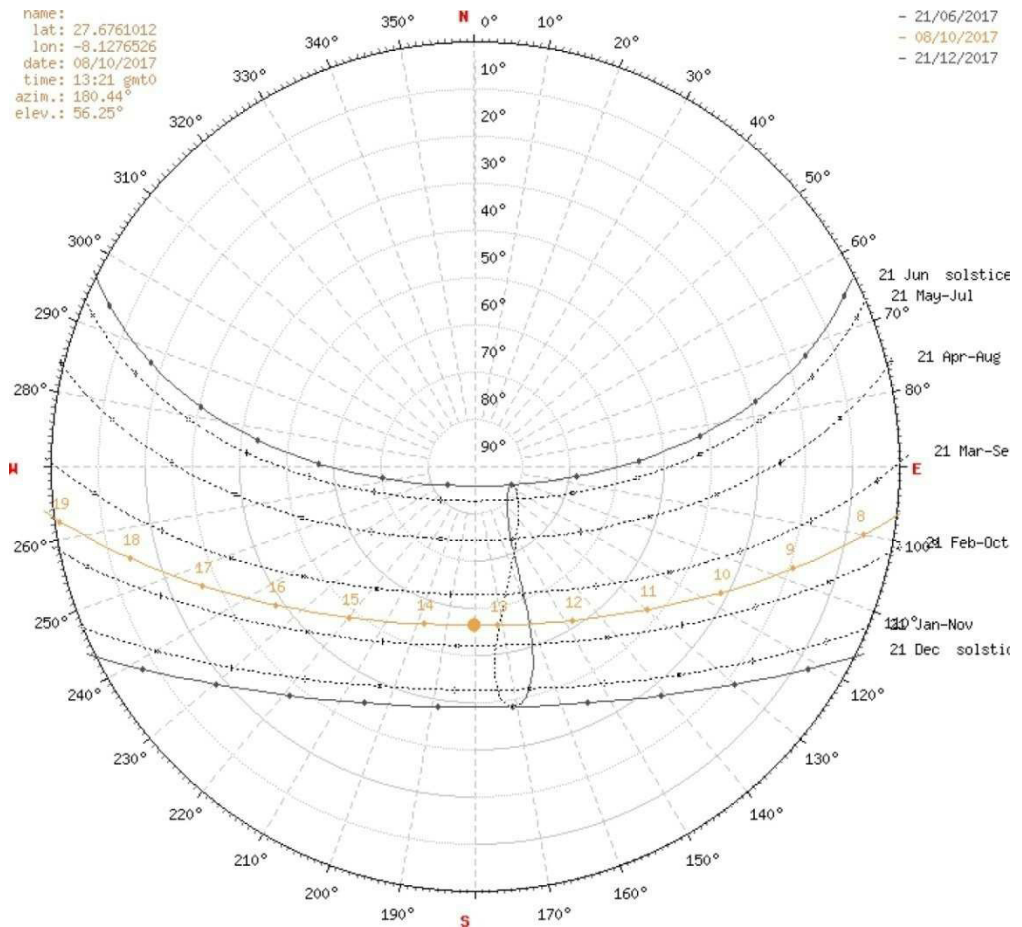


FIG. 08

SITUACIÓN SOCIO-ECONÓMICA

La historia reciente del pueblo saharauí comienza el 27 de febrero de 1976 cuando el último soldado español abandona la excolonia.

Como antecedentes cabe mencionar que el Sahara Occidental fue una provincia española hasta 1975, año en que, atendiendo las propuestas de la ONU, España decide devolver la soberanía del territorio a sus habitantes. Antes de que se pudiese completar el proyecto, la fuerte oposición de Marruecos a la propuesta obliga a pararlo, concluyendo el periodo colonial con la firma de los Acuerdos tripartitos entre España, Marruecos y Mauritania, a través de los cuales la administración del Sahara Occidental se repartiría entre los tres países, obligando también al ejército español a abandonar el territorio.

Lo que marcó el fin del conflicto para España suponía el principio de otro para el pueblo saharauí, ya que, al quedar desprotegidos, el Rey Hassan II⁴ comienza una invasión militar conocida como la Marcha Verde. El Frente Polisario⁵ proclama la República Árabe Saharaui Democrática (R.A.S.D.) y comienza la guerra del Frente Polisario contra Marruecos y Mauritania.

Entonces, huyendo del conflicto bélico, la población civil abandona sus tierras para asentarse de forma provisional en las proximidades de Tindouf, ciudad situada al suroeste de Argelia.

Cuarenta años más tarde seguimos hablando de estos asentamientos como campos de refugiados.

Para entender la historia del pueblo saharauí es fundamental tener presente sus orígenes y condiciones. Se hace complicado progresar cuando se vive con el pensamiento de que tus condiciones son temporales. Lo es en cualquier aspecto pero más aun en un ámbito como es la arquitectura, cuya concepción es, desde las primeras culturas sedentarias, la de perdurar en el tiempo.

Sin embargo, a pesar de lo inusual de esta situación, que parece anclada a un momento concreto de la historia, sí ha existido una evolución clara del pueblo saharauí durante su periodo en Argelia. Podemos distinguir tres periodos diferenciados⁶.

Al inicio del periodo bélico, entre 1975 y 1976, se produce una etapa de éxodo hacia Argelia, donde en aquel momento había tan solo un asentamiento militar. Más tarde, hasta 1991 que se proclama el alto al fuego, se dio un periodo de altísima

⁴ Rey de Marruecos desde 1961 hasta su muerte en 1999.

⁵*Frente Popular de Liberación de Saguía el Hamra y Río de Oro*. Movimiento de liberación nacional del Sahara Occidental, que trabaja para acabar con la ocupación de Marruecos y conseguir la autodeterminación del pueblo saharauí.

⁶Periodos identificados en el artículo *Los campamentos de refugiados saharauís en Tindouf. Una aproximación desde la economía*, publicado en la Revista de Economía Mundial 29, 2011, 285-315.

organización, con una división clara de tareas tanto económicas como sociales. Las mujeres eran las encargadas de todas las labores en los campos de refugiados, mientras, los hombres, todavía en el Sahara Occidental, se ocupaban de las actividades bélicas. La sociedad se organizó en las cuatro wilayas que perduran hoy en día dependiendo de su procedencia. A pesar de toda esta organización el consumo era únicamente de supervivencia y era proporcionado por la ayuda de emergencia procedente del exterior.

Es en 1991 cuando, con la vuelta de los hombres que permanecían en el frente, se vuelve a hacer un reparto de tareas y comienzan a aparecer iniciativas económicas privadas. A partir de 1999 se empieza a percibir un auge importante de estas actividades, predominando las comerciales y las propias del sector servicios.

En general, la década de los 90, está marcada por la introducción de la moneda en los campos de refugiados, cuya aparición cambia el curso de la economía ya que incentiva las actividades económicas. Por otra parte trae consigo diferencias sociales que no existían hasta entonces.

La procedencia del dinero es fundamentalmente de los pagos de jubilaciones por parte del Estado español a personas que habían trabajado con anterioridad a 1975; el envío de efectivo a través de los niños beneficiarios del programa Vacaciones en Paz⁷; el dinero que llegaba a través de las visitas de las familias de acogida de los niños que participan en el programa Vacaciones en Paz; y de las remesas remitidas por los trabajadores saharauis en el extranjero.

Aun así, actualmente sigue siendo gratis casi todo lo que se necesita para vivir, lo que conduce a un círculo vicioso del cual es difícil salir. En primer lugar, hay que destacar que parte de la población tiene el pensamiento de que desarrollarse o asentarse supone una rendición en las reivindicaciones por su autonomía, es asumir que su situación de refugiados no es temporal. Por otra parte, si las necesidades básicas para vivir están cubiertas por la ayuda humanitaria, el trabajo como medio de supervivencia pierde sentido, por lo que no produce una gran motivación entre la población, a lo que se suma el desánimo ante la falta de expectativas laborales que ofrecen los campos.

Con esto quiero decir que su desarrollo económico como pueblo no está solo condicionado por una economía precaria sino también por una mentalidad en la que prosperar cobra tintes de traición a sus ideales patrióticos.

⁷ Programa que permite que niños de entre 9 y 12 años puedan convivir con una familia española durante los asfixiantes meses de verano. Lleva en funcionamiento desde 1994.

SITUACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, no hay ningún tipo de actividad industrial por lo que no cuentan con materiales elaborados propios, sin embargo viven rodeados de materias primas muy interesantes para la construcción: la arena, la arcilla y el sol.

Es por esto que el único material de construcción autóctono de que disponen es el adobe, el resto de materiales que podemos encontrar en las construcciones de los campamentos son adquiridos en la ciudad de Tindouf.

Normalmente, en las regiones que se desarrollan en condiciones extremas, tanto climáticas como sociales o económicas, la arquitectura es un fiel reflejo del contexto en el que se encuentran. Sin embargo, en los campos saharauis, estas potencias tiran en sentidos opuestos y en mi opinión todavía no se ha logrado en las construcciones un equilibrio de todas ellas.

Por ejemplo, las construcciones son de muros de adobe o de bloques de hormigón con cubierta de chapa de zinc sobre un entramado de vigas de madera. Es decir, en el caso de la cubierta, ha primado un interés económico o de disponibilidad, frente al interés climático, quedando este sin resolver.

Otro ejemplo es el de la jaimas, que siguen siendo una parte importante de la vivienda puesto que es donde se realiza la vida social que tan importante es en su cultura. Pero estas han perdurado mas como símbolo de temporalidad que por el confort que ofrecen.

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO

EXPLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DE CUBIERTAS ACTUAL

En este apartado analizaremos exhaustivamente la cubierta de la escuela Mahfud Ali Beiba .

Está situada al sur del campamento "27 de Febrero" y como vemos tiene una orientación Este-Oeste casi perfecta.

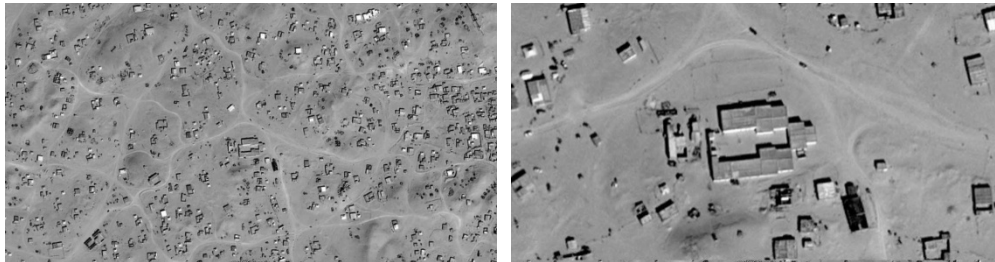
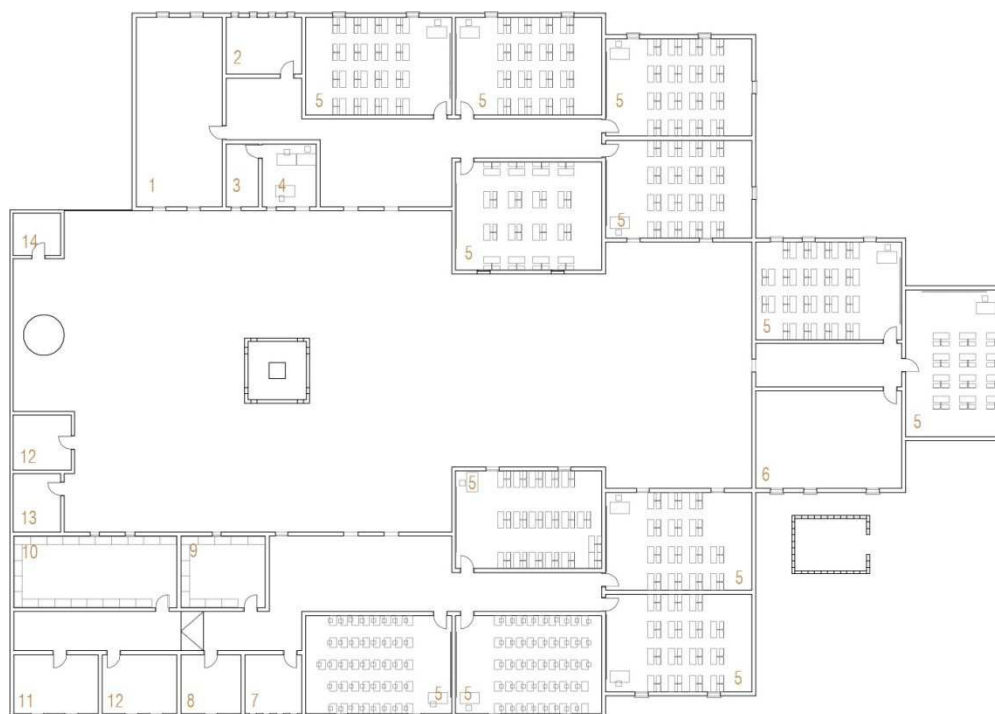


FIG. 08

Planta de Mahfud Ali Beiba



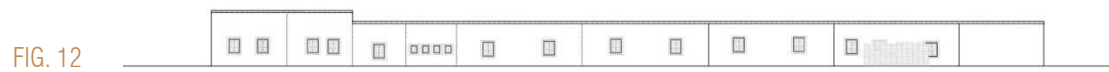
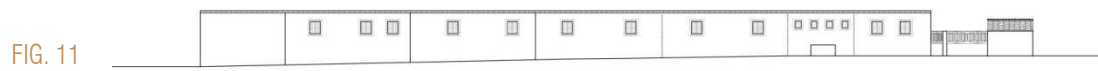
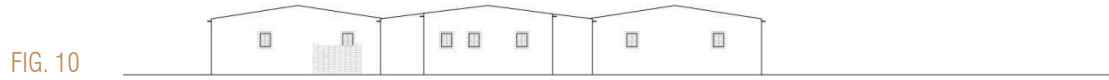
1. Sala multiusos
2. Baños masculinos
3. Sala de te
4. Dirección
5. Clase
6. Sala de extraescolares
7. Baños femeninos
8. Cocina
9. Sala de profesores
10. Sala de profesoras
11. Sala de te
12. Almacén
13. Casa del guarda
14. Enfermería

FIG. 09

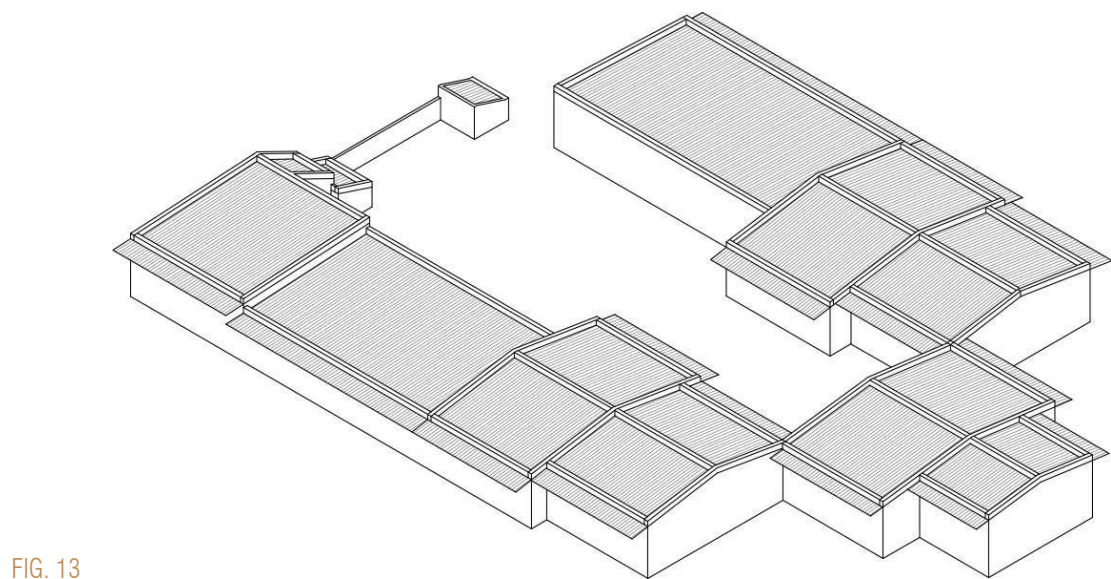
La planta se organiza en torno a un patio interior al que vuelcan la mayoría de las aulas permitiendo su iluminación. Las aulas se orientan en la misma dirección que las fachadas principales para recibir la luz de forma lateral y evitar así en cierta medida sombras y deslumbramientos. Como podemos ver en los siguientes documentos gráficos, los alzados consisten únicamente en la expresión volumétrica de los espacios que componen la escuela y los huecos que iluminan los mismos. La falta de una

planificación global de la estructura ya se hace evidente en los alzados y en la volumetría al no responder a un sistema único de actuación en cuanto a alturas, anchuras y dimensiones de los espacios en general.

Alzados



Volumetría



Estructura

La cubierta está formada por vigas de madera que cubren la luz que hay entre los muros y por chapas de zinc ancladas a las vigas, las cuales cubren toda la superficie de la escuela.

Para entender el plano de cubiertas⁸ hay que tener en cuenta que el edificio ha sido ejecutado por volúmenes, de manera que cada uno de ellos funciona de manera independiente del resto. Prueba de ello es la composición de distintas alturas e inclinaciones que tiene la escuela como vemos en la figura 15.

La falta de planificación de la planta deriva en soluciones constructivas inadecuadas. En este caso concreto llama la atención que las vigas están colocadas en paralelo a las fachadas de mayor longitud, cuando lo lógico sería colocarlas en dirección perpendicular. Sin embargo, la chapa ondulada debe colocarse de manera que evacue el agua lo más rápido posible y por lo tanto debe estar colocada con la dirección del grecado perpendicular a la línea de fachada por la que va a evacuar. Es decir, a pesar de que cada espacio tiene unas dimensiones diferentes, el elemento que manda cómo debe ser el sistema estructural de las vigas y los muros es la chapa de zinc, lo que, aunque no parece tener mucho sentido, es el único motivo que encontramos como explicación.

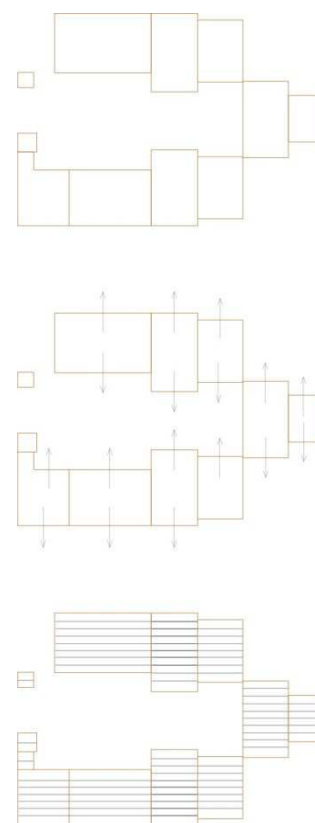


FIG. 14

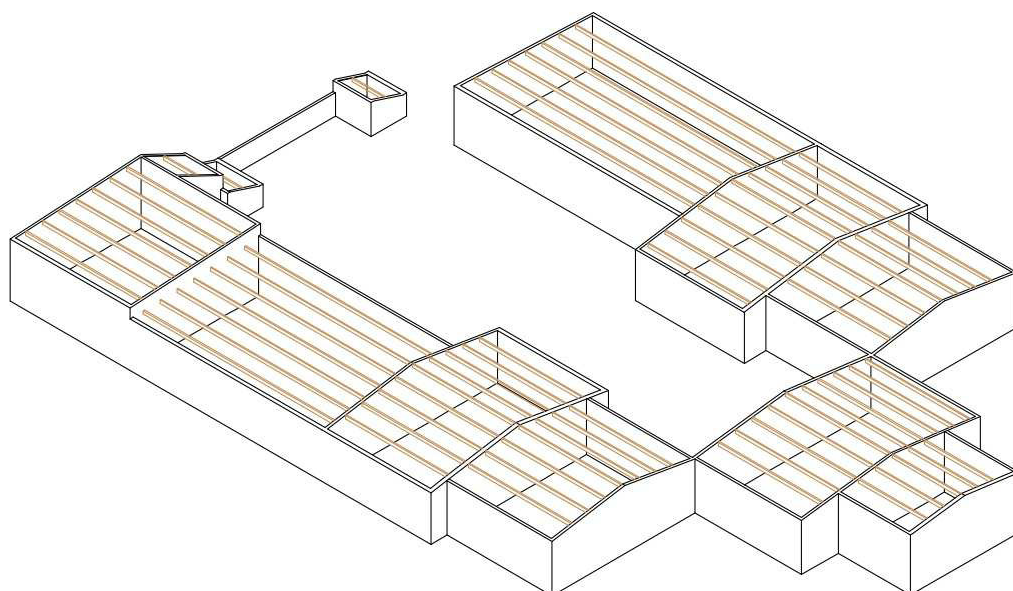


FIG. 15

⁸ Es un plano de elaboración propia que se basa en la interpretación de las imágenes y datos recogidos por Berta García.

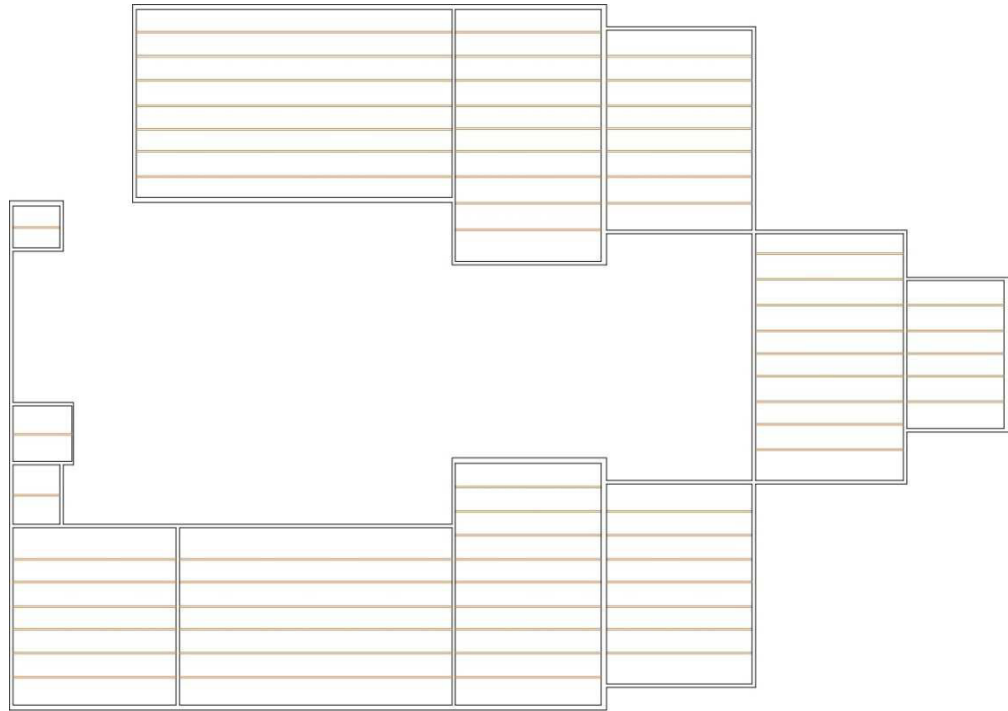


FIG. 16

Una vez hemos establecido una lógica a cómo y por qué están colocadas las vigas, observamos que la función estructural que cumplen es principalmente la de soportar su propio peso y la fuerza de succión del viento ya que el peso de la chapa de zinc va a ser mucho menor que las dos fuerzas anteriores. Sin embargo, precisamente debido a su bajo peso y a la existencia de fuertes vientos, se adoptan soluciones que pasan por añadir más peso a la cubierta, lo que varía la fuerza que la chapa ejerce sobre las vigas. Estas soluciones están más ampliamente explicadas en el apartado de problemas.

En cuanto al arriostramiento de los muros, las vigas no cumplen una función significativa puesto que estos son de carga en las dos direcciones al no existir una diferenciación entre muros estructurales y aquellos que delimitan los espacios.

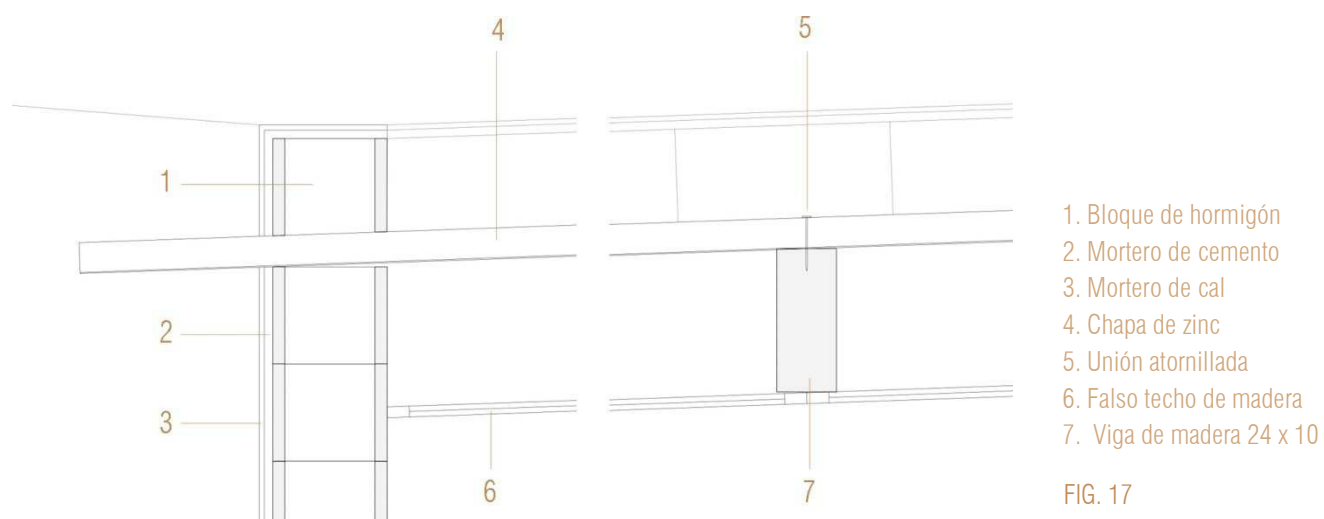
Las vigas de madera van incrustadas en el muro de hormigón sin llegar a sobresalir por el exterior. De este modo, están perfectamente rodeadas de bloques hormigón (o adobe, como sucede en la escuela Lal Handala) y del acabado que se les da posteriormente, dando lugar a una unión rígida entre los dos elementos.

Por su parte, la chapa de zinc apenas tiene sentido estructural mas allá de soportar su propio peso y no deformarse bajo el efecto de las fuerzas del viento o la lluvia. Su función más importante es la de cubrir el espacio, evitando que penetren en él agentes externos, principalmente la arena, y protegiendo el interior de la lluvia en los días de tormenta y sobre todo del sol a lo largo de todo el día.

La forma en la que se unen estos dos elementos es mediante tornillos de manera que la cubierta deja de ser un elemento continuo para estar perforado.

Durante el estudio de campo, la compañera Berta Garcia también analizó la escuela Lal Handala, de la cual no vamos a incluir documentación gráfica explicando el funcionamiento puesto que es muy similar al de Mahfud Ali-Beiba. Las únicas diferencias que encontramos entre estas dos escuelas son, por una parte las vigas metálicas que aparecen en Mahfud, producto de una intervención por parte de ALOUDA y por otra parte la tipología de cubierta que se adopta en cada una de ellas. Mientras que en la escuela de Mahfud, la cubierta es a dos aguas, en Lal Handala se pueden observar tanto cubiertas planas como a dos aguas.

En la escuela Mahfud, la cubierta está terminada en su parte inferior con un sistema de falso techo compuesto de planchas de madera que se descuelgan al ras del canto inferior de la viga, sujetándose a esta mediante unos rastreles también de madera, sobre los cuales se encajan las planchas.



La función del falso techo no está del todo clara, lo más probable es que se utilice para crear un segundo filtro entre el espacio exterior y el interior de la escuela y así evitar en mayor medida la arena y el aire. También tiene cierto sentido desde el punto de vista térmico, ya que genera una cámara de aire, que, bien ejecutada, podría aumentar el aislamiento de la cubierta. En el caso estudiado no se da este comportamiento debido a que no en todas las estancias existe esta solución y además en ocasiones se observa que las planchas que lo componen se han desprendido, dejando así de crear esta cámara de aire.

Iluminación

La cubierta soporta el cableado de la luz artificial, sin embargo no está prevista la posibilidad de que la luz natural penetre en el interior a través de esta.

Actualmente la iluminación natural de las escuelas es a través de pequeñas ventanas de aproximadamente 0,7 m x 0,9 m colocadas a unos 0,9 metros de altura. Sin embargo, muchas veces estas se encuentran tapadas con maderas impidiendo el paso de la luz, ya que, al romperse los vidrios, hay que tapar los huecos para impedir que entre la arena al interior.

Esto conduce a la necesidad de instalar luz artificial, que además de ser innecesaria a priori, actualmente no resuelve correctamente el problema de la iluminación por ser escasa ya que se ha comprobado que en la mayoría de las aulas solo funcionan una o dos bombillas. La mejor prueba de la deficiente iluminación es la pérdida de visión de los niños.

Por otra parte, este tipo de iluminación también supone un riesgo ya que no hay un sistema de seguridad adecuado en su instalación y los cables atraviesan sin protección el patio del colegio.

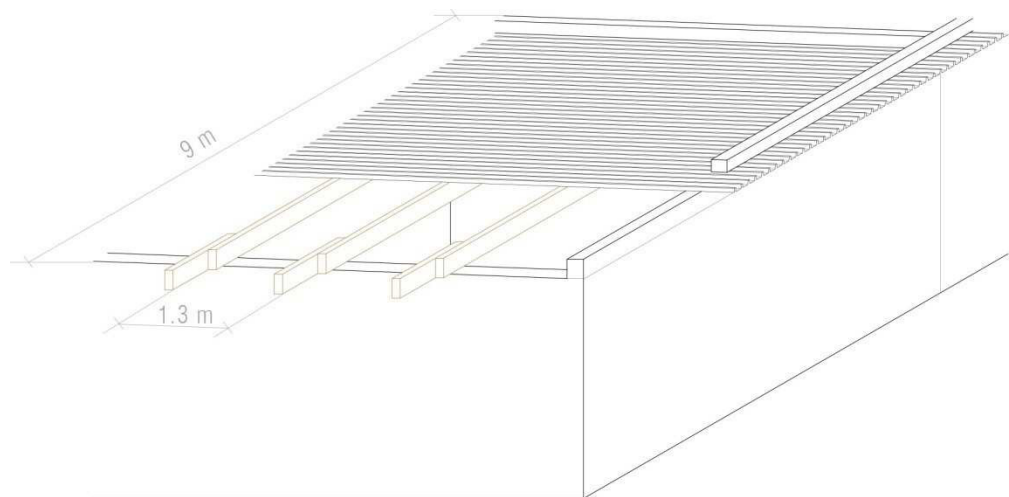


FIG. 18

PROBLEMAS DE LA CONSTRUCCIÓN

Aunque todos los problemas detectados proceden de un sistema estructural mal planteado, hay que distinguir entre los problemas por mala ejecución del mismo y otros que son consecuencia de una mala elección del sistema .

Empezaremos por los del primer grupo.

Dimensionado incorrecto de los elementos constructivos

Las vigas de madera tienen una sección aproximada de 100 x 240 mm con la que cubren una luz de unos 9 metros que es el largo total del que disponen las aulas. En algunas ocasiones aparecen muros intermedios que reducen esta distancia, sin embargo en muchos espacios encontramos vigas metálicas, producto de una intervención por parte de ALOUDA al percibir que la flecha de las antiguas de madera era excesiva debido a una luz desproporcionada con respecto a la sección y el material de las vigas.

Por contra a las grandes luces, las vigas están separadas entre sí 1,3 metros, lo que supone que cubren un área bastante reducida teniendo en cuenta las bajas cargas a las que están sometidas.

Como se ha explicado en el apartado anterior, las vigas de madera tan solo tienen que soportar el peso de la chapa, que puede estimarse en 9 Kg/m² y la fuerza de presión del viento que vamos a obtener con el método que propone el Documento Básico de Acciones sobre la Edificación.

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p = 0,5 \times 2 \times 0,2 = 0,2 \text{ KN/m}^2$$

Donde: $q_b = 0,5 \text{ KN/m}^2$
 $c_e = \text{coeficiente de exposición} = 2$
 $c_p = \text{coeficiente eólico} = 0,2 \text{ de presión}$

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-2,5	-2	-1,2	-0,6	0,2
	≤ 1	+0,0	+0,0	+0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	≤ 1	0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0
		-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	+0,0	+0,0

PROBLEMAS DE EJECUCIÓN

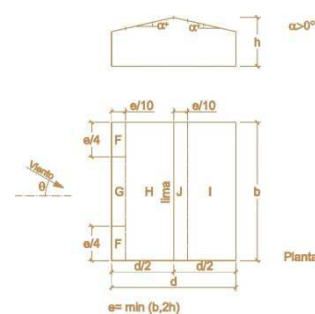


FIG. 19

Así pues, si las vigas están situadas a 1,3 m vemos que sobre ellas actúa el equivalente a una fuerza uniformemente distribuida de 0,38 KN/m.

Peso de la chapa = 9 Kg/m² = 0,09 KN/m² → 0,09 x 1,3 = 0,12 KN/m
 Presión del viento en la cubierta = 0,2 KN/m² → 0,2 x 1,3 = 0,26 KN/m
 Carga total = 0,12 + 0,26 = 0,38 KN/m.

Aunque es una carga muy reducida, si consultamos la tabla de algún fabricante de vigas de madera, vemos que con la sección que hay en esta construcción no se pueden superar luces de 6,5 m.

TABLA PARA DIMENSIONAR. LUZ MÁXIMA PARA VIGAS DE ÚN SÓLO VANO, BS-11 GL24h													
Fecha adm: L/300, Flexión adm: 1,1 KN/cm ² , Esfuerzo transversal adm: 0,12 KN/cm ² , Módulo elástico: 1100 KN/cm ²													
Espesor E	Ancho A	Carga distribuida en KN / m (carga por metro lineal, no carga por metro cuadrado !!)											
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8
120	80	3,14	2,75	2,51	2,34	2,20	2,09	2,00	1,92	1,83	1,67	1,55	1,45
160	80	4,16	3,66	3,34	3,11	2,93	2,78	2,66	2,56	2,44	2,23	2,06	1,93
100	100	2,81	2,47	2,25	2,09	1,97	1,87	1,79	1,72	1,66	1,55	1,44	1,35
140	100	3,91	3,44	3,15	2,93	2,76	2,62	2,51	2,42	2,33	2,18	2,02	1,89
160	100	4,46	3,93	3,59	3,34	3,15	2,99	2,87	2,76	2,66	2,49	2,30	2,16
200	100	5,54	4,89	4,47	4,16	3,93	3,74	3,58	3,44	3,33	3,10	2,87	2,39
120	120	3,56	3,14	2,86	2,66	2,51	2,39	2,29	2,20	2,12	2,00	1,89	1,77
240	120	6,98	6,18	5,66	5,28	4,98	4,74	4,55	4,38	4,23	3,99	3,77	3,53
140	140	4,34	3,83	3,50	3,26	3,08	2,93	2,80	2,70	2,61	2,45	2,33	2,23
200	140	6,13	5,43	4,97	4,63	4,37	4,16	3,99	3,84	3,71	3,50	3,33	3,18
240	140	7,29	6,48	5,94	5,54	5,23	4,98	4,78	4,60	4,45	4,19	3,99	3,81
200	200	6,78	6,04	5,55	5,18	4,90	4,66	4,47	4,31	4,16	3,93	3,74	3,58
280	200	9,30	8,33	7,67	7,18	6,80	6,48	6,22	6,00	5,80	5,47	5,21	4,99

FIG. 20

Por su parte, la chapa de zinc únicamente tiene que soportar la presión o succión del viento por lo que se podría simplificar a una carga de 0,2 KN/m² en el caso de tratarse de presión o de 1,7 KN/m² en la zona donde más succión se produce.

En cualquiera de los dos casos, al consultar la tabla de predimensionamiento, vemos que con esas cargas la luz puede ser bastante superior a los 1,3 metros que hay actualmente. Dependiendo de la altura y del espesor de la chapa el intereje de las vigas podría estar entre 3 y 4 metros.

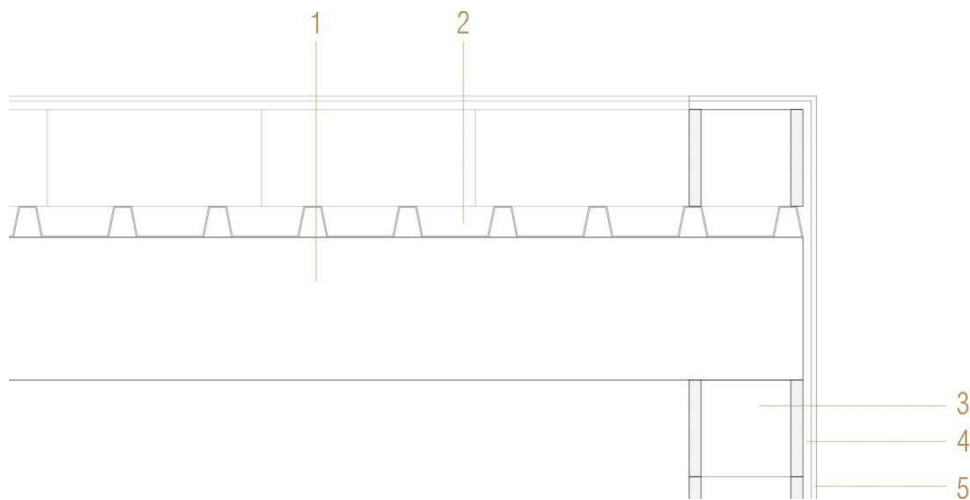
H forjado cm	Espesor mm	Sobrecargas uniformemente distribuidas KN/m ²												
		1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00	5,50	6,00	7,00	8,00	10,00	12,00
10	0,60	3,18	3,03	2,90	2,76	2,68	2,58	2,42	2,35	2,29	2,17	2,08	1,91	1,72
	0,70	3,44	3,27	3,12	2,99	2,88	2,78	2,58	2,50	2,42	2,30	2,20	2,05	1,72
	0,80	3,67	3,49	3,33	3,16	3,00	2,87	2,67	2,58	2,51	2,38	2,28	2,07	1,72
	1,00	4,08	3,81	3,53	3,33	3,16	3,02	2,81	2,72	2,64	2,51	2,40	2,07	1,72
	1,20	4,37	3,97	3,69	3,47	3,29	3,15	2,93	2,83	2,75	2,61	2,50	2,07	1,72
11	0,60	3,09	2,97	2,86	2,76	2,67	2,59	2,45	2,39	2,33	2,23	2,13	1,98	1,86
	0,70	3,34	3,21	3,09	2,98	2,88	2,79	2,64	2,57	2,51	2,39	2,30	2,13	1,91
	0,80	3,57	3,42	3,29	3,18	3,07	2,98	2,81	2,74	2,67	2,55	2,45	2,27	1,91
	1,00	3,98	3,81	3,67	3,53	3,42	3,28	3,04	2,95	2,86	2,72	2,60	2,29	1,91
12	0,60	3,00	2,90	2,81	2,73	2,65	2,58	2,46	2,40	2,35	2,26	2,17	2,03	1,91
	0,70	3,24	3,13	3,03	2,94	2,86	2,79	2,65	2,59	2,53	2,43	2,34	2,18	2,06
	0,80	3,46	3,35	3,24	3,14	3,05	2,97	2,83	2,76	2,70	2,59	2,49	2,33	2,07
	1,00	3,86	3,73	3,61	3,50	3,40	3,31	3,14	3,07	3,00	2,87	2,76	2,49	2,07
	1,20	4,22	4,08	3,94	3,82	3,71	3,61	3,42	3,32	3,22	3,06	2,93	2,49	2,07
13	0,60	2,91	2,83	2,75	2,68	2,62	2,56	2,45	2,40	2,36	2,27	2,20	2,06	1,95
	0,70	3,14	3,06	2,97	2,90	2,83	2,76	2,64	2,59	2,54	2,45	2,37	2,22	2,10
	0,80	3,36	3,26	3,17	3,09	3,02	2,95	2,82	2,76	2,71	2,61	2,52	2,37	2,23
	1,00	3,75	3,64	3,54	3,45	3,36	3,28	3,14	3,07	3,01	2,90	2,80	2,63	2,23
	1,20	4,10	3,98	3,87	3,77	3,67	3,58	3,42	3,35	3,28	3,16	3,05	2,67	2,23

FIG. 21

Deficiente relación con los elementos de apoyo

No se tiene en cuenta la posición de las vigas respecto a la de los huecos, por lo que aparecen vigas sobre dinteles de ventanas que no están bien preparados. Esto sucede sobretodo en las vigas metálicas instaladas para mejorar el comportamiento de las originales en la escuela de Mahfud, puesto que las de madera, en su mayoría no van a parar a las fachadas, sino a los muros de separación entre aulas.

Por otra parte, el apoyo de las vigas en el muro es directo, es decir, la carga de la cubierta se transmite de forma puntual al muro, por lo que se producen grietas que cómo vamos a analizar, pueden llevar al colapso de la estructura.



1. Viga de madera 24 x 10
2. Chapa de zinc
3. Bloque de hormigón
4. Mortero de cemento
5. Mortero de cal

FIG. 22

Aunque en este caso concreto los muros son de bloques de hormigón, vamos a calcular la resistencia del punto de apoyo como si fuese de adobe, ya que la mayoría de construcciones tienen esta otra tipología de muro.

$$\text{Resistencia a compresión del adobe} = 2 \text{ Kg/cm}^2 = 200 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Superficie de apoyo} = 10 \times 20 \text{ cm}$$

$$\text{Carga máxima admisible por el muro} = 200 \times 0,1 \times 0,2 = 4 \text{ KN}$$

Vamos a obtener el diagrama de esfuerzos para comprobar cuál es la fuerza a la que está sometida el muro:

-F. Fuerza puntual en los extremos (peso de la hilada) :

$$\text{Bloques de hormigón: } 16,25 \text{ Kg/u} \quad F = 162,5 \times 3,5 \times 2 = \mathbf{1,14 \text{ KN}}$$

$$\text{Hiladas de adobe: } 1700 \text{ Kg/m}^3 \quad F = 17 \times 1,3 \times 0,2 \times 0,3 = \mathbf{1,7 \text{ KN}}$$

- q_t . Carga uniformemente distribuida:

$$\text{Viga de madera: } 500 \text{ Kg/m}^3 \quad q_m = 5 \times 0,24 \times 0,1 = 0,12 \text{ KN/m}$$

$$\text{Peso propio de la chapa: } 9 \text{ Kg/m}^2 \quad q_c = 0,09 \times 1,3 = 0,12 \text{ KN/m}$$

$$\text{Presión del viento: } 0,2 \text{ KN/m}^2 \quad q_v = 0,2 \times 1,3 = 0,26 \text{ KN/m}$$

$$\mathbf{q_t = 0,12 + 0,12 + 0,26 = 0,5 \text{ KN/m}}$$

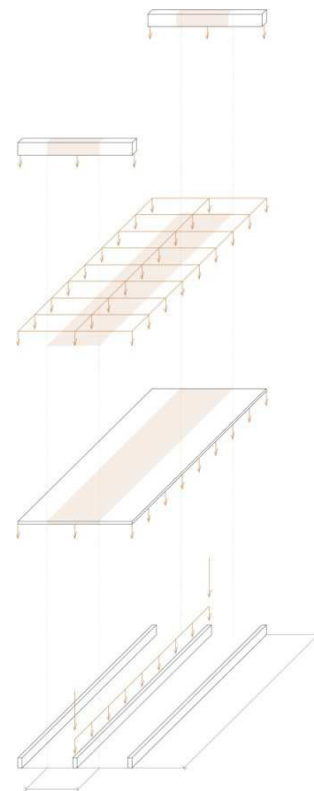


FIG. 23

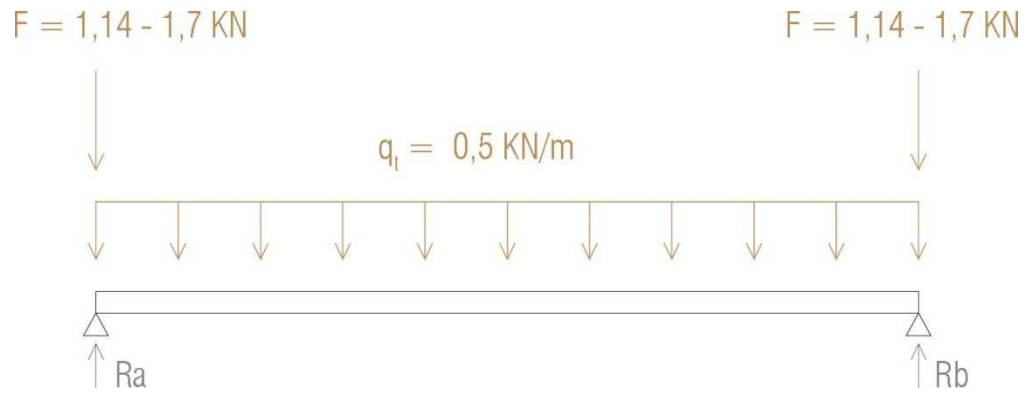


FIG. 24

La fuerza a la que se ve sometido el muro es igual a la reacción que produce en los apoyos, por tanto:

$$Ra = Rb = F + q_t \times 1/2 \times L = 1,14-1,7 + 0,5 \times 1/2 \times 9 = 3,39-3,95 \text{ KN}$$

Vemos que la fuerza aplicada es del mismo orden de magnitud que la carga máxima admitida por el muro, lo que significa que sería necesario replantear la entrega de las vigas al muro para no comprometer la seguridad estructural del mismo.

Mala ejecución en el anclaje de la cubierta a las vigas

Debido a que las chapas de zinc van atornilladas a las vigas, el agua y la arena se cuelan por las perforaciones. Este problema es menor en otras construcciones en las que se vierte una capa de mortero sobre la superficie de la cubierta, recubriendo toda la chapa de zinc.

Desprendimiento del falso techo

Por el motivo comentado en el punto anterior, la arena se acumula entre la cubierta y el falso techo, hasta que finalmente este vence, lo que genera problemas en la calidad del ambiente interior.



FIG. 25

Evacuación de agua e impermeabilización

Hay que recordar que en esta región las lluvias son escasas, pero cuando se producen es de forma torrencial, por lo que aunque durante la mayor parte del año haya ausencia total de precipitaciones, la tormenta de un solo día puede arruinar toda la construcción si no se ha previsto un sistema de impermeabilización y evacuación de agua adecuado para esa situación de emergencia.

A este respecto, el único mecanismo que encontramos en estas construcciones, más allá de la propiedad hidrófuga del zinc, es que esta chapa sobresale aproximadamente 30 centímetros del muro, protegiéndolo en parte de la lluvia.

Sin embargo, si realmente este alero cumple la función de proteger el muro de la lluvia cuando esta es evacuada de la cubierta encontramos una contradicción. Como ya se ha comentado, para conseguir que la cubierta de zinc aguante mejor la fuerza del viento, se colocan dos hiladas de bloques de hormigón a lo largo del perímetro, pero en ninguna imagen de las realizadas por mi compañera Berta se advierte que se haya previsto canalización alguna del agua a través de esta hilada para que evacue al exterior, al igual que tampoco se observa ningún mecanismo de evacuación interior. El efecto que puede tener esta situación es que el agua se acumule en la cubierta hasta rebosar del perímetro, lo que podría llegar a ejercer una fuerza superior a la que la cubierta soporta, llevándola al colapso.

A lo largo de la historia de los campamentos de Tindouf, se han sucedido varios episodios de lluvias torrenciales con duras consecuencias en las construcciones: el más reciente en 2015. El resultado fueron unas inundaciones que arrasaron 9000 viviendas y el 60% de las infraestructuras de los campamentos⁹ debido a que los bloques de adobe no lograron aguantar las fuertes lluvias.

Esto es porque a pesar de que el adobe absorbe y desorbe muy bien la humedad sin variar su resistencia, no presenta el mismo comportamiento cuando se somete a un contacto directo con el agua. En este caso, si no tiene aditivos específicos, se ablanda y se deshace.

Ante lluvias torrenciales, para proteger los muros debe haber una buena cimentación que eleve el adobe unos centímetros del suelo de modo que este no absorba el agua por capilaridad y, por otra parte, unos aleros bien dimensionados, para que la cubierta al evacuar el agua no la ponga en contacto con el muro, y a la vez proteja los muros de la lluvia directa.

⁹ Datos recogidos por ACNUR.

Poca estabilidad de la cubierta.

La chapa de zinc, debido a su bajo peso, se vuela con el viento y para evitarlo colocan dos hiladas de bloques de hormigón a lo largo del perímetro, ya que la unión atornillada que realizan no es suficientemente resistente.

$$q_s (\text{succión del viento}) = -1,7 \text{ KN/m}^2 > q_c(\text{chapa}) = 0,09 \text{ KN/m}^2$$

En otras construcciones con chapa de zinc se adopta otra solución más acertada para resolver este problema que consiste en verter mortero de cemento por toda la superficie de la cubierta. De este modo se aporta más peso y rigidez, a la vez que se mejoran las propiedades aislantes de la cubierta.

Otro de los problemas detectados es la solución dudosa de algunos puntos singulares. Por ejemplo, se observa que, para unir las vigas de longitud inferior a la luz que se pretende cubrir, se realiza una unión como la que se ve en la siguiente imagen.



FIG. 26

Otro ejemplo es el de duplicar la viga en determinados puntos, en los cuales no se llega a comprender un sentido estructural. Si se tratase de una unión para aumentar la longitud de la viga no parece que se haya resuelto adecuadamente. Y si es un refuerzo para un punto con mayor flecha, tampoco, puesto que no aumenta el canto de la viga que sería la medida apropiada para ese caso.



FIG. 27

Coste económico

La cubierta de las escuelas es la parte más cara de la construcción. Si la cubierta suele ser la parte de mayor coste de cualquier edificio, hay que añadir en este caso que se emplean materiales que no son propios del lugar.

La madera de las vigas y de los falsos techos y la chapa de zinc para la cubrición deben adquirirse en la ciudad de Tindouf, situada a 30 Km de la wilaya 27 de Febrero, lo que supone añadir a la construcción el coste adicional del transporte.

Por otra parte, usando materiales de fuera no se fomenta la economía local de los campamentos, debido a la escasez de recursos, el principal objetivo de los proyectos debería ser emplear materiales autóctonos.

Problemas térmicos

A mi juicio este supone el problema más grave que se produce a raíz del tipo de cubierta empleado.

Este surge debido a las propiedades térmicas de la chapa de zinc que cubre por completo las escuelas. La chapa está sometida a una gran radiación solar durante el día, alcanzando altísimas temperaturas. El zinc al ser un excelente conductor de la temperatura cede toda esa energía acumulada al aire con el que está en contacto, elevando de forma considerable la temperatura en el interior de las escuelas.

Inexistencia de espacios al aire libre con sombra

Este último punto no puede llegar a considerarse un problema, más bien es una oportunidad. Debido al clima y a otros factores sociales, los saharauis han ido desarrollando una cultura en la cual la vida pública se realiza en el interior de las jaimas. Si sumamos esto al hecho de que viven en un campamento, en el que un planteamiento urbanístico no tenía cabida, el resultado es el de un asentamiento con carencia de espacios públicos exteriores.

Como hemos mencionado, este resultado es normal teniendo en cuenta un clima que no favorece la vida al aire libre. Sin embargo, y sin querer abarcar más allá del ámbito de estudio que son las escuelas, se observa la posibilidad de generar espacios al aire libre de tipo recreativo, para los niños de las escuelas, mediante porches o estructuras similares que aminoren el efecto del sol.



FIG. 28

HIPÓTESIS

Una hipótesis para explicar los errores cometidos en la ejecución del sistema estructural es que puede provenir de una aplicación directa del sistema tradicional de cubiertas de tierra sobre un entramado de caña y vigas de madera, pero con el uso de materiales completamente diferentes. Por una parte, por la mala fama que ha ido adquiriendo la tierra como material de construcción al no presentar una resistencia suficiente frente a la lluvia, y por otra, por la dificultad de conseguir madera, el otro material básico de las construcciones tradicionales.

Así pues, los troncos de madera se han sustituido por vigas de madera laminada adquiridas en Tindouf y las cañas y la tierra por la chapa metálica. Esto explicaría las distancias tan pequeñas a las que se colocan las vigas de madera, que podrían ser mayores al usar chapa grecada en vez de caña.

La consecuencia más grave de este traslado literal de una técnica adecuada para otros materiales es el enorme empeoramiento del comportamiento térmico.

SISTEMAS Y ESTRATEGIAS

DEFINICIÓN DE INTERESES

Una vez realizado el análisis del sistema de construcción de cubiertas actual, analizaré diferentes sistemas constructivos para encontrar en ellos estrategias que me permitan elaborar una propuesta.

Los sistemas constructivos son escogidos en base a unos criterios que considero los más importantes para esta situación. Esto es, voy a fijarme en aquellas construcciones que se desarrollen con materiales o en condiciones similares a las que se dan en este caso de estudio y que me puedan aportar estrategias en cuanto a: la iluminación; la evacuación de aguas e impermeabilización; y la regulación térmica, dentro de la cual entiendo también la regulación de la humedad y la ventilación

MATERIAL

ILUMINACIÓN

IMPERMEABILIZACIÓN

TEMPERATURA

HUMEDAD

VENTILACIÓN

SISTEMA DE CÚPULAS

El empleo de cúpulas para cubrir los espacios es uno de los sistemas recurrente en las construcciones desérticas tradicionales. Podemos encontrar este sistema en los asentamientos de los pueblos indígenas hopi y navajo en América del Norte, los musgum de Camerún, los habitantes de Siestán en Afganistán, de Täbris, Kachan y Yazd en el Irán y los habitantes de los trulli en Italia.

Este hecho encuentra explicación en diferentes circunstancias.

En primer lugar, porque para su construcción se emplea el material autóctono por excelencia de las zonas desérticas, el adobe. Si bien pueden emplearse para ello otros elementos como el ladrillo, el adobe, además de poder producirse en el lugar de la obra y con materiales locales, presenta unas características muy interesantes para situaciones de clima seco y caluroso y con grandes oscilaciones de temperatura, como es el desierto.

El arquitecto e ingeniero alemán Gernot Minke, en su libro "Manual de construcción en tierra" comenta las propiedades del adobe como material de construcción, que van más allá de la regulación térmica que aporta debido a su capacidad de acumular calor. También regula la humedad ambiental, siendo capaz de absorber humedad sin ablandarse y presenta otras características relacionadas con la sostenibilidad interesantes también desde el punto de vista de la construcción. Estas son: la baja energía necesaria durante su preparación, transporte y trabajo; que es reutilizable ya que solo es necesario machacarlo y humedecerlo para que vuelva a su estado original; su fácil, aunque laborioso, manejo para la construcción; que preserva la madera y otros materiales orgánicos; y su capacidad para absorber contaminantes.

Tapial: tierra amasada y encofrada para poder ser apisonada, con el fin de ejecutar muros monolíticos.

Cob: masa de barro y abundante paja que se apila y moldea a mano para formar muros monolíticos. La composición del material es parecida al adobe, pero el moldeado se realiza directamente en el muro sin previo confinamiento en un paralelepípedo.

Por otra parte, el tipo de construcción de cubiertas mediante cúpulas, por su forma, también favorece una mejor regulación de la temperatura ya que se alcanza una mayor altura en el centro de la habitación por lo que hay un espacio más alejado de las personas donde se va acumulando el aire caliente que asciende y del que puede ser evacuado.

Por último, las cúpulas también ofrecen una menor superficie construida para un mismo volumen que una construcción cúbica por lo que reciben menos radiación solar, es decir, se calientan menos, además del ahorro de material y tiempo de construcción que eso supone.

Aunque existen otras técnicas de construcción en tierra, como el tapial y el cob, que ofrecen todas las ventajas de la construcción en tierra no resultan tan interesantes para este estudio puesto que no tienen una aplicación directa en la construcción de cubiertas.

Hay distintos sistemas constructivos de cúpulas. A continuación vamos a comentar aquellos que se realizan sin encofrado por la ventaja que supone no tener que recurrir a otro material que no sea el adobe, que es el material del que disponen.



FIG. 29

Bóvedas nubicas

Esta es una técnica, desarrollada durante siglos en Egipto, que consiste en la construcción de bóvedas sin encofrado usando arcos inclinados de adobe.

Las bóvedas se construyen con piezas de 15 x 25 x 5 cm, un tamaño relativamente pequeño para que el peso de las piezas no sea elevado y no se deslicen sobre el arco en que van apoyadas antes de que el mortero se seque. El arco también tiene que tener una inclinación adecuada por este mismo motivo. Tras algunos estudios se ha concluido que la inclinación óptima son $65-70^\circ$ respecto a la horizontal, de este modo la inclinación no es tan pequeña como para que llegue a colapsar la parte inferior ni tan pronunciada como para que los bloques de la siguiente hilada se deslicen en la parte superior del arco.

La bóveda resultante, cuya forma es de catenaria invertida, necesita descansar sobre un muro colocado en extremo o en el centro o con dos muros colocados cada uno en un extremo.



FIG. 30

El FEB¹⁰ ha desarrollado dos mejoras de este sistema, ambas relacionadas con la dimensión de los bloques con el objetivo de reducir la mano de obra y la cantidad de mortero utilizado.

Otra variación de la construcción de estas bóvedas es usando adobes de 10x10x20 aparejándolos en espina de pez. Este sistema mejora la estabilidad de la construcción pero requiere un gran esfuerzo para mantener la geometría, además de que es necesario estudiarla antes de la puesta en obra mediante una maqueta, lo que podría suponer un problema a la hora de implantar el sistema ya que los constructores autóctonos deberían aprender la técnica.

Cúpulas afganas y persas

Estas cúpulas se emplean para techar espacios cuadrados, para ello se van levantando arcos con una inclinación aproximada de 30 grados sobre la horizontal. Los adobes deben tocarse en la base y se pone una piedra en la parte superior para que el adobe entre en carga antes de que se seque el mortero, de esta manera se puede trabajar sobre la cúpula desde el primer momento.

Se puede combinar con la núbica, dando lugar a muchas más posibilidades de cubrir espacios que no sean únicamente cuadrados.

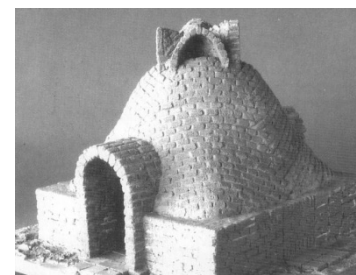


FIG. 31

Cúpulas núbicas.

Al igual que las bóvedas núbicas esta es una técnica milenaria procedente de Egipto.

Consiste en colocar hiladas circunferenciales de adobes utilizando una guía móvil. Para la colocación de los bloques de adobe existen dos técnicas. En la primera, mas laboriosa, las piezas se colocan de canto evitando así el deslizamiento de las recién colocadas, pero requiere el uso de bloques especiales en forma de cuña después de un cierto número de adobes. Debido a la gran exigencia de trabajo que esto requiere se desarrolló la segunda técnica, en la cual los bloques se colocan radialmente, con la desventaja de que en este caso solo se pueden realizar cúpulas esféricas.

Otra desventaja es que en las cúpulas esféricas se generan fuerzas circulares de tracción en la parte inferior, por lo que deben colocarse tensores de acero o algún otro elemento de retención cuando se requiere cubrir grandes luces.

El grupo Development Workshop¹¹, Lauzarte, Francia, ha construido cúpulas mediante esta técnica para varios proyectos en Nigeria pero usando una guía rotatoria excéntrica

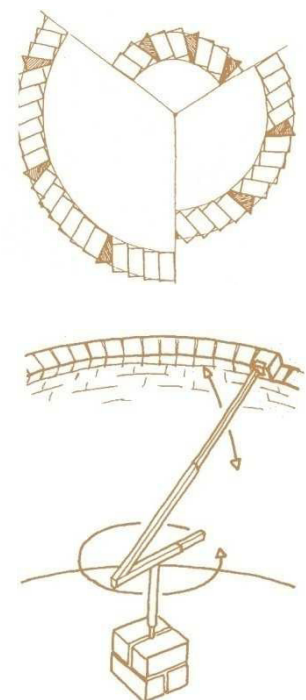


FIG. 32

¹⁰ FEB: Instituto de Construcciones Experimentales de la Universidad de Kassel, Alemania.

en vez de central. La forma que se genera al utilizar la guía excéntrica puede ser tal que las fuerzas resultantes se anulen pero pueden producirse fuerzas de compresión que generen problemas en caso de grandes huecos.



FIG. 33

Cúpulas estructuralmente optimizadas

El FEB ha elaborado una nueva técnica usando una guía rotatoria con la cual no se necesitan encofrados, se obtiene una geometría óptima y se evitan las fuerzas de anillo a tracción y a compresión.

La guía rotatoria tiene un ángulo recto con el que se colocan los bloques, este ángulo puede ser movido en una sección T curva de metal, esta T está fijada a un brazo rotatorio que a su vez está fijado a un poste vertical.

En la universidad de Kassel, Alemania, se construyó un prototipo de cúpula con este sistema en 1992 con 7 metros de diámetro y 6 de altura libre con un espesor de tan solo 20 centímetros. Para la sección transversal se empleó un programa informático que lograba definir una geometría que generaba fuerzas de anillo.

El bloque de tierra comprimida

Como hemos podido ver, este sistema constructivo depende en gran medida de los elementos empleados para su ejecución. Aunque lo más común es que se usen los bloques de adobe, recientemente se ha avanzado mucho respecto a la prefabricación de elementos de tierra y ya sabemos que todo lo que tiene que ver con la industrialización y estandarización de un material o un sistema constructivo contribuye a su avance y a una mayor utilización del mismo.

Es por esto que ha aparecido una variante del adobe que mejora alguna de sus propiedades. Nos referimos al BTC o bloque de tierra comprimida.

La gran diferencia entre el adobe y el BTC es que la cantidad de agua que se emplea en la fabricación de este último es menor ya que el adobe requiere una composición más fluida para poder ser trabajado manualmente.

¹¹ Organización dedicada a hacer construcciones en países en vías de desarrollo. Trabajan en Nigeria desde 1979 para introducir técnicas de construcción tradicionales de Egipto e Irán que se adaptan a las condiciones que hay en Nigeria. Su misión fue implantar el programa de Woodless que capacitó a la población local para construir viviendas dignas y sostenibles y otros edificios. Luego se implementó el programa en otros países como Mali (1992), Burkina Faso (1995) y otros países como Mauritania, Namibia y Senegal.

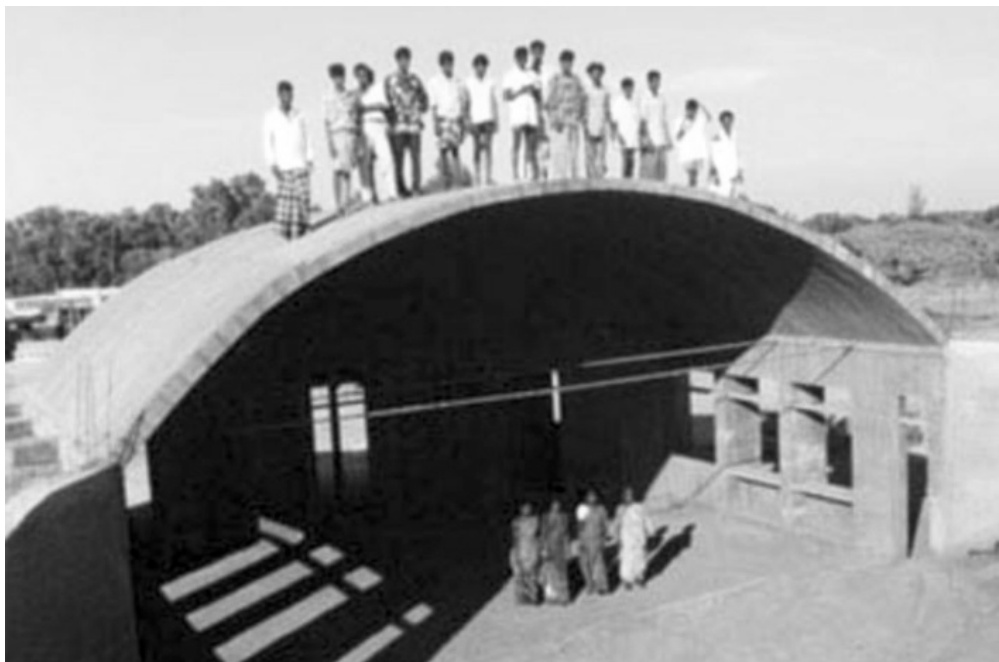
Además de la mayor cantidad de agua también contiene mayor cantidad de arcillas que también incrementan el efecto de retracción durante el secado. Es por esto que en el adobe se suelen usar fibras vegetales como la paja para que durante el tiempo de secado, en el que se evapora todo ese agua, no se produzcan grietas por retracción. En el caso de BTC ya no es necesario el uso de la paja, sin embargo suele incluir en su composición una parte de cal o cemento.

Finalmente, para su obtención se prensa mecánicamente y se deja secar al aire.

En un primer momento podría no parecer interesante esta técnica para la aplicación en los campamentos del Sahara puesto que necesita de maquinaria específica para su producción que no podemos asegurar que sea fácil obtener allí. En cambio se conoce la existencia una prensa manual llamada Auram 3000 que podría ser más sencilla de implementar.

Esta prensa, aunque manual, alcanza un índice de compresión muy alto de 1,60 hasta 1,83 con 150 KN de fuerza disponible. El alto índice de compresión alcanzado por la prensa produce bloques con una elevada resistencia a compresión. Además permite la elaboración de bloques muy precisos, con menos de 1 mm de tolerancia en su altura, lo que confiere a la obra una mayor homogeneidad que se traduce en ahorro de mortero a la hora de su construcción, ya que solamente necesitan entre 0,5 y 1 cm de mortero de tierra estabilizada para su agarre.

Un ejemplo del empleo de los bloques BTC producidos con el método Auram es la cubierta de la sala polivalente de la escuela Deepanam de Auroville, India, la cual está construida con la técnica ya comentada de bóvedas núbicas.



La sala polivalente de la escuela Deepanam de Auroville está cubierta por bóvedas núbicas, construidas con bloques de tierra comprimida y estabilizada según el método Auram.

FIG. 34

Protección ante las inclemencias del tiempo

La principal desventaja de la construcción en tierra es que no es impermeable lo que la hace vulnerable a los agentes externos, sobre todo a la lluvia. En el "Manual de construcción en tierra" de Gernot Minke se anuncian algunos métodos para proteger las superficies de las inclemencias del tiempo. Estos son:

-Consolidación de la superficie. Se deja brillante, sin poros ni fisuras ejerciendo presión con un badilejo metálico.

-Uso de pinturas. Protegen la superficie pero hay que renovarlas periódicamente ya que también se deterioran con las inclemencias del tiempo. Además, reducen la difusión de vapor del elemento en el que se aplican, lo que puede producir condensaciones.

-Aditivos hidrófobos. Algunos de estos aditivos son muy eficaces reduciendo la absorción de agua pero por lo general cuanto mejores son, mas reducen su capacidad de difusión del vapor.

-Mezcla con nopal¹². El nopal es una planta perteneciente a la familia de las cactáceas cuyo mucilago mezclado con otros materiales de construcción mejora significativamente la resistencia contra la lluvia y la humedad de muros, suelos y techos.

-Ripias, tablazones y otras cubiertas. La impermeabilización se soluciona con otro material completamente ajeno a la superficie y que requerirá un detalle constructivo un poco más complejo. Se pueden emplear materiales de reciclaje como neumáticos desechados, que se pueden fijar directamente al muro de barro o sobre una estructura de madera.

-Revoques de cal. Es la alternativa más común.

En este trabajo vamos a estudiar más en profundidad el uso de la cal como impermeabilizante para las cubiertas, por considerar que se trata de la opción más fácil de incorporar por su sencillez de uso, así como por la seguridad de que es un material que se puede conseguir en los campamentos.

Como se ha comentado, es la técnica más común para proteger superficies de la lluvia y otros agentes externos. En muchos países la cal ha sido un elemento fundamental en la construcción que ha permitido crear obras de gran belleza y durabilidad.

Es a partir del siglo XX, con el auge del cemento, cuando este elemento va quedando relegado a un segundo plano, a pesar de ofrecer revocos más duraderos que el cemento, ya que presenta un comportamiento muy frágil cuando se somete a altas cargas térmicas.

¹² Esta solución aparece en el libro de Johan van Lengen, *Cantos del arquitecto descalzo* (PAX MEXICO, 2011)

Se ha ido perdiendo la tradición de generar una arquitectura sensible al clima, solucionando todos los problemas con el uso intensivo de la tecnología. Y esto no solo es malo para el medio ambiente porque agota recursos sino también es malo culturalmente puesto que produce desarraigo espacial, ambiental, cultural...

D.Pearlmutter, 2000

De igual manera se van dejando atrás muchas facetas de la cultura de la arquitectura tradicional.

Ahora, con la creciente conciencia ecológica que ha surgido en la arquitectura, parece que vuelven a recobrar interés materiales como la tierra o la cal por sus cualidades de bajo impacto ambiental. También están creciendo sus seguidores por motivos sanitarios, debido a los estudios que están empezando a ver la luz sobre los efectos negativos que tienen algunos materiales en nuestra salud.

Dicho esto, vamos a estudiar el uso de la cal. Es el producto de un proceso de calcinado, rehidratación y secado de rocas de origen calizo. Una de las propiedades que hacen interesante a este material es que durante su fraguado experimenta un proceso de carbonatación por el cual absorbe de la atmosfera la misma cantidad de CO_2 que se ha producido para su elaboración.

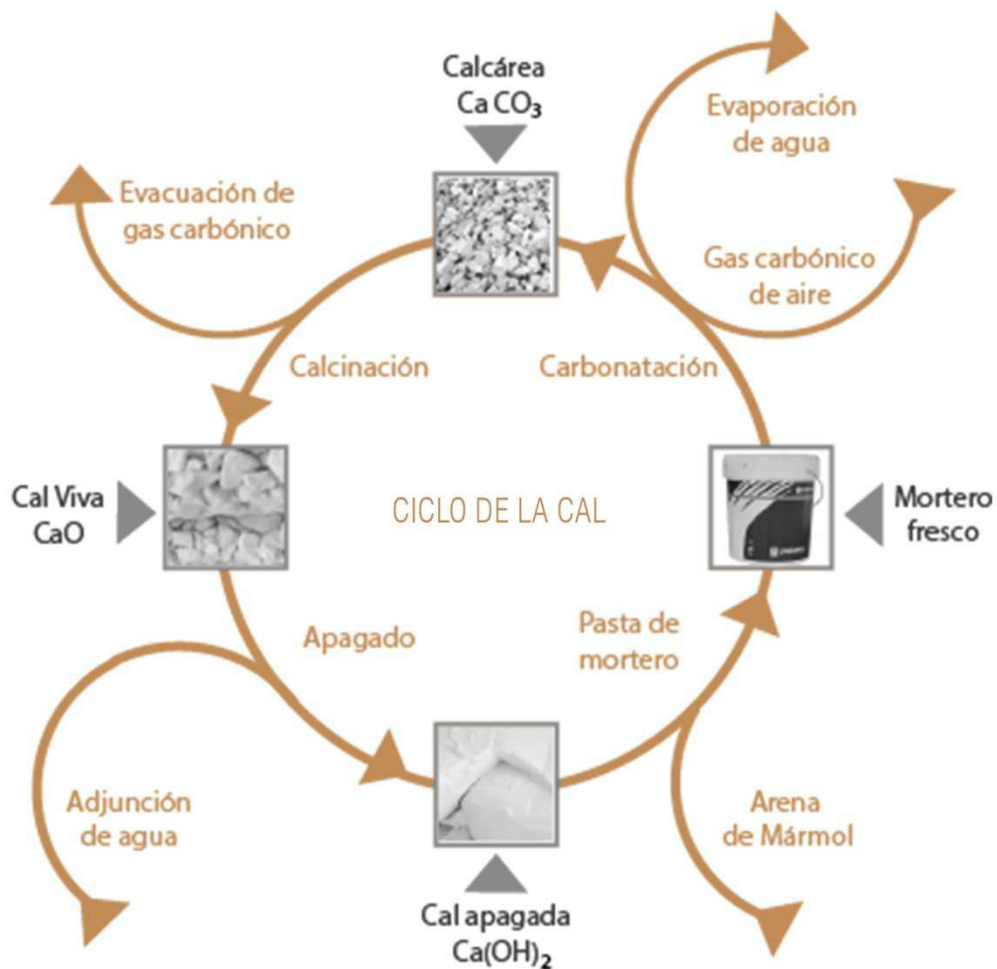


FIG. 35

En la construcción, destaca su capacidad como estabilizante para limitar los efectos de absorción hídrica, dilatación y retracción de las arcillas. Es por eso que a lo largo de la historia se ha utilizado para dar acabado a las construcciones y mejorar su resistencia a los fenómenos climáticos al tiempo que su apariencia.

Otra virtud que hace este material interesante para el estudio es que la cal trabaja muy bien con la tierra. Por una parte, la protege frente al agua pero, gracias a su porosidad, permite el intercambio de aire y vapor entre el interior y el exterior evitando que se produzcan condensaciones, cosa que ocurriría si un material con un comportamiento como la tierra se recubriese con otro impermeable.

"Para que este comportamiento sea efectivo y conseguir una buena adherencia con la tierra el recubrimiento se debe aplicar en capas sucesivas con variaciones granulométricas de la arena y proporciones crecientes de cal, de modo que el primer estrato del aplanado contenga arena gruesa en una proporción aproximada de tres a uno con respecto a la cal y un espesor aproximado de tres centímetros. Posteriormente se coloca una segunda capa utilizando arena medianamente tamizada, en una proporción aproximada de dos a uno con respecto a la cal y con espesores de no más de medio centímetro. Finalmente se coloca una delgada capa de mortero con arena finamente cribada, y en una proporción igual a la de la cal. Esta última capa puede ser el acabado final sustituyéndola por una capa de pintura a la cal (hidróxido de calcio con pigmentos naturales, algún aglutinante orgánico y un poco de sal)."

Así se explicó en el VI Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2009¹³ el modo como debería aplicarse un revoco a un paramento de tierra para obtener un comportamiento adecuado. Sin embargo, surge la duda de si al mantener cierta porosidad para que no se produzcan condensaciones, las estructuras seguirían colapsando ante lluvias torrenciales al no lograr una impermeabilización completa.

Siguiendo con su aplicación en las cubiertas de las escuelas del Sahara es importante resaltar que la alta radiación va a suponer un condicionante en el empleo de este material. En primer lugar, en su modo de aplicación ya que se aconseja que si este va a estar sometido a altas temperaturas se utilice algún tipo de refuerzo para aplicarlo, como pueden ser mallas metálicas (acero galvanizado), de fibra de vidrio o esteras de caña.

Y por otra parte, el principal problema que se advierte en el uso de cal en esta región es que las condiciones climáticas no son muy apropiadas debido a las altas temperaturas, la presencia frecuente del viento y la baja humedad por lo que el proceso de fraguado se vería alterado y cuanto más rápido se produce este menor resistencia final se obtiene. Habría que hacerlo en las épocas más frías y húmedas y proteger la construcción del viento temporalmente, es decir en invierno.

Por último, debe mencionarse que la cal posee otras propiedades menos interesantes para este estudio pero que aportan un valor añadido a este material, como la facilidad

¹³ Recogido en el libro *La arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación*, artículo LA CAL EN EL DISEÑO Y CONSERVACIÓN DE ARQUITECTURA DE TIERRA. Luis Fernando Guerrero Baca, Francisco Javier Soria López y Alma Beatriz García Koch

de almacenamiento o la capacidad de repeler gérmenes, hongos y que los pequeños insectos son repelidos debido a su alta alcalinidad.

Instituto de investigaciones del desierto.

Esta obra fue diseñada por el arquitecto egipcio Hassan Fathy, cuyos intereses generales explicaremos al final de este apartado.

El edificio está situado en Sadat, Egipto, y fue construido en el año 1979 como el Instituto de Investigaciones del Desierto de la Universidad Americana del Cairo.

Es interesante comentar esta obra puesto que está construida en su mayor parte por tierra. Los muros son de adobe revocado con cal, y al mismo tiempo, todos los espacios y corredores que lo componen están cubiertos por cúpulas o bóvedas núbicas.

Para su impermeabilización se optó una superposición de capas que en su conjunto protegen la cubierta de las inclemencias del tiempo. La primera capa consiste en un revoque de barro, sobre esta se aplica una lamina de pintura bituminosa que protegerá la tierra que hay debajo del agua. Por último, se ha realizado un acabado de mortero de cal y cemento que protegerá la pintura bituminosa de la radiación solar impidiendo su deterioro, del mismo modo, esta ultima capa también será capaz de soportar las primeras lluvias. Se podría decir que la lamina bituminosa es una garantía de impermeabilización cuando el acabado de motero y cal no sea suficiente, bien porque las precipitaciones tengan una intensidad inesperada o porque su mantenimiento no haya sido el adecuado.



FIG. 36

SISTEMA DE BOTELLAS DE PLÁSTICO



FIG. 37

Tateh Lehbib Barika, un ingeniero saharauí en energías renovables titulado en Argel y con un Máster en eficiencia energética por la universidad de Las Palmas en Canarias, ha desarrollado un sistema constructivo a partir de botellas de plástico con el objetivo de ofrecer a su comunidad la posibilidad de tener una vivienda más digna. Con este método pretende mejorar las viviendas actuales en cuanto al comportamiento térmico, así como su resistencia frente a la lluvia.

El sistema consiste en sustituir los bloques de adobe comúnmente utilizados por botellas de plástico de 1,5 litros llenas de arena, con lo que obtiene unas "unidades de construcción" bastante aislantes térmicamente y resistentes al agua.

Además, cuenta con otras estrategias para mejorar el funcionamiento térmico de las casas. En primer lugar, se proyectan con forma circular de modo que se reduce la radiación solar que reciben. Además, la forma circular presenta otra ventaja ya que supone un obstáculo menor al paso de la arena arrastrada por el viento por lo cual, se reduce la cantidad de arena que comúnmente se acumula en la puerta de las viviendas.

Otra estrategia empleada es el acabado de estas construcciones que consiste en un revoco de cal blanca, contribuyendo de nuevo a que la cantidad de radiación absorbida sea lo menor posible para lograr rebajar las temperaturas en el interior. Este acabado de cal también protege la construcción de la lluvia.

La técnica constructiva empleada en la cubierta constituye otra de las estrategias empleadas, y es lo más interesante para este estudio. La cubierta está formada por dos capas entre las cuales circula el aire con el objetivo de mejorar la ventilación de la vivienda y por tanto disminuir la temperatura en su interior. La primera capa está formada por esterillas que comúnmente se usan como alfombras. La segunda capa constituye el cerramiento final.



FIG. 38

Como vemos, para su construcción se genera un entramado bastante tupido de madera sobre el cual colocar las botellas rellenas de arena que funcionarán como aislamiento. Posteriormente serán recubiertas con una capa de mortero de cal que protegerá la cubierta de la lluvia.

Una vez se crea la estructura principal se, sus paredes están cubiertas con cemento y piedra caliza, y luego pintado de blanco para reflejar los rayos del sol y mantener la temperatura de la habitación fresca.

Obviamente también es interesante la segunda vida que le da a las botellas reduciendo así los contaminantes.

Una diferencia estructural importante con respecto al sistema empleado actualmente en las cubiertas de las escuelas es la diferencia de peso que deben aguantar las vigas de madera, siendo muy superior en este caso debido a la gran fuerza que van a ejercer las botellas sobre estas.

En este sistema advierto las siguientes desventajas: necesita materiales que no se pueden obtener de su propio entorno, en primer lugar por la madera que emplea para realizar la cubierta y en segundo lugar las botellas de plástico, que si bien ayudan a bajar el volumen de residuos no creo que se generen tantas como para cubrir toda la demanda de edificación (no se generan tantas en los campamentos como para implantarse como método, pero igual es una forma de reciclaje a una escala mayor). Por otra parte, atendiendo a la condición de temporalidad de su asentamiento, se generaría unas construcciones menos reciclables que aquellas de adobe, puesto que estas al demolerse solo quedan productos orgánicos que vuelven a integrarse con la tierra y en este caso quedarían residuos plásticos.

SISTEMA DE ARQUITECTURA TEXTIL

Las muestras más antiguas de arquitectura textil se encuentran en la documentación sobre las construcciones de pueblos nómadas. Aun hoy en día, este sistema está presente cuando existe el carácter de temporalidad en la construcción, un claro ejemplo son las tiendas de los campamentos o las carpas para eventos.

En los campamentos saharauis la construcción con tejidos está bastante arraigada precisamente por el significado de temporalidad que entraña ya que se ajusta bastante bien al sentimiento del pueblo respecto a su situación política.

Prácticamente cada familia cuenta con una jaima, donde desarrolla la mayor parte de su vida social. El origen de estas construcciones viene de antes del conflicto con Marruecos, cuando el pueblo saharauí era nómada. En esa época, los saharauis vivían en el desierto en jaimas, es decir, en tiendas beduinas compuestas por pelos de camello y de cabras cosidas manualmente entre ellas.

En origen se usaban pieles de animales que se apoyaban en troncos, mas tarde con la aparición del tejido se pudo sustituir el uso de las pieles por materiales más flexibles, y con los que se podían obtener infinidad de posibilidades de color, forma y tamaño. En la actualidad, este campo sigue en pleno desarrollo y los tejidos se van abriendo camino en el campo de la arquitectura gracias al descubrimiento de fibras sintéticas que han permitido unos avances significativos en cuanto a sus capacidades químicas y físicas, haciendo este material cada vez más duradero y resistente.

En Europa el uso de este material en la arquitectura empieza a aparecer en Alemania, de la mano de Frei Otto en los años 60 y en Estados Unidos 10 años más tarde con la construcción del colegio La Verne en California.

La permanencia de esta técnica se debe a los artistas trashumantes y a los habitantes de las regiones cálidas (nómadas del desierto, y a los de las cuencas mediterráneas que han convertido las velas de los barcos en toldos, por ejemplo) y a los militares.

Hoy día, el principal interés del uso de este material reside en su capacidad de cubrir grandes luces de forma difícilmente superable en rapidez, facilidad y economía. Esto es gracias a la excelente relación peso-coste del material, que permite generar ambientes con un mínimo de materiales, ya que el bajo peso de la tela permite que la estructura que la soporta sea también ligera. Y por supuesto por las posibilidades que ofrece en el campo de la arquitectura efímera.

En este punto cabe preguntarse de si se puede considerar la tela como un material de construcción, ya que, debido a sus propiedades parece relacionarse más con un elemento decorativo. Sin embargo, si entendemos la arquitectura como la definición y

envoltura de espacios¹⁴ no cabe duda de que la tela abre un mundo inmenso de posibilidades.

Como ya hemos dicho, su virtud como material de construcción es su capacidad de generar ambientes interiores, y es por ello, que su propiedad más interesante es la transmisión luminosa¹⁵ es decir, su transparencia, que puede variar dependiendo del tejido entre el 10 y el 50%. Gracias a esta característica de semitransparencia de los tejidos se crea un efecto de luz difusa que puede lograr unos niveles de iluminación adecuados para desarrollar cualquier actividad.

Sin embargo, como podemos imaginar, sus propiedades como aislamiento térmico son completamente nulas, debido a su pequeña masa e ínfimo espesor. En cambio puede llegar a generar ambientes confortables si se saben emplear sus características, como es su capacidad para generar un potente efecto invernadero. Esta capacidad es muy interesante en algunos casos, pero desde luego este no es uno de ellos ya que en muy pocas ocasiones vamos a necesitar aumentar la temperatura. No obstante, lo que si puede ser muy útil en este clima es el efecto sombrilla que podemos conseguir con estas construcciones cuyo objetivo será el de reducir la radiación directa, que si lo sumamos a la posibilidad de introducir ventilación lograremos descender la temperatura interior, como consigue la Terminal Haj del aeropuerto de Jeddah, en Arabia Saudí que analizaremos más adelante.

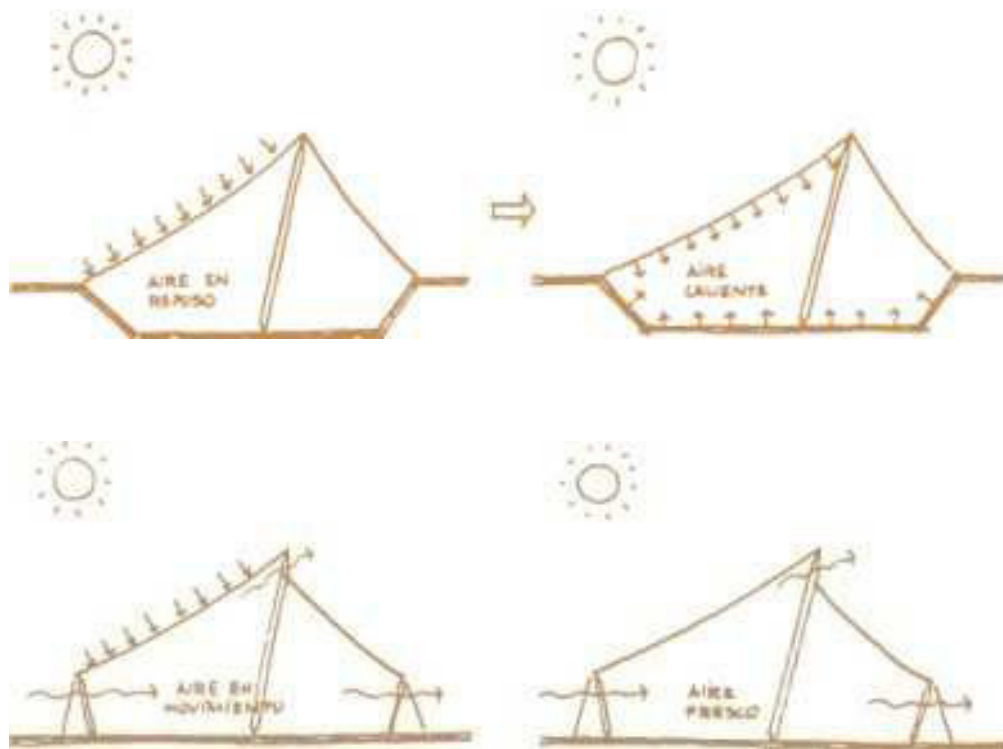


FIG. 39

¹⁴ Host Berger

¹⁵ Cociente entre el flujo de radiación visible transmitida al atravesar el material y la radiación visible incidente

Del mismo modo que no tiene capacidad alguna como aislante térmico, tampoco la tiene como aislante acústico, pero de nuevo sí puede generar un efecto de acondicionamiento ya que este tipo de material no hace que el sonido rebote y por tanto se evitan reverberaciones.

Otras propiedades a tener en cuenta para el uso de los tejidos como material de construcción son la resistencia a tracción (se explicará más adelante) y la resistencia a la propagación del rasgado, la segunda causa más frecuente en el colapso de este tipo de estructuras. Esta resistencia dependerá del material de protección y su grado de adherencia pero también de la forma y tipo de tejido.

Por último, para su uso hay que estudiar su durabilidad y resistencia al fuego, que dependerá del tipo de tejido y de protección lleve la tela¹⁶.

Las fibras usadas para la fabricación de los tejidos pueden ser: orgánicas, minerales, metálicas o sintéticas, triunfando estas últimas, ya que los demás tipos presentan limitaciones importantes; las orgánicas en cuanto a su durabilidad, las minerales por su baja estabilidad y las metálicas por los problemas frente a la oxidación y por su alto coste. Por otra parte, la protección puede realizarse con materiales sencillos y opacos como la goma o el bitumen o mediante soluciones más sofisticadas de PVC o polietileno. Actualmente se usa también politetrafluoretileno.

Como decíamos, una de las propiedades más estudiadas en este material es la resistencia a tracción puesto que en este tipo de estructuras, la estabilidad mecánica se obtiene a través de la tensión de la tela por su condición de membrana en dos direcciones cruzadas de modo que todos los puntos de la superficie de la tela estén sometidos a curvaturas de sentidos opuestos. Para entenderlo mejor, su funcionamiento se puede asimilar al de una malla tupida de cables textiles.

Por último, resulta interesante comentar que existen otras tipologías morfológicas:

- Telas apoyadas. La tela únicamente se deja caer sobre un entramado estructural sin aprovechar su capacidad tensional. Actúa únicamente como cerramiento.

- Telas colgadas por puntos. Las telas se anclan a los distintos puntos de apoyo que están situados a dos alturas. Esta tipología se puede dividir en dos dependiendo de si los apoyos son puntuales y por el interior o perimetrales situados en el exterior.

- Telas colgadas por líneas. Apoyos lineales interiores. Apoyos lineales exteriores

¹⁶La tela es la suma del tejido y la capa de protección que se le aplique a este.

Ejemplo. Terminal Haj del aeropuerto de Jeddah

"Bajo la cubierta del aeropuerto Haj en Jeddah, en pleno desierto, se consiguen temperaturas de 24°C, gracias al diseño de las "tiendas" de la cubierta que producen una continua circulación de aire."¹⁷

Este aeropuerto, emplazado en Arabia Saudí, consigue sacar partido de una de las propiedades antes comentada, la capacidad de generar ambientes sombreados. En este caso, gracias a un buen diseño, se consigue generar una ventilación constante del aire interior que permite reducir varios grados la temperatura del espacio inferior a la cubierta.

Por otro lado, la estructura es un ejemplo de cómo se ha conseguido el equilibrio a través de la tensión de las telas que ejercen de cubierta.

Se trata de un módulo rectangular de aproximadamente 43 x 43 m que se repite numerosas veces llegando a cubrir una superficie de 465.000 m², convirtiendo a este aeropuerto en el cuarto más grande del mundo.

Estos módulos, que se asemejan a las tiendas beduinas, fijan la tela en sus cuatro esquinas a los pilares, y mediante cables que recorren la superficie de estas se fija el punto superior, generando así tensiones los tres ejes que permiten que la estructura alcance el equilibrio y ofrezca una resistencia tal que sea capaz de aguantar las fuerzas de viento o lluvia las que se vea sometida.



FIG. 40



FIG. 41

¹⁷ Juan Monjo Carrio, en el artículo Arquitectura textil. Informes de la Construcción, Vol 36, nº 367, enero/febrero, 1985.

OTROS EJEMPLOS. Kéré Architecture

Para finalizar este apartado me ha parecido pertinente incluir parte de la obra de Diébédo Francis Kéré puesto que sus conceptos tienen una estrecha relación con los que se desarrollan en este trabajo.

Francis Kéré es un arquitecto procedente de la pequeña ciudad de Gando, situada en Burkina Faso y formado y titulado tanto de arquitecto como de ingeniero en Alemania.

Puede que este dato sea el motivo principal por el cual nos interesa su obra, ya que es un arquitecto que ha vivido en sus carnes la experiencia de estudiar en el ambiente de una escuela con poca ventilación y escasa luz, y que además, tras estudiar arquitectura en Europa, decidió reinvertir su conocimiento en la construcción de una nueva escuela en su pueblo natal. Es decir, podemos ver, ya traducidas en arquitectura, las soluciones que propone un arquitecto ante unos problemas que él mismo ha podido, no solo detectar, sino también sufrir. Obviamente, nuestro interés en él no puede ser mayor cuando además se trata de una problemática que se desarrolla en un contexto muy similar al que se expone en este trabajo.

Mientras se formaba como arquitecto fundó la Fundación Kéré¹⁸ para financiar la construcción de la Escuela Primaria Gando, que obtuvo el prestigioso Premio Aga Khan en 2001. Posteriormente ha ganado numerosos premios como el Premio Global de Arquitectura Sostenible, el Premio BSI Swiss Architectural, el Premio Marcus, el Premio Global Holcim Gold y el Premio de Arquitectura Schelling.

Actualmente Kéré continúa reinvertiendo su conocimiento en diferentes puntos del mundo y especialmente en su país natal, Burkina Faso, aplicando y desarrollando estrategias de construcción innovadoras que combinan materiales tradicionales y técnicas de construcción con métodos de ingeniería modernos.

¹⁸ Anteriormente esta asociación recibía el nombre de Schulbausteine für Gando, que significa Ladrillos para Gando.

Escuela Primaria en Gando

Esta es la primera obra de Francis Kéré, la cual consiguió construir gracias al apoyo de su comunidad y a los fondos recaudados a través de su fundación.

Al igual que en este trabajo, Kéré, hasta llegar al diseño de su primera escuela fue haciendo encajar multitud de parámetros que deseaba resolver con su edificio. El costo, el clima, la disponibilidad de recursos y la viabilidad de la construcción son algunos de estos parámetros que como podemos observar son muy similares a los definidos al principio de este apartado.

"El éxito del proyecto se basó tanto en abrazar como en negar estas limitaciones. Para maximizar los resultados con los recursos mínimos disponibles, se utilizó una construcción híbrida de arcilla / barro. La arcilla está disponible abundantemente en la región y se usa tradicionalmente en la construcción de viviendas. Estas técnicas tradicionales de construcción de arcilla se modificaron y modernizaron para crear una construcción estructuralmente más sólida en forma de ladrillos."¹⁹

En esta construcción se aprovechan las ventajas de los ladrillos de arcilla (baratos, fáciles de producir y con un excelente comportamiento térmico) a la vez que se soluciona su fragilidad ante la lluvia. Para ello se recurre a las típicas cubiertas de chapa metálica que se pueden encontrar en estos emplazamientos, pero dejando un espacio entre esta y el cerramiento de ladrillos. Este primer cerramiento de ladrillo tiene unas aberturas que permiten la circulación de aire mientras que la chapa mantiene sombreada la escuela, de este modo se mantiene una temperatura adecuada en el interior.

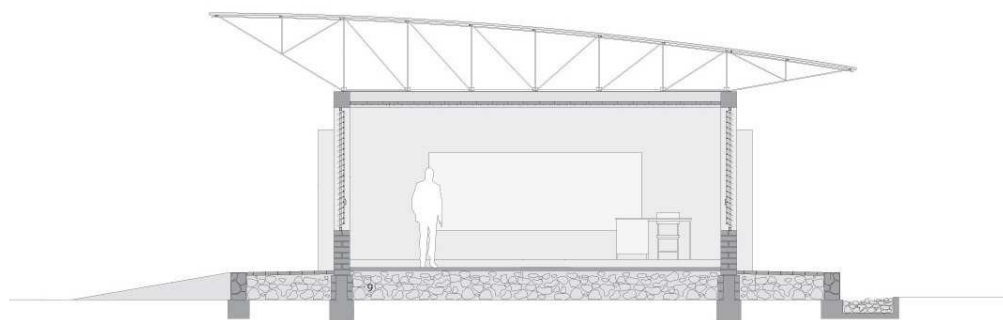


FIG. 42

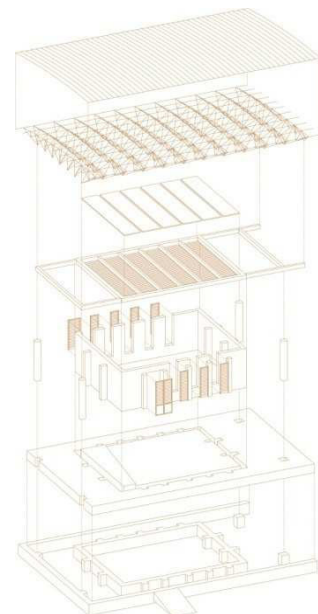


FIG. 43

FIG. 44

Otra de las inquietudes que se persiguió en este proyecto fue la de mantener la práctica cultural en la que los miembros de una comunidad de una aldea entera trabajan juntos para construir, es por esto que se intentó aunar las técnicas de construcción tradicionales con los métodos de ingeniería modernos para producir la mejor solución mientras se simplificaba la construcción y el mantenimiento para los trabajadores.

¹⁹ Explicación recogida en la página web del arquitecto. <http://www.kere-architecture.com>

Una vez concluida la obra de la escuela, no solo ha recibido el Premio Aga Khan de Arquitectura en 2004 sino que se ha convertido en un hito para la comunidad. Desde entonces, se han presentado nuevos proyectos culturales y educativos para apoyar aún más el desarrollo sostenible en la aldea.



FIG. 45

Extensión de la Escuela Primaria en Gando

Unos años más tarde de haber concluido la escuela anterior, se consiguió llevar a cabo una ampliación de la misma gracias a la mano de obra y materiales locales.

Se emplean las mismas estrategias que comentábamos en la escuela original: el uso de bloques de tierra estabilizada comprimidos de fabricación manual para la construcción de la cubierta, que además vuelve a estar perforada, y la separación entre esta y el techo de chapa para mejorar la ventilación.

De este modo, el aire caliente que va ascendiendo puede evacuarse desde la parte más alta de la estancia, lejos de la zona de uso, al tiempo que va entrando aire nuevo por las ventanas. Por otra parte, permite que la cubierta esté siempre protegida de la radiación solar directa y de la lluvia y gracias al considerable alero que se genera, también permite proteger a los muros de esta.

La cubierta de chapa va unida a la cubierta inferior mediante anclajes metálicos. Y a su vez, la cubierta de tierra se apoya en los muros a través de una viga perimetral de hormigón que permite que las cargas se distribuyan de manera uniforme a lo largo de todo el muro.

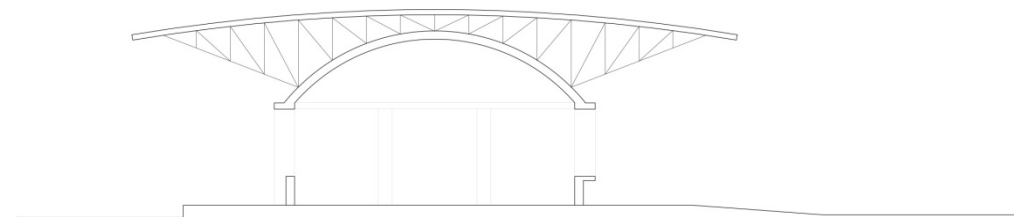


FIG. 46

En cuanto a la bóveda, no consta que sea autoportante y la presencia de los agujeros lo demuestra. Es decir, desde el punto de vista de la economía de medios, no es tan interesante como las que hemos estudiado en el capítulo 4.2 pero cuenta con otras virtudes de cara a realizar una propuesta, como son la posibilidad de hacer luces mayores y la de introducir huecos en ella.

Casas para maestros en Gando

Este conjunto de casas fue diseñado con el fin de atraer profesores al campo, así como para promover el uso de la tierra como material de construcción sostenible y duradero.

Estas seis casas para maestros y sus familias son una serie de módulos individuales adaptables que pueden combinarse de distintas formas dentro del conjunto. Están dispuestas en un amplio arco al sur del complejo escolar, que recuerda a las agrupaciones tradicionales de Burkínabé.

Una vez más, entre las características de esta obra de Kéré, destaca la simplicidad del diseño y la elección de materiales que permite que el modelo pueda ser fácilmente adoptado por los aldeanos. Los techos son bóvedas de cañón construidas con bloques de tierra estabilizados, que consiguen un excelente comportamiento climático con el simple uso de los materiales locales.



FIG. 47

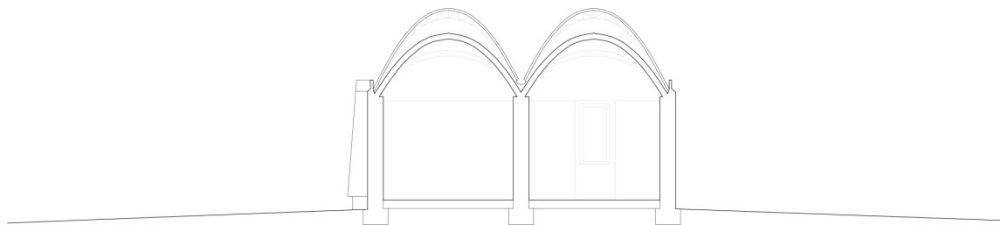


FIG. 48

En este caso, los bloques de tierra estabilizados comprimidos hacen las veces de encofrado permanente sobre el cual se vierte in situ una capa de hormigón armado. Por otro lado, se juega de nuevo con la separación en altura entre dos cubiertas, la de tierra y la de chapa, permitiendo la ventilación entre ellas.

Como hemos podido ver en este pequeño recorrido a través de sus obras, Kéré, hace uso constante de estrategias sostenibles tanto ecológica como económica y socialmente.

En otras obras, además de las estrategias ya comentadas, incluye otras como son:

- Un programa de paisajismo con el que pretende introducir árboles y vegetación, reforzando el suelo circundante contra la desertificación.
- El enfriamiento subterráneo.
- El uso de aguas grises para irrigar el paisaje circundante.

Hassan Fathy

Otro arquitecto profundamente interesante para este estudio, también por la similitud de sus inquietudes con las desarrolladas en este trabajo, es el arquitecto egipcio Hassan Fathy. Por desgracia, el limitado periodo de tiempo en el que se desarrolla este estudio no es suficiente como para poder recoger su obra, por lo que me voy a limitar a dar unas pinceladas sobre sus principales intereses.

Fathy es uno de los más reconocidos precursores de la arquitectura bioclimática en el desierto por su buen manejo de las condiciones climáticas, sistemas constructivos económicos y locales, interiores pensados para sus usuarios y muchas veces contruidos por ellos mismos, experiencia con la comunidad, (eslabón entre la arquitectura con arquitectos y la arquitectura sin arquitectos)*.

Con todo esto consigue poner en valor técnicas y materiales locales que los habitantes conocen, ya que es de la opinión de que tecnología quiebra la cultura y su herencia.

Su obra está muy arraigada a los valores de la tradición arquitectónica islámica y se desarrolla principalmente en el Nilo, el desierto del Sahara y El Cairo.

A lo largo de su obra, se pueden distinguir varias estrategias bioclimáticas recurrentes que podemos tener en cuenta. Son las siguientes²⁰:

- Uso de materiales de alta masa térmica como pueden ser la tierra o la piedra natural.
- Recurrencia a la tipología de casa patio tradicional para obtener un enfriamiento pasivo de las estancias.
- Uso de elementos arquitectónicos tradicionales, como contraventanas de madera de celosía, trampas del viento y domos y bóvedas como cubiertas.

²⁰ David Sánchez Miguel. 2017. Hassan Fathy. El futuro a través del pasado. Trabajo de fin de grado. Universidad de Valladolid.

APLICACIÓN Y CONCLUSIONES

HOJA RESUMEN DE CONDICIONES

Contexto

- Temperaturas altas
- Humedad baja
- Precipitaciones escasas pero torrenciales cuando se producen
- Viento fuerte y constante
- Sentimiento de temporalidad
- Pocos recursos económicos
- Tierra como principal materia prima

Resumen de problemas

Mala ejecución:

- Dimensionado incorrecto de los elementos constructivos
- Deficiente relación con los elementos de apoyo
- Mala ejecución en el anclaje de la cubierta a las vigas
- Desprendimiento del falso techo
- Falta de un sistema de evacuación de agua e impermeabilización
- Poca estabilidad de la cubierta.

Mala elección del sistema:

- Coste económico
- Problemas térmicos
- Inexistencia de espacios al aire libre con sombra

Estrategias

Sistema de cúpulas:

- Empleo de material local, adobe
- Mayor altura en la parte central
- Revoco de cal

Sistema de botellas de plástico:

- Forma redondeada
- Unidades de construcción impermeables, botellas
- Doble techo ventilado
- Revoco de cal

Sistema de arquitectura textil:

- Iluminación difusa
- Sombreamiento

Arquitectura Francis Kéré:

- Empleo de material local junto con otros tecnológicos
- Doble cubierta ventilada

PRIMERAS CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Tras el estudio realizado sobre los problemas de las cubiertas de las escuelas en los campamentos de refugiados saharauis, a través del ejemplo concreto de la escuela Mahfud, se advierte que hay dos tipos de problemas. En primer lugar, aquellos que son producto de una mala ejecución del sistema constructivo: la entrada de arena, el desprendimiento del falso techo, la evacuación del agua mal planteada, etc. Estos problemas podrían resolverse con relativa facilidad con una formación adecuada de los técnicos que ejecutan este tipo de obras y con una planificación de la obra adecuada. Sin embargo, se ha detectado otro tipo de problemas que no dependen tanto de una mala ejecución sino de la elección de un sistema inapropiado para las condiciones, tanto climáticas como técnicas, que se dan en este lugar.

Es por este motivo que se han estudiado diferentes sistemas constructivos para poder extraer de ellos estrategias con las cuales generar un sistema nuevo con la ambición de resolver ambos tipos de problemas, adaptándose mejor a las condiciones de partida que se encuentran en los campamentos saharauis, por un lado y resolviendo los aspectos más técnicos, por otro.

Si hacemos una comparación de las posibilidades de los diferentes sistemas respecto a los intereses definidos al inicio del apartado anterior obtenemos la siguiente tabla.

	Sist. de cúpulas	Sist. botellas de plástico	Arquitectura textil	Arquitectura Kéré
Material	✓	✓		
Iluminación	✓		✓	
Temperatura	✓	✓		✓

FIG. 49

Están ordenados según la prioridad que debería darse a cada uno de ellos. En primer lugar aparece el material, englobando en este aspecto, que el material sea local o de fácil adquisición. Este aparece como aspecto fundamental porque además de fomentar la economía local, también es una garantía de que su implantación es posible y en menor medida puede suponer una buena aceptación entre la población. Es decir, considero que es clave el material a la hora del éxito del sistema. En segundo lugar, aparece la iluminación puesto que es el punto de partida de este proyecto y de la cual tenemos constancia de que está repercutiendo negativamente en la salud visual de los niños. Luego aparece la temperatura que engloba todas las estrategias que ayuden a un descenso de esta (ya sea por las propiedades del material, por la ventilación...).

Hay que aclarar que las propuestas no consisten en la aplicación directa de los sistemas, por lo que esta tabla no significa que vayamos a prescindir de alguno de los

objetivos, pero sí nos va a ayudar a ver en qué sistema nos conviene poner el acento para conseguir la mejor solución.

El estudio más profundo se ha realizado sobre las cúpulas puesto que es el que más se ajusta para cumplir todos los objetivos que debe resolver la cubierta; sin embargo, deja de cumplir un aspecto fundamental, que es el de ir de acuerdo a los pensamientos del pueblo saharauí. Es una técnica constructiva completamente diferente a la que utilizan actualmente, por lo que podría ser difícil de implementar al no haber técnicos con ese conocimiento, por otra parte, como ya se ha comentado en otros apartados, existe cierto rechazo hacia las construcciones con tierra por lo que puede suponer una mayor dificultad predisponer a la población a aprender este nuevo sistema.

A pesar de esto se considera tal su potencial que va a ser la primera propuesta que se proponga en este estudio como solución para las cubiertas de las escuelas.

Por otra parte, se propone un segundo sistema, en el que el método constructivo es similar al usado actualmente, pero explicado de tal manera que no surjan problemas desde en el aspecto constructivo y mejorado con todo lo aprendido durante el estudio, para que se acerque lo más posible a los objetivos identificados.

PROPUESTA 1. CÚPULAS

Para el desarrollo de esta propuesta se cuenta con la experiencia de la asociación la Voute Nubienne. Esta es una ONG que esencialmente se dedica a exportar un método constructivo a ciertos países de África donde no hay disponibilidad de madera y han empezado a construir con chapa. Por lo tanto son construcciones que reúnen una serie de problemas muy similares a los detectados en el caso de estudio de este trabajo, entre los que destacan un peor comportamiento térmico y un desarraigo completo con la tradición constructiva. El sistema que esta organización plantea implementar en aquellas poblaciones donde se ha advertido el problema es la técnica de bóveda núbica, ya que como se ha comentado en el apartado 4.2, esta técnica ancestral únicamente necesita materiales locales (principalmente la tierra) para su ejecución y permite la realización de construcciones sólidas, duraderas y ofreciendo confort térmico, al mismo tiempo que se adapta a las economías locales, fortaleciéndolas.

Utilizando de base la guía que propone esta organización²¹ vamos a elaborar la propia para adaptándola a un posible escuela.

Estructura

Consiste en una bóveda núbica apoyada en muros portantes de adobe.

En la guía de la asociación antes citada, dice que la anchura máxima que podrá salvar la bóveda será de 3,25 m para no comprometer la seguridad estructural. Profundizando un poco en el estudio del comportamiento de los arcos sabemos que podemos aumentar esta distancia siempre que la resultante del empuje que ejerce la bóveda sobre el muro baje por el medio tercio de la base de este. Es decir, que la excentricidad no debe ser superior a 1/6 del espesor del muro, como se ve en la figura 50.

Para conocer las medidas del arco hallaremos la geometría de la catenaria correspondiente. El arco deberá contener la inversa de la misma.

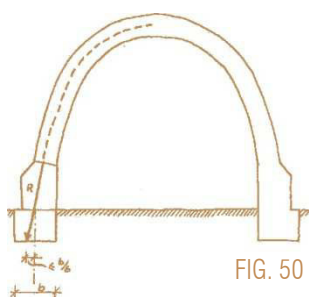
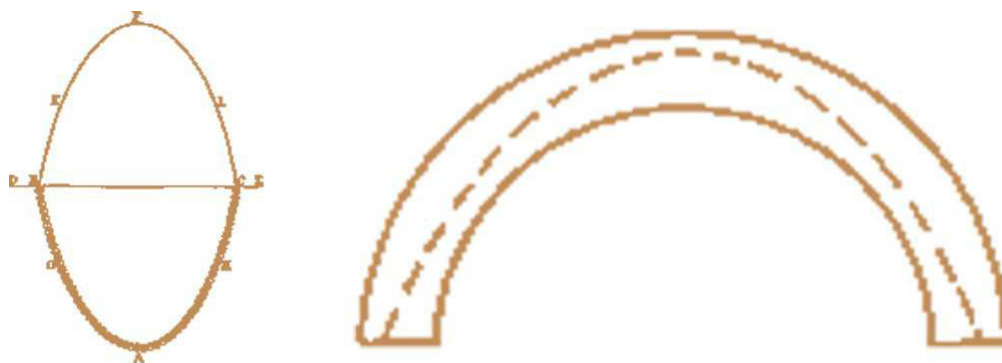


FIG. 51



²¹ Organización La Voute Nubienne (old.lavoutenubienne.org).

En esta propuesta todos los elementos estructurales están formados de bloques de tierra de diferentes dimensiones.

En primer lugar, para los muros usaremos bloques de unas dimensiones aproximadas de 40 x 20 x 18 cm.

El grosor de estos dependerá de la función estructural que acometan, los muros portantes de la bóveda estarán aparejados de modo que obtengamos un espesor de 60 cm, en los frontales podremos reducir esta dimensión a 40 cm, y en los tabiques para particiones interiores con 20 cm será suficiente.

Por otra parte, los bloques usados para la construcción de la bóveda tendrán una dimensión menor, ya que deberán ser más ligeros para que las hiladas se mantengan sin cimbra hasta que fragüe el mortero. Tendrán una dimensión aproximada de 24 x 12 x 4 cm.

El proceso en obra será el siguiente:

-En primer lugar, se ejecutará la cimentación, la cual deberá tener un mínimo de 60 cm de profundidad. Es recomendable que la cimentación sea de piedra y sobresalga unos 15 cm por encima del nivel del suelo para proteger los muros de la lluvia en caso de inundaciones.

Otra cosa a tener en cuenta a la hora de realizar la cimentación es bajar el suelo interior unos 20 cm, de este modo, se mantiene temperatura más baja gracias a la regulación que ejerce el terreno. Además, la tierra extraída podrá ser empleada para la realización de los bloques que luego se emplearan en los muros y la cubierta.

-Después se levantarán los muros, tanto los frontales como los longitudinales. Sobre estos últimos se apoyará la bóveda, y alcanzaran una altura de 1,5-2 m.

-A continuación se llevará a cabo la construcción de la bóveda. Las primeras hiladas se apoyaran sobre el muro frontal, y usando un cable tensado a los dos extremos se controlará que la altura sea constante durante toda la longitud. Para garantizar un buen comportamiento y no sobrecargar la estructura, la asociación Voute Nubienne, recomienda no superar longitudes de 12 m.

-Una vez realizada la bóveda se levantará un contrafuerte aproximadamente 1,2 m sobre los muros portantes. Por una parte, este reducirá la componente horizontal de los esfuerzos transmitidos por la bóveda y por otra, generará un cajón que poder rellenar con tierra para alcanzar un techo más o menos plano.

-Tras este relleno se coloca una lona plástica que garantizará la impermeabilización de la cubierta

-Por último se realizará un enlucido a base de mortero de cemento o cal con el fin de proteger la lamina plástica.

1. Lámina plástica
2. Mortero cemento y cal
3. Relleno de tierra
4. Relleno de bloques
5. Bóveda núbica
6. Muro portante
7. Cimentación

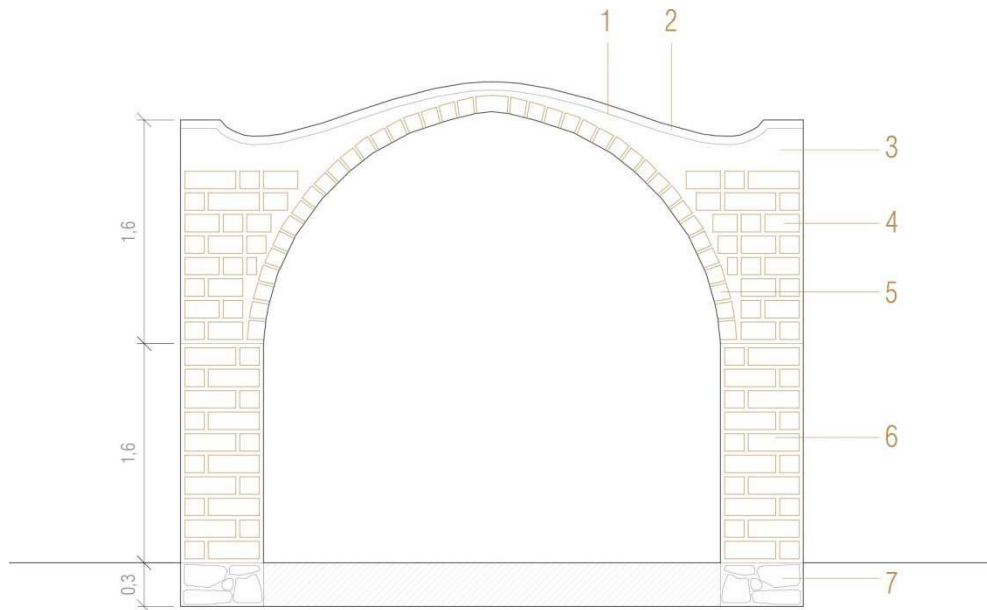


FIG. 52

Iluminación

La entrada de luz natural a este tipo de estructura puede conseguirse de varios modos. El que viene explicado por la guía de Voute Nubienne consiste en aberturas en el plano vertical (figura 53), a modo de puertas o ventanas. El dintel de estas también tendrá forma de arco y se pueden construir usando bidones como encofrado. Se aconseja que estas aberturas tengan una anchura máxima de 80 cm.

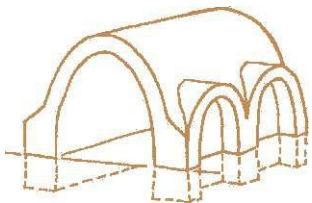


FIG. 53

Otro de los procedimientos estudiados es la posibilidad de introducir luz de manera cenital (figura 54). Para ello, el sistema de construcción de la bóveda se complica, ya que exige más conocimiento de la técnica y más planificación del proyecto.

La solución constructiva consiste en ejecutar la bóveda desde los dos extremos, cuando estos dos se unen comienza a rellenar el hueco en forma de "V" que se ha formado. Se va cogiendo altura hasta que este relleno por su propia geometría forma un óculo.



FIG. 54

Esta solución es muy atractiva desde el punto de la iluminación y desde el comportamiento térmico, ya que permitiría evacuar el aire caliente desde el punto más alto de la construcción, sin embargo, las dificultades constructivas que entraña y la complejidad para realizar el cerramiento de ese hueco nos hace plantearnos una tercera solución.

En esta última propuesta de abertura (figura 55), lo que se plantea es la opción de abrir los huecos en la parte frontal de la bóveda. Esta parte de la construcción no tiene ninguna misión estructural por lo que hay mucha libertad a la hora de introducir huecos. Además estos podrán realizarse a mayor altura que los situados en los muros portantes, lo que ofrecería una iluminación más profunda. En la arquitectura tradicional,

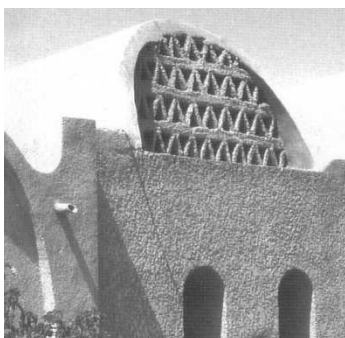


FIG. 55

este tipo de hueco es el que más se contempla, seguramente por el motivo que apuntábamos antes, su facilidad de ejecución.

El mayor inconveniente que se advierte en esta solución es que la luz, respecto a la distribución interior del aula, incidiría directamente en vez de forma lateral, lo que podría producir deslumbramientos o sombras. Este problema será menor conforme mas altura se consiga en los huecos.

Impermeabilización

Como ya se ha comentado, debajo de la última capa de enlucido se colocará una lona plástica impermeable que garantizará una estanqueidad completa a la cubierta. El enlucido por su parte protegerá la lámina de los rayos UV.

El enlucido consistirá en un mortero de cemento o cal y se aplicará sobre una capa de tierra de 5 cm. Se recomienda realizar esta última capa aproximadamente un año después de la ejecución de la bóveda, para que esta ya haya entrado en carga y se hayan producido los asentamientos que pudiesen aparecer en la construcción, de este modo, nos aseguramos de que los movimientos serán mínimos, y la capa de enlucido no va a agrietarse. Esto no quita que sea necesario un mantenimiento anual para comprobar que no ha sufrido ningún daño, especialmente si se han producido lluvias. La necesidad del mantenimiento también dependerá del tipo de techumbre que se haya decidido realizar, en esta propuesta se plantea rellenar con tierra el espacio entre el contrafuerte y la bóveda, alcanzando un techo plano, pero si se optase por no rellenar este espacio, el mantenimiento de la cubierta deberá ser más exigente, ya que es más vulnerable a los efectos de la lluvia.

Por otro lado, podemos hacer uso de aditivos para mejorar el comportamiento frente a la lluvia, como por ejemplo el alquitrán. Con este tipo de acabados podríamos incluso prescindir de la lona plástica, pero siendo siempre conscientes de que el mantenimiento deberá ser mayor, y las garantías de que no se produzcan daños en la estructura serán menores.

Para finalizar lo referente a impermeabilización, debemos tener en cuenta que en este caso, la cubierta no ofrece ningún tipo de protección a los muros, como sucede en otros casos, por lo que deberemos contar también con un enlucido a base de cal o cemento para protegerlos de las lluvias.

Comportamiento térmico

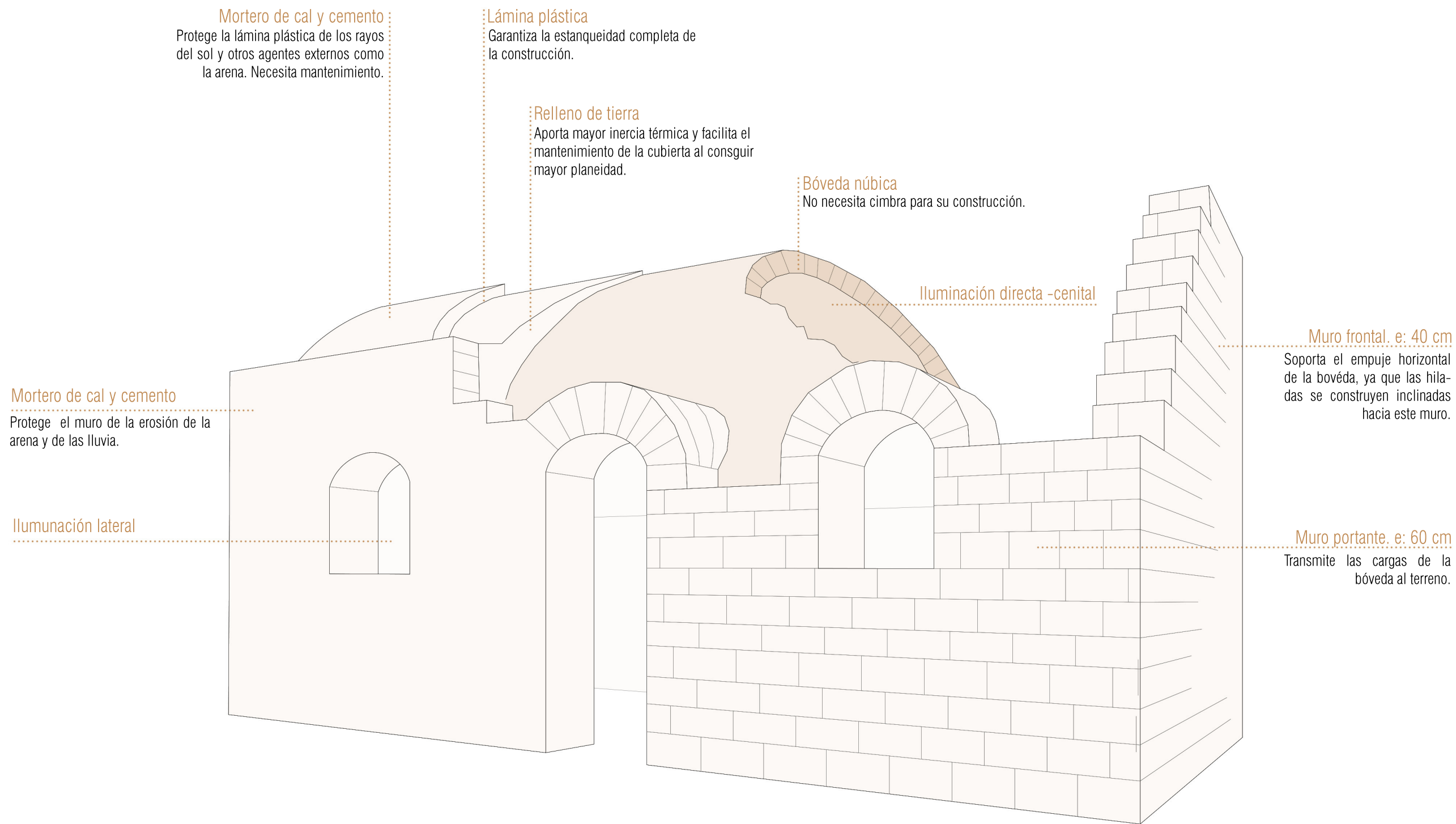
En cuanto a las medidas tomadas para mejorar el comportamiento térmico podemos hablar de tres.

En primer lugar la elección del material unida al grosor de los cerramientos. La tierra, como ya sabemos tiene una gran inercia térmica, gracias a lo cual consigue regular la temperatura del ambiente interior. Esta propiedad aumenta conforme aumenta la masa

del material empleado, y en este caso, encontramos que todos los cerramientos tienen un grosor superior a 30 cm

Contando una vez más con la acción reguladora de la tierra, elaboramos la segunda medida, que va a consistir en situar el suelo interior unos 20 cm por debajo del nivel del suelo.

La última medida consiste en aprovechar la acción eólica para reducir la temperatura. Al orientar la construcción en la dirección perpendicular al viento dominante conseguiremos que la mayor parte de la superficie de la cubierta esté en contacto continuo con corrientes de aire y por tanto la absorción de calor será menor. Por otra parte, con esta medida también conseguiríamos reducir la entrada de arena a las aulas en el caso de optar por los huecos de los muros frontales.



PROPUESTA 2. CUBIERTA INCLINADA

Con esta segunda propuesta se pretende mejorar el sistema constructivo mediante cambios fácilmente asimilables por los constructores locales. Al contrario que en la propuesta anterior, en esta, la prioridad es conseguir un sistema estructural que responda a las mismas lógicas que el actual, con los materiales que son utilizados, aunque no sean los más adecuados, e introduciendo las mejoras necesarias para mejorar su comportamiento estructural y frente a los agentes externos. En definitiva, se trata de elaborar una propuesta que solucione los problemas detectados en las escuelas actuales.

Estructura

La estructura de la cubierta propuesta en este apartado consiste en vigas metálicas apoyadas sobre un cargadero de hormigón, que a su vez va apoyado en el muro de bloques de adobe. Sobre las vigas se realiza la cubierta con una especie de forjado colaborante de chapa metálica y tierra.

La introducción de la capa de tierra cambia el sistema de cargas estudiado en el apartado 3.2. Puesto que uno de los problemas detectados era el mal dimensionado de los elementos estructurales, en primer lugar, vamos a hacer un análisis de las nuevas cargas para hacer un predimensionamiento que resuelva el problema y optimice la estructura.

Vamos a estudiar cuanto aumentarían las cargas poniendo una capa de tierra de 14 cm de espesor por toda la superficie de la cubierta. Si aproximamos la densidad de la tierra a un valor de 1700 Kg/m³, con 14 cm de espesor, tendríamos una carga uniformemente distribuida de 2,39 KN/m².

En este caso, la presión del viento es depreciable ya que su valor disminuye al no ser una cubierta a dos aguas, por lo que la chapa tan solo debería soportar el peso de la tierra. Consultando de nuevo la tabla de la figura 21 concluimos que para que la capacidad estructural de la chapa esté optimizada, las vigas deben estar situadas a 3,5 m de distancia.

Al contrario que con sucede la presión del viento, con el nuevo tipo de sección, la succión ejercida por el viento aumenta hasta alcanzar fuerzas de 2,5 KN/m².

$$q_e = q_b \times c_e \times c_p = 0,5 \times 2 \times -2,5 = -2,5 \text{ KN/m}^2$$

Pendiente de la cubierta α	A (m ²)	Zona (según figura), $135^\circ \leq \theta \leq 225^\circ$		
		F	G	H
5°	≥ 10	-2,3	-1,3	-0,8
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2
15°	≥ 10	-2,5	-1,3	-0,9
	≤ 1	-2,8	-2,0	-1,2

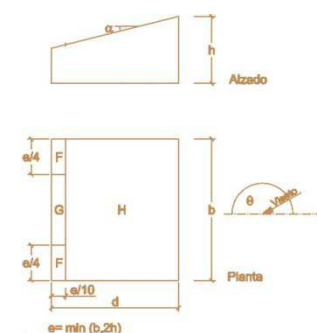


FIG. 56

Sin embargo, en este caso, al contar con el peso de la tierra y el de la propia chapa metálica ($0,09 \text{ KN/m}^2$) obtenemos un peso propio total de $2,5 \text{ KN/m}^2$ por lo que con un anclaje sencillo a la viga no corremos el riesgo que existe actualmente de desprendimiento de la cubierta por succión del viento.

Por otra parte, considerando esta nueva situación hay que volver a realizar los cálculos pertinentes para conocer las cargas que actúan sobre las vigas y así poder dimensionarlas, del mismo modo que necesitaremos saber cuál es la carga que se transmite al muro.

$$\text{Peso de la chapa} = 9 \text{ Kg/m}^2 = 0,09 \text{ KN/m}^2 \rightarrow 0,09 \times 3,5 = 0,32 \text{ KN/m}$$

$$\text{Peso de la tierra} = 2,39 \text{ KN/m}^2 \rightarrow 2,39 \times 3,5 = 8,37 \text{ KN/m}$$

$$\text{Carga total} = 0,32 + 8,37 = 8,69 \text{ KN/m}$$

En este caso, las cargas por unidad de longitud aumentan considerablemente ($8,69 \text{ KN/m} > 0,38 \text{ KN/m}$), y si consultamos la tabla que hemos usado en el apartado 3.2 observamos que debemos recurrir a secciones mucho más grandes, o a otro tipo de material o solución si queremos obtener luces de más de 5 m, como es el caso. Estamos buscando luces de 6,5 m para poder salvar un ancho razonable para un aula.

Tenemos la opción de recurrir al uso de vigas metálicas, que sabemos que también pueden obtener en la ciudad de Tindouf. Aunque el metal no es el material más sostenible para el lugar de estudio, nos permite realizar la estructura propuesta con relativa facilidad, ya que, al ser luces pequeñas, podemos usar perfiles pequeños.

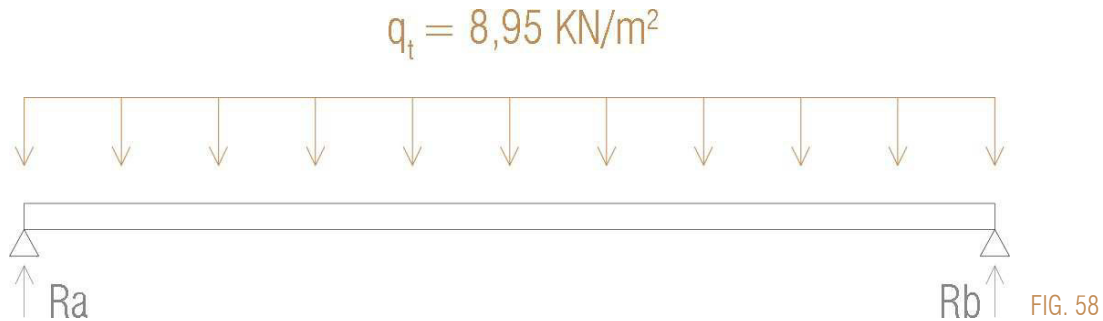
Como podemos ver en la siguiente tabla, podemos resolver la estructura con un IPE 200. En ella se especifica la carga lineal máxima admitida por la viga expresada en t/m por lo que en este caso dependiendo de luz. En este caso tenemos un valor de $8,69 \text{ KN/m} = 0,87 \text{ t/m}$.

IPN	Luz en metros										
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	11,0	12,0
80	0,11	0,10	0,08	0,072	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
100	0,20	0,17	0,15	0,126	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
120	0,32	0,27	0,23	0,202	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08
140	0,47	0,40	0,35	0,303	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,14	0,12
160	0,68	0,58	0,50	0,433	0,38	0,34	0,30	0,27	0,24	0,20	0,17
180	0,93	0,79	0,68	0,595	0,52	0,46	0,41	0,37	0,33	0,28	0,23
200	1,24	1,05	0,91	0,791	0,70	0,62	0,55	0,49	0,45	0,37	0,31
220	1,61	1,37	1,18	1,028	0,90	0,80	0,71	0,64	0,58	0,48	0,40
240	2,05	1,74	1,50	1,309	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	0,61	0,51
260	2,55	2,18	1,88	1,634	1,44	1,27	1,14	1,02	0,92	0,76	0,64
280	3,13	2,67	2,30	2,004	1,76	1,56	1,39	1,25	1,13	0,93	0,78
300	3,77	3,21	2,77	2,415	2,12	1,88	1,68	1,50	1,36	1,12	0,94

FIG. 57

Respecto a la carga transmitida al muro, únicamente tenemos que sumar el peso de chapa, el de la tierra y el de la propia viga metálica. Obtenemos un valor de 8,95 KN/m.

$$P.\text{chapa } (0,32 \text{ KN/m}) + P.\text{ tierra } (8,37 \text{ KN/m}) + P.\text{ viga } (0,26^{22} \text{ KN/m}) = 8,95 \text{ KN/m.}$$



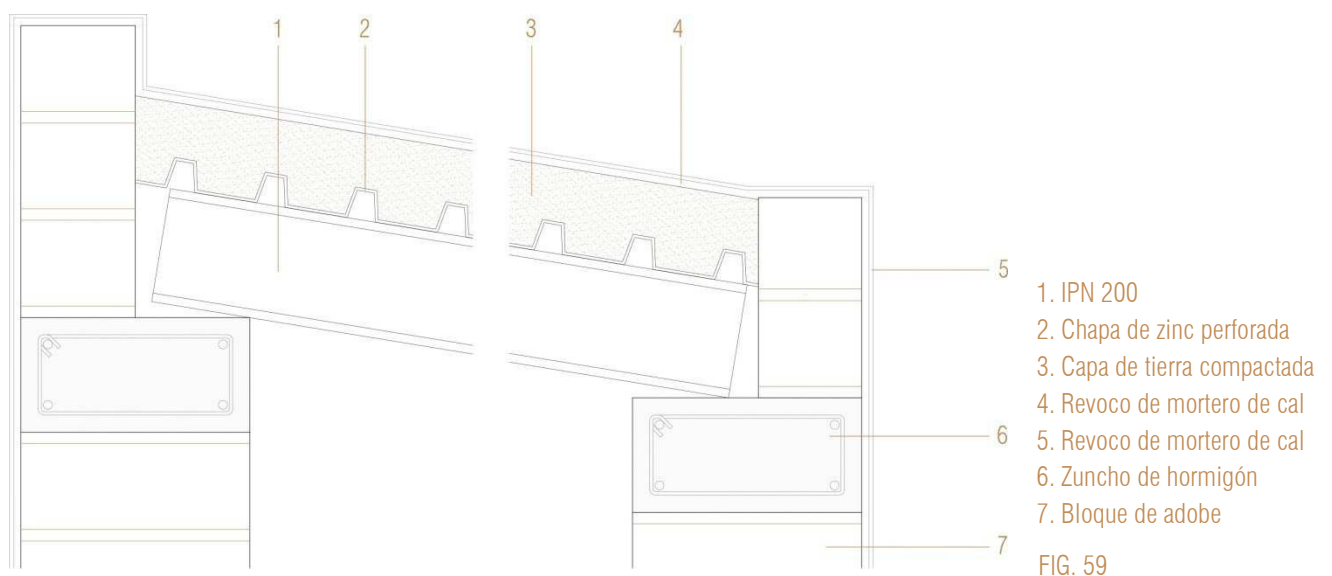
$$R_a = R_b = q_t \times 1/2 \times L = 8,95 \times 1/2 \times 6,5 = \mathbf{29,09 \text{ KN}}$$

Vemos que la carga puntual transmitida al muro es muy superior a la carga máxima admisible por este, ya que con una superficie de apoyo de 0,2 m x 0,2 m, la carga admitida sería de 8 KN.

$$200 \text{ KN/m}^2 \times 0,2 \times 0,2 = 8 \text{ KN}$$

Este dato nos revela la necesidad de realizar un cargadero, de modo que las vigas transmitan su carga al muro a lo largo de un área mucho mayor.

Tras estudiar diferentes posibilidades de realizar el cargadero, finalmente optamos por la que suponemos más sencilla y al mismo tiempo más resistente: un zuncho de hormigón con el mismo ancho del muro y a lo largo de toda su longitud.



²² Dato obtenido del prontuario proporcionado por la siguiente pagina web:
www.ugr.es/~grus/docencia/aei/download/tabla_perfiles.pdf

Iluminación

Empleando el sistema estructural planteado en el apartado anterior, se propone una sección a dos aguas pero a diferentes alturas. En el desfase entre las dos se abrirán los huecos por los que se podría conseguir una iluminación adecuada para la escuela. Por la orientación que tomaría la escuela, los huecos se abrirían a norte y al estar en la parte superior conseguiríamos a una iluminación más difusa y más adecuada para las aulas. Las aberturas podrían taparse con tela en vez de con vidrio, ya que es más barato, mas fácil de reparar, deja pasar la luz y el aire pero no la arena.

Con esta medida se resolvería la iluminación de la parte sur de la escuela, de modo que podrían evitarse las aberturas en la fachada sur impidiendo la entrada de radiación directa.

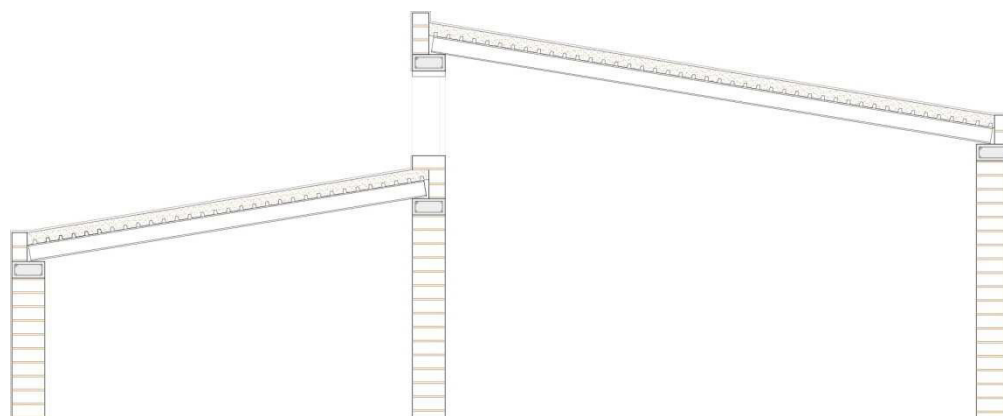


FIG. 60

Impermeabilización

Otro tema importante a resolver es la impermeabilización de la cubierta. Para ello, contamos con todo lo estudiado en el apartado 4.2 por lo que una solución viable sería realizar un revoco de cal, pero siempre teniendo en cuenta que necesitará mantenimiento.

En este caso, se opta por el revoco de cal para proteger la capa de tierra pero introduciendo una segunda estrategia de impermeabilización que comentaremos más adelante.

Hay que poner especial cuidado en el trabajo conjunto de la tierra y la chapa metálica ya que su comportamiento es muy diferente. La tierra es un material capaz de absorber y desorber humedad, necesita respirar. Ya se ha expuesto en el apartado 4.2 que para hacer un buen revoco es necesario hacer una gradación entre la tierra y la capa mas exterior. En este caso, sería un error poner la tierra sobre las chapas que usan actualmente puesto que se podrían producir condensaciones. Es por esto que se plantea que la chapa sea perforada, de este modo en caso de lluvia, si se produjesen

infiltraciones por la capa de cal, la tierra sería capaz de absorberla y no se quedaría estancada ya que podría ir evaporándose por el interior.

Por otra parte, al verter la tierra sobre una superficie tan grande como es la cubierta las retracciones que puede sufrir durante el secado pueden ser excesivas. Por ello, lo adecuado sería incluir en la mezcla alguna fibra capaz de aminorar este efecto. Es muy común usar paja pero hay estudios que demuestran que el pelo de camello²³ también sirve para este fin.

Como decíamos antes, al igual que las obras estudiadas del arquitecto Francis Kéré, se bajara una segunda cubierta que proteja la construcción de las lluvias intensas a la par que generar un sombreado que mejore el comportamiento térmico del edificio.

Una de las posibilidades estudiadas para la segunda capa es realizarla usando de nuevo chapa metálica apoyada sobre tubulares metálicos anclados a la chapa inferior.

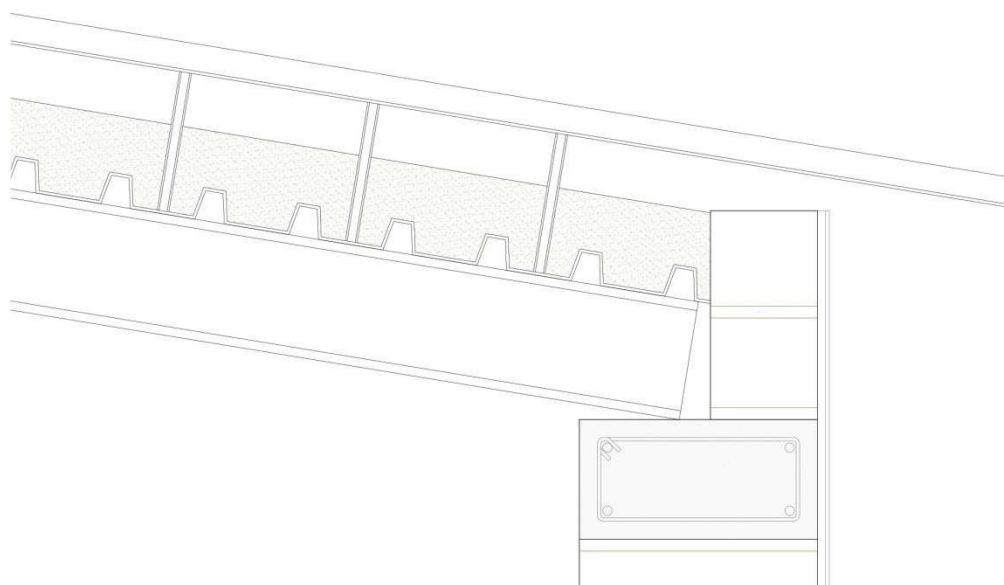


FIG. 61

A pesar de que una de las prioridades para elaborar la propuesta era la elección de materiales locales por una cuestión de sostenibilidad (económica, ecológica y social), este es un material ya conocido y muy recurrente en las obras de los constructores locales, por lo que contaremos con un conocimiento mayor sobre él que nos facilitará la introducción de este sistema.

Otra posibilidad contemplada para la doble cubierta es el uso de telas o lonas. Este material puede tener gran recorrido en los campamentos ya que está bastante arraigado en la cultura saharai y se pueden extraer técnicas de la construcción de jaimas.

²³ Gernot-Minke, *Manual de construcción en tierra* (Montevideo, 2005). p.48

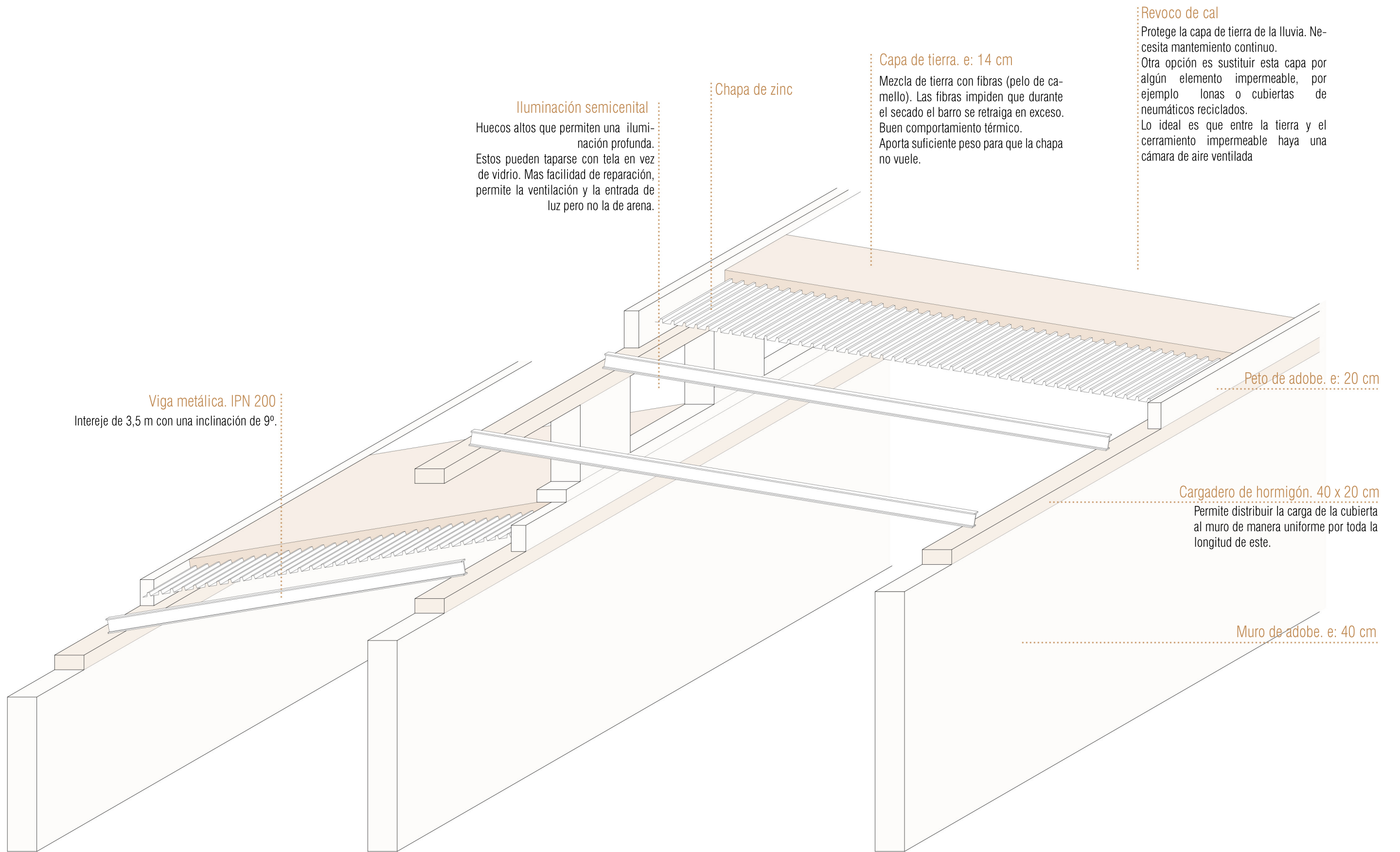
Comportamiento térmico

En esta segunda propuesta las mejoras del comportamiento térmico tienen que ver con la introducción de la tierra en la cubierta como material aislante y el diseño de la misma para que tenga una buena ventilación.

Con la capa de 14 cm de tierra compactada se consigue acumular una gran masa que será capaz de regular la temperatura interior gracias a la inercia térmica que posee. Por otra parte, al plantear una doble cubierta, se consiguen otros dos efectos que reducirán la temperatura: la ventilación que hay entre las dos capas, y el sombreado de la cubierta de tierra.

Al dejar una cámara de aire ventilada entre las dos capas de la cubierta, y contando con que la región de estudio tiene una acción eólica constante, permitimos que la cubierta de tierra, que, al fin y al cabo es la que forma parte de la envolvente térmica, esté en contacto continuo con corrientes de aire que impedirán, en parte, que se acumule el calor en ella. Y en segundo lugar, esta segunda capa, crea un sombreado sobre la inferior que la protege de la radiación solar directa.

Por último, cabe mencionar que la estrategia de iluminación también puede suponer una mejora del comportamiento térmico del edificio, ya que la sección propuesta va a permitir la evacuación del aire caliente desde el punto más elevado, al mismo tiempo que evita las aberturas en la fachada sur.



Iluminación semicentral

Huecos altos que permiten una iluminación profunda. Estos pueden taparse con tela en vez de vidrio. Mas facilidad de reparación, permite la ventilación y la entrada de luz pero no la de arena.

Chapa de zinc

Capa de tierra. e: 14 cm

Mezcla de tierra con fibras (pelo de camello). Las fibras impiden que durante el secado el barro se retraiga en exceso. Buen comportamiento térmico. Aporta suficiente peso para que la chapa no vuele.

Revoco de cal

Protege la capa de tierra de la lluvia. Necesita mantemiento continuo. Otra opción es sustituir esta capa por algún elemento impermeable, por ejemplo lonas o cubiertas de neumáticos reciclados. Lo ideal es que entre la tierra y el cerramiento impermeable haya una cámara de aire ventilada

Viga metálica. IPN 200
Intereje de 3,5 m con una inclinación de 9°.

Peto de adobe. e: 20 cm

Cargadero de hormigón. 40 x 20 cm

Permite distribuir la carga de la cubierta al muro de manera uniforme por toda la longitud de este.

Muro de adobe. e: 40 cm

CONCLUSIONES FINALES Y LÍNEAS FUTURAS

La primera conclusión del estudio es la constatación una de las primeras tesis que se enuncian en el mismo: que la arquitectura es un reflejo de su contexto. Después de enfrentarme, desde la técnica y el detalle, a las lógicas constructivas existentes, que, a priori, parecían erróneas, he podido comprobar que están más justificadas de lo que mis prejuicios me hacían pensar. Hasta que no me he visto en la situación de proponer, no he sido realmente consciente de las limitaciones que impone el contexto en el que se desarrolla la arquitectura.

Y de aquí se extrae la segunda conclusión del trabajo: la importancia de conocer todos los aspectos que van a condicionar nuestra obra, ya sean por limitaciones materiales, por cuestiones climáticas o sociales. Es imprescindible en cualquier caso, pero más aun si actuamos en contextos de cooperación al desarrollo y sostenibilidad, hacer un estudio exhaustivo de todos los aspectos que he comentado.

Hay que tener presente que en este tipo de obras, en las cuales el objetivo es tratar de implementar un sistema en un lugar determinado, no resolver un problema concreto, el aspecto contextual debe predominar sobre cualquier otra pretensión. Es extremadamente complicado llevar hasta el final está máxima pero será la que permita que finalmente el objetivo se logre.

Al final, nos damos cuenta de que el problema se reduce a la pura construcción. Solo al finalizar el trabajo me doy cuenta de que quizá los sistemas constructivos estudiados en el apartado 4, aunque han sido necesarios para abrir la mente, explorar distintos campos y quitarme las lógicas constructivas a las que estoy acostumbrada, tienen menos importancia que la comprensión real del porqué se construye de una determinada manera.

La elaboración de la segunda propuesta ha sido un proceso de replantear las soluciones más básicas para poder ejecutarlas sin los medios a los que estamos acostumbrados.

Es por esto que llego a la siguiente conclusión: en el Sahara (al igual que creo que sucede en otros lugares con condiciones extremas) se desarrolla una arquitectura que no tiene sentido ser juzgada por su belleza en primera instancia, casi ni si quiera por su funcionalidad. En este caso, lo primordial es que sea posible con los medios disponibles, que encaje con la mentalidad donde se va a desarrollar, que solucione los problemas de habitabilidad y que sea capaz de hacer frente al clima. Tiene tal poder el contexto, que la belleza es simplemente inevitable cuando todo lo demás encaja.

La ultima conclusión es más bien una autocrítica. Creo que el objetivo de llegar a proponer un sistema que realmente cumpliera todas las cuestiones que comento a lo largo del trabajo era demasiado ambicioso, siendo que se partía de cero en cuanto al conocimiento del contexto.

Por eso creo que este trabajo puede servir de punto de partida para una investigación posterior.

Una base que completar con un conocimiento más profundo sobre algunos aspectos como: las propiedades impermeabilizantes de algunos aditivos para el adobe; los materiales locales o reciclados que pudiesen evitar el uso de la chapa y las vigas metálicas; y las posibilidades de la arquitectura textil en este contexto.

Todo ello considero que ayudaría a poder desarrollar un sistema constructivo que reuniese las dos virtudes que tiene cada una de las propuestas desarrolladas por separado: el uso de materiales locales en la primera, y una lógica estructural similar a la existente en la segunda.

INDICE DE FIGURAS

- FIG. 01_ Plano de situación. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 02_ Tabla de temperatura y humedad. Fuente: Estación meteorológica de Tindouf.
- FIG. 03_ Tabla de precipitaciones. Fuente: Estación meteorológica de Tindouf.
- FIG. 04_ Tabla de velocidad del viento. Fuente: Estación meteorológica de Tindouf.
- FIG. 05_ Mapa de intensidad sísmica. Fuente: www.qz.com
- FIG. 06_ Azimuth de Tinduf. Fuente: Web Sun Earth Tools.
- FIG. 07_ Carta solar de Tinduf. Fuente: Web Sun Earth Tools.
- FIG. 08_ Situación y emplazamiento de Mahfud Ali Beiba. Fuente: Google maps.
- FIG. 09_ Planta de Mahfud Ali Beiba. Fuente: Elaborado por Berta García.
- FIG. 10_ Alzado 1. Fuente: Elaborado por Berta García.
- FIG. 11_ Alzado 2. Fuente: Elaborado por Berta García.
- FIG. 12_ Alzado 3. Fuente: Elaborado por Berta García.
- FIG. 13_ Volumetría exterior. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 14_ Diagramas explicativos de la dirección de las vigas. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 15_ Volumetría cubierta. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 16_ Planta de forjado. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 17_ Detalle constructivo actual 1. Fuente: Elaborado por Berta García.
- FIG. 18_ 3D del sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 19_ Tabla de coeficiente eólico. Fuente: DB-S-Acciones sobre la edificación.
- FIG. 20_ Tabla de luces permitidas en vigas de madera según la carga por metro.
Fuente: Maderas hermanos Guillen e hijos.
- FIG. 21_ Tabla de luces permitidas en chapa grecada según carga por unidad de superficie. Fuente: Catálogo Metecno, chapa grecada Hi-Bond.
- FIG. 22_ Detalle constructivo actual 2. Encuentro viga-muro. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 23_ Diagrama de fuerzas 1. Fuente: Elaboración propia
- FIG. 24_ Diagrama de fuerzas 2. Fuente: Elaboración propia
- FIG. 25_ Foto de detalle del falso techo. Fuente: Berta García
- FIG. 26_ Foto de detalle empalme de viga. Fuente: Berta García

- FIG. 27_ Foto de detalle empalme de viga 2. Fuente: Berta García
- FIG. 29_ Bóveda núbica. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 30_ Esquemas de muros portantes. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 31_ Cúpula afgana. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 32_ Esquema cúpulas núbicas. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 33_ Cúpula estructuralmente optimizada. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 34_ Sala polivalente de la escuela Deepanam de Auroville. Fuente: Auroville Earth Institute
- FIG. 35_ Ciclo de la cal. Fuente: Unicmall
- FIG. 36_ Centro de investigaciones del desierto. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 37_ Casa construida por Tateh Lehib. Fuente:
- FIG. 38_ Cubierta construida por Tateh Lehib. Fuente: Tateh Lehib.
- FIG. 39_ Diagramas de funcionamiento térmico de estructuras textiles. Fuente: Juan Monjo Garrió. La arquitectura textil.
- FIG. 40_ Foto aeropuestro Jeddah 1. Fuente: SOM.
- FIG. 41_ Foto aeropuestro Jeddah 2. Fuente: SOM.
- FIG. 42_ Escuela primaria en Gando. Fuente: Web Kére Architecture (www.kere-architecture.com).
- FIG. 43_ Desglose de los elementos constructivos de la escuelas Gando. Fuente: Web Kére Architecture (www.kere-architecture.com).
- FIG. 44_ Sección de la escuela primaria en Gando. Fuente: Web Kére Architecture (www.kere-architecture.com).
- FIG. 45_ Extensión de la escuela primaria en Gando. Fuente: Web Kére Architecture (www.kere-architecture.com).
- FIG. 46_ Sección de la extensión de la escuela primaria en Gando. Fuente: Elaboración propia.

- FIG. 47_ Casas para maestros. Fuente: Web Kéré Architecture (www.kere-architecture.com).
- FIG. 48_ Sección casas para maestros. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 49_ Tabla de prioridades de los sistemas. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 50_ Esquema transmisión de carga de bóveda a muro. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 51_ Esquema de geometría de un arco a partir de la catenaria. Fuente: Santiago Huerta. Arcos bóvedas y cúpulas.
- FIG. 52_ Sección constructiva de una bóveda núbica. Fuente: La Voute Nubienne (old.lavoutenubienne.org).
- FIG. 53_ Diagrama de iluminación lateral. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 54_ Foto de iluminación cenital. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 55_ Foto de iluminación frontal. Fuente: Gernot-Minke. Manual de construcción en tierra.
- FIG. 56_ Tabla de coeficiente eólico. Fuente: DB-S-Acciones sobre la edificación.
- FIG. 57_ Tabla de cargas admitidas para perfiles metálicos IPN según la luz. Fuente:
- FIG. 58_ Diagrama de cargas. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 59_ Detalle constructivo propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 60_ Sección constructiva propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.
- FIG. 61_ Detalle constructivo 2 propuesta 2. Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFIA

Manuel Julivert, *Sahara. Tierras pueblos y culturas* (Universitat de València, 2003)

Gernot-Minke, *Manual de construcción en tierra* (Montevideo, 2005)

Santiago Huerta, *Arcos bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica* (Instituto Juan de Herrea, 2004)

Johan van Lengen, *Cantos del arquitecto descalzo* (PAX MEXICO, 2011)

Jové, F. y Sáinz, J.L., *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro* (Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva, 2012)

Jové, F. y Sáinz, J.L., *Construcción con tierra. Investigación y documentación*. (Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva, 2014)

Jové, F. y Sáinz, J.L. *Construcción con tierra. Patrimonio y vivienda*. (Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva, 2014)

José Coscollano Rodríguez, *La cubierta del edificio* (Ediciones Paraninfo, 2005)

Guillermo Yáñez Parareda, *Energía solar, edificación y clima. Elementos para una arquitectura solar* (Madrid : Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1982)

Juan Monjo Garrió. La Arquitectura textil. E.T.S de Arquitectura de Valladolid
Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 5-20, Construcción con tierra en el siglo XXI. S. Bestraten , E. Hormias , A. Altemir

Los campamentos de refugiados saharauis en Tindouf. Una aproximación desde la economía.
Revista de Economía Mundial 29, 2011, 285-315.

Ricardo Sánchez Rodríguez y Francisco Javier Soria López. Innovación tecnológica y saber tradicional: BTC y adobe, desarrollos paralelos en la cultura constructiva. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra.

Dulce María Guillén Valenzuela. ¿Y la transferencia de las buenas prácticas de construcción con tierra. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra.

Tateh Lehib Barika. 2015. Propuesta de Medidas de Mejora de la Eficiencia Energética y del Bienestar Térmico de los Edificios de Viviendas en los Campamentos de

Refugiados Saharais en Tinduf. Trabajo Final de Máster. Universidad de las palmas de Gran Canaria.

David Sánchez Miguel. 2017. Hassan Fathy. El futuro a través del pasado. Trabajo de fin de grados. Universidad de Valladolid.

Eva Docampo y Jorge Molinero. Los abastecimientos en los campamentos de refugiados saharais de Tindouf.. Trabajo de fin de Máster. Universidad de Santiago de Compostela.

Comité Español de Iluminación. Guía técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, 2005.

Alfonso Ramirez Ponce. Curvas de suspiro y barro. Una técnica milenaria y moderna. CYTED Ciencia y tecnología para el desarrollo. Transferencia tecnológica para el habitat popular. www.dtic.upf.edu/~rramirez/Arponce/CYTED.pdf

http://www.earth-auroville.com/avd_construction_en.php

<https://qz.com/392582/this-map-shows-where-the-strongest-earthquakes-are-expected-to-strike/>

<http://freemeteo.es/eltiempo/tindouf/tiempo-actual/ubicacion/?gid=2476301&language=spanish&country=algeria>

<http://old.lavoutenubienne.org/-La-solucion-tecnica-VN->

<http://www.kere-architecture.com/>