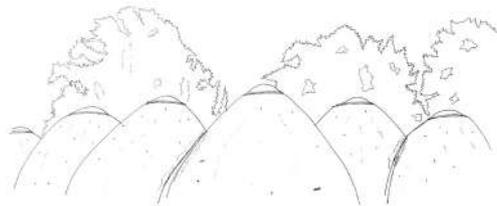


TRABAJO FIN DE GRADO

CONSTRUCCIÓN EN COOPERACIÓN AL DESARROLLO
CONSTRUCCIÓN CON TIERRA ENSACADA



Grado en fundamentos de la arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Leticia Herbosa Gutiérrez
Tutor: Félix Jové Sandoval

Julio 2019



TRABAJO DE FIN DE GRADO
Grado en fundamentos de la arquitectura
Universidad de Valladolid
Julio de 2019

CONSTRUCCIÓN EN COOPERACIÓN AL DESARROLLO CONSTRUCCIÓN CON TIERRA ENSACADA

Leticia Herbosa Gutiérrez

Tutor: Félix Jové Sandoval

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo el análisis y el estudio de las construcciones con tierra ensacada para ver su posible aplicación en el ámbito de la cooperación al desarrollo para construir asentamientos humanos de carácter permanente en países que se encuentran en vías de desarrollo o en zonas que han sufrido las consecuencias de desastres naturales y que precisan soluciones de emergencia.

El trabajo pasará por comprender en qué consiste la cooperación al desarrollo y cómo los arquitectos pueden aportar sus conocimientos a este campo. Se analizará el estado actual del cambio climático y si es posible revertir la situación utilizando la tierra como material de construcción pasando a centrar el foco de atención en el estudio de la tierra ensacada, analizándola desde su origen y evolución, describiendo detalladamente su proceso constructivo, finalizando con el estudio del Restaurante "Las Cúpulas" en San Cebrián de Campos .

PALABRAS CLAVE

Cooperación al desarrollo

Sostenibilidad

Arquitectura

Tierra

Tierra ensacada

Abstract

This paper aims to analyze and study the constructions with earth for its possible application in the field of the cooperation for development to build human settlements of permanent character in the countries that are in the ways of development or in zones that have suffered the consequences of natural disasters and that precise emergency solutions.

The work involves understanding the cooperation for development and how architects can contribute with their knowledge in this field. The current state of climate change will be analyzed and, if it's possible reverse the situation using earth as the construction material. Turning to focus the study on the earthbag, analysing this technic from its origin and evolution, describing in detail its construction process, ending with the study of the restaurant "Las Cúpulas" in San Cebrián de Campos.

KEY WORDS

Cooperation for development

Sustainability

Architecture

Earth

Earthbag

Índice

Notas previas	13
1. Cooperación para el desarrollo	16
1.1. El arquitecto como un actor más de la cooperación al desarrollo	18
2. Construcción y cambio climático	22
2.1. Arquitectura tradicional y sostenibilidad	24
3. La tierra como material de construcción	28
3.1. Construcciones con tierra en países en vías de desarrollo	29
3.2. Principales técnicas de construcción con tierra.	31
4. Construcción con tierra ensacada	32
4.1. Origen y evolución	32
4.1.1. Sacos terreros	33
4.1.2. Diques de contención con sacos de tierra	33
4.1.3. Muros de sacos rellenos de tierra.	33
4.1.4. Nader Khalili y el Superadobe.	35
4.2. Materiales necesarios.	40
4.2.3. Alambre de púas	44
4.2.4. Elementos auxiliares	44
4.2.5. Herramientas necesarias	45
4.3. Desarrollo constructivo	46
4.3.1. Cimentación	46
4.3.2. Levantamiento del edificio	47
4.3.3. Carpinterías	48
4.3.4. Cubiertas	49
4.3.5. Instalaciones	50

4.3.6. Revestimientos	51
4.4. Funcionamiento y comportamiento estructural	56
4.4.1. Arcos y cúpulas	56
4.4.2. Comportamiento global	58
4.5. Acondicionamiento climático	59
4.5.1. Evitar la entrada de calor exterior	59
4.5.2. Mantener el calor en el interior	60
4.5.3. Evitar la entrada de agua	61
5. Construcciones con tierra ensacada en el ámbito de la cooperación al desarrollo	62
5.1. Viviendas en Masoro	62
5.2. Vivienda Maasai	63
5.3. Colegio para refugiados	64
5.4. Colegio para niños huérfanos	65
5.5. Centro educativo para jóvenes	67
5.6. Proyecto de reconstrucción de Lombok	68
6. Experiencia en Tierra de Campos	70
6.1. Restaurante “Las Cúpulas”	72
6.2. Proceso constructivo	75
Conclusiones	82
Anexo con documentación gráfica del proyecto	86
Bibliografía	94

Notas previas

En este año 2019 el cambio climático continúa siendo una de las principales preocupaciones para muchos ciudadanos a nivel global. Sus efectos son más que evidentes aunque parece que la sociedad va tomando conciencia social y aumenta la preocupación acerca del medio ambiente y sobre cómo evolucionará la situación en el futuro. En los medios de comunicación se ha producido un aumento de campañas publicitarias que buscan concienciar sobre la importancia de proteger el medio ambiente. Estamos siendo bombardeados con noticias y reportajes con mayor frecuencia sobre qué podemos hacer cada uno de nosotros para evitar que la situación empeore. Sin ir más lejos, la palabra del año 2018 para la Fundéu BBVA fue “microplástico”, este hecho indica el grado de importancia que ha tomado este problema no solo ambiental en nuestras vidas.

En el ámbito de la arquitectura también ha aumentado la preocupación por el medio ambiente. El aumento de la explotación de los recursos naturales hace necesario revisar las técnicas de construcción actuales. De ahí la tendencia cada vez mayor de buscar nuevas formas de construir que respeten al máximo el medio ambiente. Cada vez son más frecuentes los términos que aúnan los conceptos de construcción, arquitectura y medio ambiente como por ejemplo “bioconstrucción”, “passivhouse”, “permacultura”, “bioarquitectura”,... en esa búsqueda de minimizar el consumo de recursos buscando la mayor sostenibilidad.

Es natural que en esta búsqueda de construcciones más sostenibles se realice una revisión de las técnicas de construcción vernaculares, haciendo hincapié en las construcciones que utilizan materiales naturales y elementos reciclados: arquitectura con tierra, con paja, construcciones que aprovechan los desechos plásticos, construcciones con mandriles de cartón, ... todas ellas coinciden en que son responsables con el medio ambiente y además mejoran la calidad y el confort de los usuarios del edificio.



Figura 01: Imagen del campo de refugiados de Za'atari en Jordania. Fuente: <https://www.oxfam.org/es/crisis-en-siria/la-vida-en-el-campo-de-refugiados-zaatari-la-cuarta-ciudad-mas-grande-de-jordania>

¹ Microplástico: concepto que se utiliza para designar a los pequeños fragmentos de plástico que suponen una amenaza potencial tanto para el medioambiente como para la salud de los seres humanos.

Cambiando de tercio, otra de las grandes preocupaciones de la sociedad son las guerras y los conflictos bélicos existentes todavía en este siglo con consecuencias desastrosas, que dejan a personas sin hogar, aumentando el número de asentamientos que no cumplen con las condiciones mínimas de habitabilidad con los problemas que esto supone para el medio ambiente. Además en estas zonas la falta de recursos tanto materiales como económicos y la carencia de conocimiento es más que evidente y se refleja en la mala calidad de las construcciones que se realizan. A lo cual hay que sumar que no son capaces de resistir ante los desastres naturales, que por desgracia siempre tienen lugar en las zonas que están menos preparadas para asumirlos.

Partiendo de estas dos grandes preocupaciones, surge el objeto de este trabajo que consiste en estudiar la técnica de construcción con tierra ensacada, más conocida como Superadobe. Según sus defensores, se trata de una técnica de construcción responsable y sostenible con el medio ambiente. Su facilidad de construcción le permite adaptarse a cualquier lugar y además se amolda con facilidad en cualquier clima. Además sus características estructurales hacen que estas construcciones sean resistentes ante desastres naturales, probadas con eficacia ante los terremotos. De ahí el interés de estudiar y analizar este tipo de construcciones que ofrecen a priori múltiples beneficios y prometen la construcción de edificios aptos para cualquier ámbito y situación.

1. Cooperación para el desarrollo

La cooperación para el desarrollo es un término que está siendo muy nombrado últimamente, no sólo en el ámbito de la arquitectura sino en otras muchas áreas. Ya que es el concepto principal del que se parte para desarrollar este trabajo, parece necesario conocer de antemano cuál es el significado de este concepto para asentar la base del estudio.

Tal y como desarrolla Alfonso Dubois (2005-2006), presidente de la HEGOA², en el Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo,

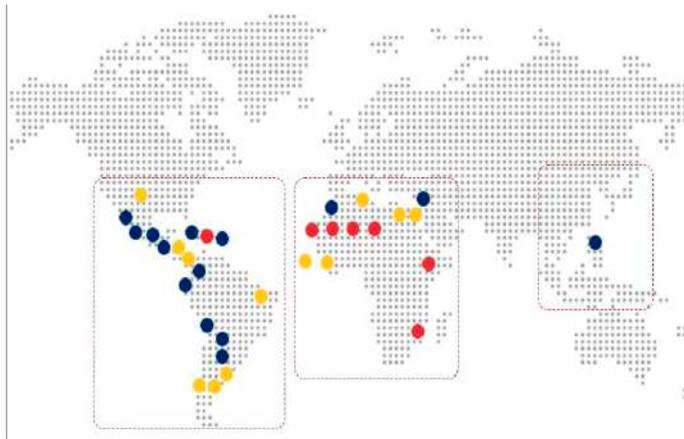
“El concepto de cooperación para el desarrollo no tiene una definición única, ajustada y completa, válida para todo tiempo y lugar. La cooperación al desarrollo se ha ido cargando y descargando de contenidos a lo largo del tiempo, de acuerdo al pensamiento y los valores dominantes sobre el desarrollo y al sentido de responsabilidad de los países ricos con la situación de otros pueblos”.

Se trata de un concepto complejo, difícil de acotar debido a que depende de la situación en la que se va encontrando la sociedad por lo que va variando a lo largo del tiempo. Aun así hay expertos que han logrado delimitarlo como Gómez y Sanahuja (1999) que definen la cooperación al desarrollo de forma más general, como:

“Conjunto de actuaciones realizadas por actores públicos y privados, entre países de diferente nivel de renta con el propósito de promover el progreso económico y social de los países del Sur de modo que sea más equilibrado en relación con el norte y resulte sostenible. Se pretende también contribuir a un contexto internacional más estable, pacífico y seguro para todos los habitantes del planeta”.

Es por tanto, un movimiento realizado por los países más desarrollados hacia los países en vías de desarrollo que busca una sociedad más o menos igualitaria. Es por ello que estos países cooperantes disponen de órganos dedicados en su mayoría a esta actividad. Estos departamentos se encargan de gestionar los proyectos

² HEGOA: Institución de la Universidad del País Vasco, que se dedica al estudio y la investigación de los problemas del desarrollo humano y la cooperación internacional.



● Países de Asociación Menos Avanzados ● Países de Asociación de Renta Media ● Países de Cooperación Avanzada

Figura 02: Imagen del mapa interactivo de los 33 países prioritarios para la Cooperación Española. Fuente: <https://www.cooperacionespanola.es/es/prioridades-geograficas>

necesarios para poder proporcionar ayuda a los países más desfavorecidos. En nuestro país es el Gobierno de España quien a través de su Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, el que dispone de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). Tal y como ellos mismos definen, “la AECID es el principal órgano de gestión de la Cooperación Española, orientada a la lucha contra la pobreza y al desarrollo humano sostenible”.

Según los datos del portal de cooperación española, la cooperación española actuará tomando como criterio de actuación dividir los países de acuerdo a la situación que presenten de acuerdo a sus características geográficas. Actuando así en 33 países repartidos entre América Latina, Norte de África y Oriente Medio y el África Subsahariana, que se dividen en tres categorías:

- Países de Asociación Menos Avanzados: aquellos en los que la cooperación española dará su apoyo mediante actuaciones dirigidas a garantizar la implantación y el acceso a los derechos y servicios sociales básicos y a consolidar sus instituciones.
- Países de Asociación de Renta Media: allí donde la ayuda que se ofrecerá se centrará en la construcción de resiliencia, el apoyo en su transición hacia modelos productivos sostenibles, la garantía de servicios sociales de calidad, el fomento de la diversidad y la inclusión y la construcción institucional.
- Países de Cooperación Avanzada: países más avanzados en cuanto a infraestructuras básicas se refiere en los cuales se buscará mantener un diálogo

sobre el ámbito político y administrativo.

Es evidente que a día de hoy sigue habiendo grandes desigualdades entre países de los dos hemisferios como también lo es, que siguen sucediéndose graves conflictos internacionales. La cooperación para el desarrollo lejos de ser una moda impuesta en la sociedad actual es una necesidad a nivel global. Todavía queda mucho trabajo por hacer y la cooperación es necesaria para un correcto avance igualitario y justo de la sociedad.

1.1. El arquitecto como un actor más de la cooperación al desarrollo

Una vez definido el concepto de cooperación para el desarrollo, se observa como desde todos los ámbitos laborales es posible aportar ayuda y conocimientos, aunque algunas áreas debido a sus características, se involucren más en la cooperación que otras.

En el informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible³ del año 2017, vemos como el objetivo nº 11 persigue “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”.

Según datos de este informe, “casi el 54% de la población mundial vive en ciudades. En el año 2014 en África subsahariana, el porcentaje de personas que vivían en barrios marginales era del 56%”. Estos datos son el resultado de un proceso de rápida urbanización que se está produciendo en África durante las últimas décadas, sobre todo en los países más subdesarrollados donde la expansión urbana se está realizando sin ningún tipo de planificación, lo que produce un aumento de los habitantes que viven en barrios marginales, infraestructuras y servicios básicos inadecuados para esas poblaciones, haciendo que el conjunto urbano sea más vulnerable a los desastres.

Los datos presentados en los Informes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de los años 2017 y 2018 no difieren mucho entre sí, lo cual se traduce en que a pesar de que los datos del informe del año 2018 son levemente más optimistas que los del año 2017, aún sigue siendo necesario prestar ayuda y conocimientos a aquellos que más lo necesitan.

Los arquitectos son profesionales con una alta cualificación que abarcan varios campos de trabajo y que pueden aportar muchos conocimientos en el campo de la cooperación tanto en materia urbanística como en



Figura 03: Imagen de una de “las villas” en la ciudad de Buenos Aires. Fuente: <https://www.elmundo.es/internacional/2014/09/09/540f223e268e3e2a7e8b4581.html>



Figura 04: Imagen del asentamiento ilegal en Kroo Bay, Sierra Leona. Fuente: <http://cdn.ipsnoticias.net/wp-content/uploads/2015/05/The-river-that-runs-through-the-Kroo-Bay-slum-community-in-Free>

³ Objetivos de Desarrollo Sostenible: objetivos desarrollados por las Naciones Unidas que buscan la cooperación de los países más desarrollados mediante la adopción de medidas con el objetivo de poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas.

materia constructiva. Como dice la arquitecta Verónica Sánchez Carrera en el blog fundación arquia (2015), que centró su actividad en Ayuda Humanitaria, donde ha trabajado con diferentes organizaciones tanto en desarrollo como en emergencia:

“desde la cooperación en desarrollo local hasta la ayuda humanitaria internacional en emergencias, surgen demandas que nos atañen por nuestra condición de profesionales y de habitantes, a nivel territorial, urbano, edificatorio y objetual: millones de personas se desplazan y se asientan en campos de refugiados, se suceden catástrofes naturales donde se precisa resolver temas de agua y cobijo con los mínimos recursos y con celeridad, ciudades en expansión con altos niveles de población que precisan técnicos para su desarrollo, sistemas de construcción que hay que adaptar a tecnologías apropiadas, temas de saneamiento que resolver, escuelas que construir, etc”.

Al igual que en otras áreas de trabajo, en arquitectura existen diversas asociaciones sin ánimo de lucro que trabajan desde este ámbito involucradas en asuntos humanitarios. A continuación se mencionan algunas de las más relevantes:

- Architecture for Humanity: (Brake, 2016) Asociación sin ánimo de lucro americana que trabajaba a nivel mundial. Fomentó el diseño participativo mediante el lanzamiento de concursos para soluciones de emergencia como por ejemplo alojamientos en Kosovo, clínicas móviles de salud en África, ayuda para el terremoto de Haití y respuestas al huracán Katrina en Nueva Orleans, entre otras iniciativas. La asociación cerró en el año 2015 tras declararse en bancarota.
- Open Architecture Collaborative: organización sin ánimo de lucro, que surge siguiendo la estela de la asociación anterior. Puede decirse que es una secuela de esta asociación. Con base en EEUU, También trabajan a nivel mundial y como ellos mismos definen (OAC, 2017), se dedican a buscar el compromiso de la comunidad utilizando el diseño, con una misión clara “servicios de defensa, facilitación, evaluación y pequeña construcción para sus comunidades marginadas locales”.
- Restauradores sin fronteras, A-RSF: organización internacional de desarrollo constituida en el año 1999, que utilizando el Patrimonio Cultural como instrumento para conseguir lograr el desarrollo sostenible de las comunidades más desfavorecidas. Centran su área de



Figura 05: Centro deportivo rural para san pedro apostol. Architecture for humanity. Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/02-141325/primera-etapa-del-centro-deportivo-rural-para-san-pedro-apostol-mexico>



Figura 06: Imagen de la construcción del orfanato ABC, OAC. Fuente: <https://www.dezeen.com/2016/03/10/architecture-for-humanity-relaunches-as-open-architecture-collaborative-humanitarian-charity/>

actuación en España, el norte de África y sobre todo en el centro y el sur de América.

- **Arquitectura sin fronteras:** es una ONGD creada en el año 1992. ASF actúa para conseguir el acceso de la población a viviendas más dignas buscando así conseguir una transformación social. Trabajan dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, centrándose en aquellos que están relacionados con combatir la pobreza, mejorar la educación, conseguir la igualdad de género y conseguir una mejora de la calidad ambiental. Tiene demarcaciones en varias comunidades de España, enfocando a cada una de ellas hacia un área geográfica determinada.
- **Arquitectos sin fronteras de Castilla y León:** ONG creada en 1994 en la escuela de Valladolid y tal y como ellos describen en su página web, persiguen enfocar sus proyectos de cooperación desde el enfoque social que también tiene la arquitectura, cooperando así en proyectos de edificación, construcción sostenible, accesibilidad... Han actuado en Eritrea, Ruanda, Burkina Faso, Perú, Bolivia y Nicaragua. Entre sus proyectos cabe destacar: la construcción de un centro de salud en Chíncha Alta (Perú), la construcción de una escuela de formación artística y humana Puckllay en Lima (Perú) o la construcción de 100 viviendas para 100 familias en el departamento del Amazonas (Perú).



Figura 07: Escuela en CEM3 en Senegal, demarcación de ASF de Madrid. Fuente: <http://asfes.org/internacional/>



Figura 08: Imagen de uno de los proyectos realizados por ASF CyL. Fuente: <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/none/path/s1e8b7efdd640225b/image/ie7620b122b9808af/version/1280221174/image.jpg>

2. Construcción y cambio climático

Uno de los grandes problemas que atañe a la sociedad actual a nivel mundial es el cambio climático. Todos hemos escuchado hablar de ello, y sin embargo la mayor parte ignora el significado de este concepto ya que este tiende a confundirse con el calentamiento global, mientras que este es una consecuencia del cambio climático. El Ministerio para la Transición Ecológica define el cambio climático como: “la variación global del clima de la Tierra. Esta variación se debe a causas naturales y a la acción del hombre y se produce sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad,... a muy diversas escalas de tiempo”.

Los efectos del cambio climático son evidentes. Sin ir más lejos, en los últimos años estamos viviendo variaciones temporales y climáticas anormales para las estaciones y los climas en los que nos encontramos. Se oye mucho coloquialmente la frase de “el tiempo se ha vuelto loco”. Este es uno de los efectos más evidentes del cambio climático que podemos encontrar en nuestra vida cotidiana, pero no es el único.

En la página web de este Ministerio aparece publicada la conclusión del Quinto Informe de Evaluación del IPCC⁴ :

“El Informe de Síntesis del Quinto Informe de Evaluación del IPCC concluye que la influencia humana en el sistema climático es clara y va en aumento, y sus impactos se observan en todos los continentes. Si no se le pone freno, el cambio climático hará que aumente la probabilidad de impactos graves, generalizados e irreversibles en las personas y los ecosistemas”.

La conclusión de este informe es bastante clara y no deja lugar a dudas de que el cambio climático nos atañe a todos. Se puede seguir ignorando el problema, como ha venido haciendo hasta ahora gran parte de la sociedad o se puede intentar buscar una solución para que los efectos no sean tan graves y devastadores como pronostican los estudios científicos.

Este problema climático a nivel global, obviamente,

⁴IPCC: siglas en inglés del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático que tiene por objeto proporcionar información actualizada sobre los conocimientos acerca del cambio climático

también forma parte de la lista de objetivos a cumplir marcados por las Naciones Unidas. En el informe del año 2018, el objetivo número 13 describe y justifica de la necesidad de adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Según se dice en este mismo informe:

“el año 2017 fue uno de los tres más cálidos registrados y fue 1,1 grados Celsius por encima del período preindustrial. Un análisis realizado por la Organización Meteorológica Mundial indica que la temperatura mundial promedio en el quinquenio 2013-2017 también fue la mayor registrada..

Todos estos datos prueban la necesidad urgente de un cambio en nuestro modelo de producción y en nuestro modelo de consumo. Seguimos registrando temperaturas récord, sigue creciendo el nivel de los mares y océanos y siguen aumentando las emisiones de gases contaminantes.

Por fortuna, las nuevas generaciones poseen una mentalidad más abierta y, habiendo sido educadas con sensibilidad y respeto hacia el medio ambiente, impulsan movimientos de cambio para conseguir evitar el desastre en la medida de lo posible.

En realidad, estos cambios deben hacerse desde todos los ámbitos productivos. En el sector de la construcción también es necesario realizar cambios. De acuerdo con Carlos Hernández Pezzi, que fue Presidente del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España durante el año 2005:

“la construcción asume más del 40% de los recursos en materiales, el 33% de la energía y el 50% de las emisiones y desechos, transforma ingentes cantidades de suelo de forma irreversible y crea millones de toneladas de residuos, para alcanzar un producto final, en la mayoría de los casos, una vivienda ineficiente desde el punto de vista energético”.

Viendo así reflejados los datos del tipo de construcción que se ha llevado a cabo sobre todo en los primeros años del siglo XXI, parece que las cosas no se han hecho del todo bien. Es evidente que no se puede seguir construyendo de acuerdo a este criterio. Tomando el dato de que la construcción asume el 40 % de los recursos materiales, parece necesario analizar hasta qué punto es viable seguir construyendo así. La realidad es que con la llegada de los nuevos materiales a la construcción durante el siglo XX se produjo un aumento en el gasto de recursos materiales y energéticos, sobre todo durante el proceso de fabricación y después en el proceso de transporte.

Según Félix Jové Sandoval (2010),

“actualmente gran parte de los materiales utilizados en la construcción se obtienen como derivados del material tierra: ladrillos cocidos, bovedillas, hormigón,... Éstos, son el resultado de una serie de procesos industriales que consiguen la transformación del material inicial en otro, mediante un alto consumo de energía. Así, la producción de determinados materiales de uso común, son el resultado de procesos altamente contaminantes. Esta circunstancia, generalizada en la producción de muchos de los materiales de construcción normalmente utilizados, está haciendo que se replanteen algunas cuestiones sobre la necesidad de producir unos materiales tan caros y tan altamente contaminantes para conseguir unas prestaciones que podrían lograrse mediante materiales tradicionales más económicos y más ecológicos”.

Resulta paradójico el hecho de que transformamos una materia prima en un producto manufacturado, mediante un proceso altamente contaminante y que requiere gran cantidad de recursos para después utilizarlo en un proceso en el que al final vamos a construir un edificio, que funcionará igual o peor que si hubiéramos utilizado para construirlo el material primario, en este caso, la tierra.

La cuestión es que estamos combatiendo un problema medioambiental a nivel global, y el objetivo es limitar nuestro consumo de recursos materiales, para lograr reducir la huella ecológica y frenar las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera. Sin embargo, seguimos invirtiendo tiempo y dinero fabricando y utilizando materiales de construcción que lo que hacen es empeorar esta circunstancia, mientras que disponemos de otros elementos que con una mínima elaboración contribuyen a no empeorar la situación respetando en la medida de lo posible el medio ambiente.

2.1. Arquitectura tradicional y sostenibilidad

No se puede generalizar porque al igual que ocurre con la sociedad en su conjunto global, en nuestro campo son muchos los arquitectos que concienciados ante este problema, buscan soluciones constructivas más adecuadas no sólo para el medio ambiente, sino para todos en general, proyectando y construyendo edificios cada vez más sostenibles, amables y respetuosos con la sociedad y por ende con el medio ambiente.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el problema de la producción y el uso de materiales de construcción altamente contaminantes comenzó a partir de la ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid



Figura 09: Paja para construir la cubierta en una vivienda tradicional en Zambia. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769065/sobre-por-que-desarrolle-un-banco-de-datos-para-documentar-la-arquitectura-verancular-africana/556efed2e58ece956600022f-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

Revolución industrial y se acrecentó con el uso del hormigón durante el Movimiento Moderno. Hasta ese momento la técnica constructiva más extendida era la basada en la arquitectura tradicional. En cada lugar se construía de acuerdo a los recursos disponibles dando respuesta a las necesidades de cada habitante, utilizando técnicas constructivas respetuosas con el medio ambiente y que respondían a las condiciones climáticas de cada lugar. A pesar del rechazo generalizado que existe hacia estas técnicas constructivas y hacia el uso de los materiales tradicionales, éstas responden al concepto de sostenibilidad. Este término es otro de los que más se nombra durante los últimos años, surgido en un intento de dar respuesta a los problemas generados por el cambio climático. Karlos Pérez de Armiño, en el Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo lo define así: “la sostenibilidad consiste en utilizar los recursos mundiales preservándolos para generaciones venideras”.

Poniendo nuestra atención en los países africanos, hasta hace bien poco aquellos habitantes que disponían del poder adquisitivo suficiente para construirse una buena vivienda, preferían realizarla con materiales importados, siguiendo las directrices de construcción occidentales ya que eso se traducían en una evidente diferencia con respecto a sus vecinos que seguían construyendo de acuerdo con las directrices de construcción tradicionales y utilizando los materiales que tenían a su disposición. Esto generaba un problema de desigualdad social muy evidente, donde automáticamente se clasificaba a los habitantes según su nivel adquisitivo resultando muy evidentes estas diferencias simplemente observando los materiales utilizados en la construcción de las viviendas y en base a ello era sencillo adivinar el nivel económico de cada familia y su poder dentro de esa comunidad.

Como dice Jon Sojkowski (2016), arquitecto estadounidense interesado en la arquitectura vernacular africana y que se dedica a documentarla a través de una base de datos creada por él mismo:

“la arquitectura vernacular en la mayoría de los países africanos está desaparecida, siendo abandonada y reemplazada por materiales y técnicas occidentales. La razón principal es el mito más grande sobre arquitectura vernacular: la percepción negativa asociada al término”.

Con rotundidad se puede afirmar que esta conclusión no es sólo cierta para las sociedades de los países subdesarrollados sino que es una situación que también se produce en países desarrollados como en



Figura 10: Imagen de una mujer en Zambia enyesando un muro. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769065/sobre-por-que-desarrolle-un-banco-de-datos-para-documentar-la-arquitectura-verancular-africana/556efec6e58ecec91000268-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

España. Muchas personas rechazan las construcciones tradicionales por estar realizadas con materiales más baratos y accesibles cuando en determinadas ocasiones pueden suponer una mejor opción que aquella que la sociedad piensa que es la más correcta y moderna con el uso de hormigón. De hecho las construcciones realizadas con materiales más naturales como la tierra o la paja siguen siendo asociadas con pobreza.

“Mientras los materiales y las técnicas de construcción occidentales son vistas como correctas, modernas, permanentes y para la gente adinerada, lo vernacular es visto como deficiente, anticuado, temporal y para la gente pobre”.

En su investigación pone un ejemplo muy claro que ilustra este rechazo:

“Los muros construidos con ladrillos cocidos son considerados modernos y por lo tanto, deseables. En mi investigación, me di cuenta de un interesante detalle mientras viajaba a través del país: las estructuras de barro están cubiertas para proporcionar protección contra los elementos, pero las estructuras construidas con ladrillos cocidos a veces dejan un lado –o una porción de ella– sin revocar. Esto sirve al propósito de mostrar a la comunidad que la estructura fue construida utilizando ladrillos cocidos.”

Es contradictorio observar como en los países subdesarrollados se fijan en los modelos de producción occidentales viéndolos como un ejemplo a seguir mientras que en los países occidentales comienzan a darse cuenta de que es necesario realizar un cambio hacia modelos de producción más sostenibles y así, se empieza a realizar una revisión de las técnicas de construcción vernaculares buscando así una forma de construir más sostenible.

Un buen ejemplo del cambio que se está produciendo en la sociedad, sobre todo en la africana, son las acciones realizadas por las nuevas generaciones de arquitectos que están surgiendo en estos países, que han rescatando elementos y técnicas constructivas de la arquitectura tradicional Como es el caso de Francis Kéré⁵, de Burkina Faso. Él defiende la potencia que posee la arquitectura vernacular africana y la importancia de construir con los materiales del lugar. Además volviendo a su país y a su continente de origen tras haberse formado en Europa, y utilizando en sus proyectos materiales como el adobe, demuestra a sus gentes que este tipo de materiales son tan contemporáneos como el hormigón y que su utilización no es un signo de pobreza.



Figura 11: Malawi. Parte del muro final que se dejó sin revestir para indicar que se construyó utilizando ladrillos cocidos. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769065/sobre-por-que-desarrolle-un-banco-de-datos-para-documentar-la-arquitectura-veranacular-africana/556f0203e58eceec9100026b-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

⁵ Francis Kéré: arquitecto africano de Burkina Faso asentado en Berlín que se ha encargado de reinterpretar la arquitectura tradicional africana

Esto también debe demostrarse con el ejemplo. Para los africanos es muy importante la opinión que tengan los occidentales sobre ellos. Si nosotros vamos allí e importamos nuestras costumbres y técnicas constructivas al final ellos creerán que lo mejor es construir de acuerdo a las técnicas que nosotros les enseñamos y rechazarán su propia cultura. Como dice Félix Jové Sandoval (2011),

“África atesora una enorme diversidad cultural y una gran riqueza arquitectónica que no podemos permitir que se pierda. Estas arquitecturas se encuentran sin duda muy alejadas de los modelos formales europeos y sin embargo tienen derecho a sobrevivir. La acción de Cooperación Internacional no puede ser ajena a esta riqueza cultural, y de ninguna manera, ni siquiera por motivo de la acción solidaria, pueden permitirse intromisiones culturales y arquitectónicas ajenas a su propia realidad cultural.”.

Pasando así a defender las tradiciones y la arquitectura vernácula aportando innovaciones desde el punto de vista técnico sin perder la esencia constructiva de aquellos lugares en los que se está interviniendo. De esta forma si ellos se sienten apoyados y valorados aceptarán y defenderán sus propias tradiciones. Así es necesario ser capaces de realizar una reinterpretación de sus modelos y técnicas constructivas para aportar innovaciones técnicas sin que pierdan su esencia.



Figura 12: Escuela primaria en Gando de Francis Kéré. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/790384/primary-school-in-gando-kere-architecture/5717ed21e58ece074f00032e-primary-school-in-gando-kere-architecture-photo>

3. La tierra como material de construcción

Desde los primeros datos registrados se tiene conocimiento de la utilización de la tierra en las construcciones. Es uno de los materiales más antiguos utilizado sobre todo debido a su facilidad de manipulación, su mínima necesidad de elaboración y sobre todo su amplia disponibilidad. Casi todos los tipos de tierra que existen a nivel mundial son aptos para utilizarlos en construcción.

Si nos fijamos en la arquitectura vernacular de los países africanos o en la del centro y sur de América, la mayor parte han sido construidas con tierra. España no se escapa ante este hecho. Atendiendo a las construcciones sobre todo del centro de la Península, el material base de estas construcciones es la tierra.

Presenta muchas ventajas, la mayoría de ellas están relacionadas con las propiedades intrínsecas de la tierra en sí misma como son las siguientes:

- Elevada inercia térmica, lo cual implica que posee unos valores de aislamiento favorables debido a la resistencia térmica que presenta, con valores muy elevados frente a otros materiales.
- Al tratarse de un material poroso posee una elevada capacidad higrotérmica que permite el equilibrio de la humedad del ambiente interior absorbiendo el vapor de agua en caso de humedad excesiva y cediendo vapor cuando el ambiente está muy seco.
- Debido a su composición, la tierra tiene la capacidad de absorber las partículas que producen malos olores.
- Presenta un buen aislamiento acústico debido a que los muros de tierra no son buenos transmisores de las vibraciones acústicas.
- Alta resistencia al fuego debido a su naturaleza
- Mínimo impacto ambiental debido tanto desde su proceso de obtención, elaboración y transporte, gastándose mínimas cantidades de energía, como al



Figura 13. Construcción tradicional en Tierra de Campos

final de su vida útil ya que permite su reutilización.

- Material de bajo coste y accesible universalmente
- Permite la posibilidad de autoconstrucción vigilada siempre por un técnico especializado.

Al igual que otros materiales también tiene sus inconvenientes que principalmente son dos:

- Vulnerabilidad del material frente al agua siendo esta la causante de la mayoría de las patologías que sufren las construcciones con tierra. Es necesario proteger todas las zonas débiles frente a ella para evitar problemas futuros como por ejemplo, realizar zócalos para evitar la ascensión del agua del terreno o proteger las fachadas en zonas con clima húmedo utilizando aleros.
- Falta de mano de obra especializada en la utilización de tierra como material de construcción.

Vistas sus ventajas e inconvenientes se deduce que es un material que presenta múltiples beneficios no sólo medioambientales o económicos, sino que además queda probado que mejoran la calidad del ambiente en el interior del edificio reportando múltiples beneficios a la salud de sus ocupantes. Las dos desventajas que aquí han sido descritas tienen solución por tanto es un material más que favorable para utilizar en construcción.

Se establecen así las ventajas de utilizar la tierra como material de construcción en vez de utilizar hormigón, acero o materiales derivados de los plásticos, los cuales están siendo muy utilizados en los últimos años en la mayor parte de los proyectos a pesar de sus elevados niveles contaminantes.

3.1. Construcciones con tierra en países en vías de desarrollo

La tierra es un material omnipresente. Se encuentra fácilmente en cualquier parte del mundo. Si bien es cierto, que presenta diferentes características en función de su ubicación y que no todos los tipos de tierra son óptimos para todas las técnicas que ofrece este material en construcción.

Se trata por tanto, de un material de bajo coste, tanto por su obtención como por su transporte, que está al alcance de todos los bolsillos.



Figura 14: Diagramas con las propiedades de las construcciones con tierra. Fuente: <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>

De acuerdo con Nader Khalili (1986), "cualquier persona en este mundo debería poder construir un refugio para su familia con los materiales más simples disponibles para todos: tierra, agua, aire y fuego".

La realidad es que una vivienda puede ser construida utilizando únicamente estos elementos sin necesidad de utilizar productos manufacturados y obtenerse como resultado una construcción correctamente ejecutada de calidad igual o superior a una vivienda que ha sido construida siguiendo el patrón constructivo del siglo XXI, con lo materiales comúnmente utilizados.

Existe otro problema que condiciona las construcciones en los países subdesarrollados y es la falta de mano de obra cualificada. Esto provoca que las construcciones que se realizan con materiales que no son los tradicionales y que se escapan de sus competencias, sean ineficaces debido a una mala ejecución, aunque desde el principio hubieran sido bien diseñadas y calculadas. Esto se traduce en que, en caso de desastre natural, estas estructuras no presentan ningún tipo de resistencia, pasando a ser destruidas en poco tiempo a diferencia de las estructuras realizadas siguiendo las técnicas constructivas tradicionales. Estas no sufren la falta de experiencia en la ejecución de la obra, y aunque se verán afectadas por el desastre natural ofrecerán una mayor resistencia

Como vemos en las imágenes 13 y 14, el terremoto que sacudió la ciudad de Tabas en Irán en el año 1978 de magnitud 7,7 en la escala de Richter, no afectó por igual a las estructuras realizadas con hormigón armado y acero que a las estructuras de adobe realizadas siguiendo las técnicas constructivas tradicionales.

A pesar de que es un suceso ocurrido hace años, este es el ejemplo que utiliza Nader Khalili (1986) que sirve para ilustrar y defender la idea de que ante la falta de experiencia con ciertos materiales a la hora de proyectar y ejecutar un edificio, es mejor seguir utilizando las técnicas constructivas vernaculares que importar unas técnicas constructivas que en principio pueden parecer una solución mejor por ser más contemporáneas y sin embargo, tiempo después resultarán soluciones más complejas y costosas que las tradicionales, lo que en un país en vías de desarrollo puede suponer un problema de características mayores ante las pérdidas económicas y materiales a las que tendrán que enfrentarse después, en un lugar de escasos recursos, sobre todo materiales y económicos.



Figura 15: Imagen de los efectos del terremoto de 7.7 en la escala de Richter en Tabas (Irán) en el año 1978. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture



Figura 16: Imagen de los efectos del terremoto de 7.7 en la escala de Richter en Tabas (Irán) en el año 1978. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

3.2. Principales técnicas de construcción con tierra.

Como ya se ha referido anteriormente, la construcción con tierra está muy ligada a la construcción tradicional. Las técnicas de construcción posibilitadas con este material son múltiples. A continuación se nombran y describen las más extendidas:

- Tapia o tapial: (Jové, 2017) es una técnica basada en la compactación de la tierra húmeda por tongadas mediante su apisonado in situ. Se utiliza un encofrado desmontable de madera compuesto por dos frentes y dos tableros laterales (costeros). Su proceso de construcción incluye tres fases: montaje del cajón o encofrado, relleno de tierra y compactación y desmontaje o desencofrado.
- Adobe: (Jové, 2017) es un ladrillo hecho con masa de tierra rica en arcilla (20% de arcilla y un 80% de arena y agua) sin cocción. Se fabrica en moldes, se deja secar al sol y al aire. Para que no se agriete al secar se añade paja, que sirve como armadura.
- BTC. Bloques de tierra comprimida: (Jové, 2017) son bloques usados en obras de fábrica, obtenidos como resultado de aplicar presión a la tierra en el interior de un molde que mejora las propiedades mecánicas. Suelen emplearse estabilizados con cal, cemento o yeso. Su fabricación puede ser a nivel industrial, es un producto homogéneo y certificado.
- Cob: (Hunter, Kiffmeyer, 2014) término inglés que designa un estilo de construcción con tierra que se compone de arcilla, arena y grandes cantidades de paja. Esta técnica en España no se utiliza, es más típica de los países del norte de Europa como Reino Unido ya que es útil en climas húmedos donde el secado de los adobes es más complicado que en los climas secos.

Estas son las técnicas de construcción con tierra más extendidas, como se puede observar funcionan a nivel global, sin estar sujetas a un lugar o clima determinado y con cualquier programa funcional del edificio, por lo que es posible la realización de cualquier tipo de edificio, de carácter público o privado, sin importar la ubicación utilizando como material de construcción la tierra.



Figura 17: Piscina en Toro, Zamora. Vier arquitectos y José María Sastre. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos/512a2340b3fc4b11a700888b-piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos-foto>



Figura 18: Hotel Tierra de Atacama. Algunas fachadas están construidas con adobe. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-16425/hotel-tierra-atacama-matias-gonzalez-rodrigo-searle>



Figura 19: Mercado central de Koudougou, Burkina Faso. Laurent Séchaud y Pierre Jequier. Fuente: <http://terra-award.org/project/laureate-offices-shops-factories-koudougou-central-market/?lang=es>

4. Construcción con tierra ensacada

En el anterior capítulo se han descrito las técnicas de construcción con tierra más extendidas, si bien es cierto que hay más posibilidades de utilización de este material como es el caso de la construcción con tierra ensacada.

“Earthbag” es el término en inglés que se utiliza para definir esta técnica, traducido al castellano como el concepto de tierra ensacada. Si bien es cierto que estas construcciones son mucho más conocidas con el término uperadobe acuñado por el americano Nader Khalili.

Se trata de una técnica constructiva basada en la utilización de sacos rellenos de tierra que formando hiladas se superponen entre sí, utilizando alambre de espino entre cada fila de sacos, proporcionando la resistencia estructural necesaria a todo el conjunto. Se van conformando así las hiladas consecutivas de sacos que constituyen los muros de carga. Por lo general, se suelen construir formando bóvedas, arcos o cúpulas. Estas formas permiten resolver el edificio de forma integral utilizando un único elemento.

Se trata de un proceso de construcción muy sencillo en el que pueden participar personas de cualquier rango de edad y que ofrece una buena resistencia ante desastres como terremotos, huracanes, inundaciones e incendios.

Además su uso se encuentra muy extendido en la cooperación, sobre todo en la realización de viviendas y escuelas en países en vías de desarrollo, principalmente por los pocos recursos materiales necesarios y su facilidad de obtención y por lo económico que resulta realizar un edificio de estas características.

4.1. Origen y evolución

Este tipo de construcciones con tierra tienen su origen en las trincheras militares, siendo estudiadas posteriormente por los alemanes tras la Segunda Guerra Mundial para la creación de viviendas antisísmicas, mientras se utilizaban

a su vez como recurso defensivo para la creación de barreras contra las inundaciones y las crecidas del nivel del mar, siendo finalmente Nader Khalili el impulsor mediante el estudio y estandarización de la técnica del Superadobe.

4.1.1. Sacos terreros

Según la definición de la RAE un saco terrero es un "saco que se llena de tierra y se emplea para formar muros de protección o defensa". El origen de la utilización de los sacos terreros procede de su uso en las trincheras militares. De acuerdo con el Diccionario de Terminología Militar, un saco de tierra es un saco de arpillería fuerte o lona de unos dos pies de largo y de ancho proporcionado que permita contener la tierra necesaria para constituir de forma instantáneamente un parapeto o trinchera a cuyo amparo hagan fuego los soldados. Se debían colocar de forma longitudinal, superponiendo los sacos en hileras sucesivas, de modo que la mitad del saco de arriba caiga encima de la junta que formaban los de abajo, y así con todas las demás hileras, dejando abiertas las troneras necesarias para que la tropa dispare. También utilizaban en vez de sacos de lona, sacas de lana que servían para cubrir las trincheras de mayor tamaño debido a la mayor longitud de estos elementos.

Los sacos terreros fueron instrumentos de gran valor durante la Guerra de las Trincheras que tuvo su punto álgido durante el desarrollo de la Primera Guerra Mundial.

4.1.2. Diques de contención con sacos de tierra

Los sacos de tierra también se han utilizado de forma habitual como elementos de contención en caso de desastres naturales o inundaciones. Al igual que con los sacos que se utilizaban en las trincheras, se trataba de construcciones temporales cuyo propósito era protegerse del agua y que se destruían cuando ya no eran necesarias porque se había pasado el peligro. En estos casos el relleno bien podía ser de tierra o también podía utilizarse arena. La posibilidad de vaciar el saco y almacenarlo cuando ya no fuera necesario brinda construcciones de carácter temporal fáciles de ejecutar que cumplen a la perfección su cometido sin dejar ningún tipo de residuo en el ambiente.



Figura 20: Recreación de una trinchera en el Museo de la Guerra Civil de Campillo de Llerena, en Badajoz. Fuente: https://www.eldiario.es/eldiarioex/sociedad/Relatos-trinchera-Extremadura-Guerra-Civil_0_478752972.html



Figura 21: Dique de contención frente a una inundación. Imagen original obtenida de: https://ep01.epimg.net/diario/imagenes/2007/11/03/internacional/1194044403_740215_0000000000_noticia_normal.jpg

4.1.3. Muros de sacos rellenos de tierra.

En los años 70, en la Universidad de Kassel, en Alemania comenzaron una investigación para poder construir muros utilizando elementos textiles rellenos de tierra. El objetivo de esta investigación, era construir un prototipo de vivienda capaz de resistir a los terremotos, que fuera de bajo coste y que permitiera su construcción con una fácil técnica constructiva. Este hecho es relevante ya que esta es la primera vez que los sacos de tierra dejan de verse como instrumentos de construcción de carácter temporal para utilizarse en construcciones con carácter permanente.

Diseñaron una vivienda que estaba construida utilizando unos sacos alargados de textiles, conocidos como mangueras o tubos, rellenos con tierra y arena. Como explica G. Minke (2005), en un principio se llenaron las mangueras de yute, no de tierra y arena. Para ello se utilizó un embudo y se fueron colocando en hiladas en forma de U, quedando fijadas verticalmente con ayuda de unas cañas de bambú. Para prevenir la putrefacción del material, el yute se cubrió con varias capas de pintura de cal lo que también permitía estabilizar la superficie e impermeabilizarla. La estructura de la cubierta descansa sobre unas columnas exentas dispuestas en el interior del espacio. En el año 1977 llegaron a construir un prototipo de vivienda utilizando mangueras rellenas de tierra en esta universidad.

Por otro lado, como parte de una investigación de una universidad de Guatemala, que en ese momento estaba en contacto con la universidad de Kassel, se construyó otra vivienda utilizando sacos rellenos de tierra, en el año 1978. Contaba con una superficie de 55 m². Como describe G. Minke (2005):

“Esta técnica se desarrolló a partir de ensayos previos y fue adaptada a las condiciones locales. Las mangueras de 10 cm de diámetro se hicieron de tela de algodón y se rellenan con suelo volcánico compuesto fundamentalmente por arenas. Las mangueras se embebieron en una lechada de cal para evitar la putrefacción de la tela y posteriormente se colocaron entre columnas verticales ubicadas a una distancia de 2,25m. Se fijaron cañas de bambú verticalmente a una distancia de 45 cm entre cada panel para darle estabilidad adicional al conjunto. Finalmente los muros recibieron un acabado con dos capas de pintura de cal. La estructura de la cubierta descansa sobre columnas exentas ubicadas en el interior de la vivienda. Los costes finales de esta vivienda resultaron ser



Figura 22: Investigadores de la Universidad de Kassel llenando sacos con tierra. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

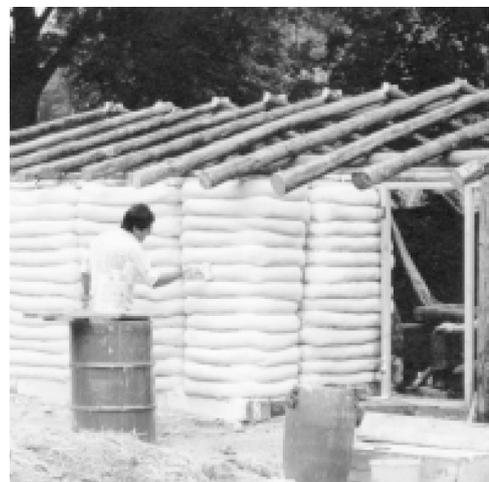


Figura 23: Investigadores de la Universidad de Kassel aplicando revestimiento. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture



Figura 24: Colocación de las mangueras rellenas de tierra de la vivienda antisísmica en Guatemala, 1978. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

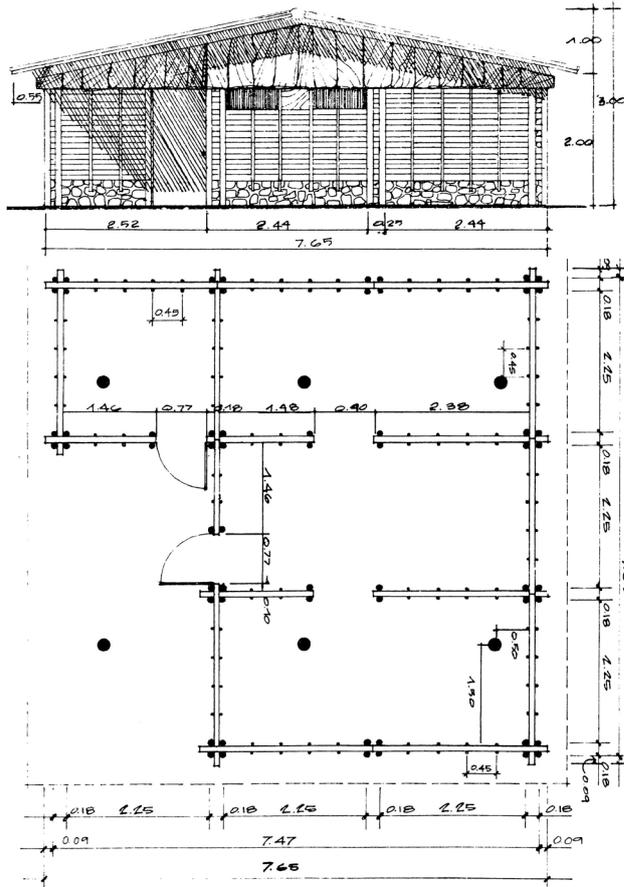


Figura 25: Planta y alzado del prototipo de vivienda antisísmica en Guatemala, 1978. Imagen original obtenida de: Ceramic Houses & Earth Architecture



Figura 26: Imagen exterior de la vivienda antisísmica en Guatemala, 1978. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

la mitad que si la vivienda hubiera sido construida utilizando bloques de hormigón”.

De acuerdo con esta descripción se puede afirmar que ya en el año 1978 esta técnica estaba lo suficientemente desarrollada como para posibilitar la construcción con éxito de un prototipo de vivienda, quedando así

demostrada su facilidad y sus posibilidades constructivas.

4.1.4. Nader Khalili y el Superadobe.

Nader Khalili fue un arquitecto iraní-estadounidense que en el año 1975 decidió abandonar su carrera profesional como arquitecto en los EEUU para emprender un viaje hacia su país de origen, Irán, con el fin de estudiar y analizar in situ las posibilidades constructivas que ofrecen las construcciones típicas del desierto.

Durante este viaje, que algunos podrían incluso calificar como místico, este arquitecto descubre que su verdadero propósito es conseguir llegar a construir refugios sirviéndose únicamente de los cuatro principales elementos de la naturaleza que son la tierra, el agua, el aire y el fuego. Las construcciones que se encontró en el desierto le sirvieron de inspiración formal para el futuro desarrollo de sus edificios.

Entre todas las construcciones tradicionales iraníes que visitó como cuenta en su libro, cabe destacar los Yakhchal o pozos de hielo. Eran unos edificios en los que se almacenaba y conservaba el hielo permitido por sus características constructivas. El agua para el hielo se obtenía o bien de las montañas o bien era traída por los qanats⁶.

El funcionamiento climático de estas construcciones se basa en el principio de enfriamiento por evaporación, al igual que un botijo. En los yaktchal el aire del interior del edificio se calienta debido a la incidencia de los rayos solares sobre la cúpula provocando movimientos ascendentes del aire más caliente hacia arriba generando corrientes de aire en las cuales el aire más caliente.

Estos pozos de hielo están conformados por dos elementos: el edificio en el que se produce el hielo y el domo en el que se almacena y se conserva el hielo. Esta última, consiste en una cúpula que posee la parte inferior enterrada bajo tierra unos cinco metros, para facilitar el mantenimiento de las bajas temperaturas. Durante los meses de invierno, se llenaban unos canales de agua que había en el edificio anexo al domo. El agua se congelaba en un par de días debido a las bajas temperaturas y entonces se procedía a cortar el hielo, que era trasladado hasta la parte inferior del domo. En la zona media de la construcción se colocaban los alimentos congelados y en la parte superior se situaban aquellos que querían mantenerse frescos.



Figura 27: Yakhchal, a las afueras de Yazd, Irán. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cc/Yakhchal_of_Yazd_province.jpg/375px-Yakhchal_of_Yazd_province.jpg

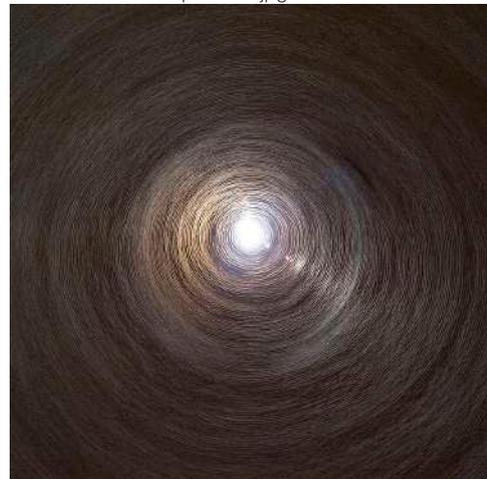


Figura 28: Interior de un Yakhchal, Irán. Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20110102_Ice_House_\(interior\)_Meybod_Iran.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:20110102_Ice_House_(interior)_Meybod_Iran.jpg)

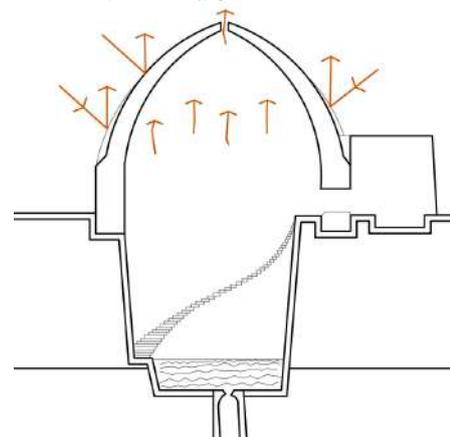


Figura 29: Esquema de funcionamiento de un pozo de hielo persa. Elaboración propia. Basada en: <http://naturalhomes.org/img/beehive-harran-turkey.jpg>

⁶ Qanat: construcción que atravesaba el desierto, característica debido a los agujeros de los que disponía en la superficie que servían para captar principalmente el agua de lluvia. El agua se conducía mediante pozos subterráneos hasta las poblaciones.

Llegados a este punto, es necesario realizar un paréntesis para incidir sobre unos edificios antiguos realizados con adobe, ubicados en la zona que se correspondería con la antigua Mesopotamia, donde actualmente se sitúa la frontera entre Turquía y Siria.

Se denominan casas colmena de adobe. Datan de mediados del siglo XVIII. Están construidas mediante unos gruesos muros de ladrillos de adobe que mantienen fresco el interior gracias a la inercia térmica que presenta la tierra. Climáticamente funcionan de manera semejante a los pozos de hielo o a los captadores de viento. Las altas cúpulas funcionan como chimeneas facilitando la salida del aire caliente al exterior. Son edificios que resisten tanto a los elevados vientos típicos de esta zona como a los terremotos. Los huecos de las carpinterías son de pequeño tamaño y cuentan con unas pequeñas aperturas en el arranque de las cúpulas para facilitar la entrada de aire frío durante la noche, propiciando así la ventilación del interior del edificio. En la actualidad todavía es posible conocer este tipo de construcciones de adobe tradicionales de esta zona.

No es posible asegurar si Khalili durante su viaje las visitó o si ya las conocía antes de desarrollar sus técnicas constructivas. Lo que sí que es evidente, es que el resultado formal entre estas construcciones y las realizadas con el Superadobe es muy similar.

A la vuelta de su viaje por el desierto de Irán, ya establecido de nuevo en California, es cuando comienza a desarrollar su investigación basada en la búsqueda de técnicas constructivas con tierra de bajo coste. Entre otras cuestiones⁷, desarrolla la técnica constructiva con sacos rellenos de tierra, que él denominó Superadobe. Sus primeras pruebas las realizó rellinando sacos de arroz con arena, sin aditivos, los cuales los llenaba, los cosía y los colocaba, lo que suponía una pérdida de tiempo y de energías. De hecho en estos primeros comienzos tal y como se describe en su página web, fueron los bomberos quienes un día vieron lo que estaba haciendo y cómo llenaba y cerraba los sacos y le enseñaron que era más sencillo colocar el saco vacío en su hilada correspondiente y a continuación llenarlo, que como él lo estaba realizando hasta ese momento. Y es que ellos estaban acostumbrados a utilizar estos sacos para la construcción de diques de contención que sirvieran para proteger frente a inundaciones.

En un principio estas construcciones estaban pensadas para dar respuesta a una posible necesidad de viviendas



Figura 30: Poblado de casas colmena en Harran, Turquía. Fuente: <http://naturalhomes.org/beehive-harran-turkey.htm>

⁷ Desarrolló la técnica constructiva Geltaftan. Al mismo tiempo comenzó a divulgar las bondades de las construcciones con tierra realizando varias publicaciones escritas, participando en congresos, conferencias y exposiciones e incluso rodando películas y documentales.



Figura 31: Proyecto Mars One. Fuente: <https://www.calearth.org/superadobe-structures-caearth>



Figura 32: Acceso a la vivienda. Fuente: <https://www.calearth.org/superadobe-structures-caearth>

en la Luna y en Marte. Como se cuenta en Cal-earth.org

“la habitación lunar y espacial se convirtió en parte integral de su trabajo. Presentó su diseño “estructuras de magma” basado en el Geltaftan y el sistema “Velcro-Adobe”, que posteriormente se convertiría en Superadobe, en el simposio de la NASA en 1984, sobre bases lunares y actividades espaciales del siglo XXI”.

En este encuentro, se pedía a los participantes que presentaran ideas sobre cómo harían una vivienda con los materiales disponibles allí.

De hecho, a principios de la década de 1990 se construyó Mars One que utilizó sacos de arroz individuales rellenos de arena, sin aditivos, como resultado de sus primeras investigaciones. Fue un prototipo para el diseño de una colonia o bien lunar o bien marciana. En el interior de la vivienda se incluyen un tragaluz, un pequeño rincón para sentarse e incluso una chimenea. Fue la primera estructura en incluir yeso “reptiling”, que como se explica en Cal-earth.org, se trata de unas pequeñas bolas de tierra utilizadas para cubrir el exterior del edificio que proporciona protección y elimina las superficies lisas propensas a agrietarse.

A partir de ese momento fue invitado a varias instituciones gracias al trabajo de investigación y desarrollo que había llevado a cabo. Entre otras cosas, fue invitado al Laboratorio Nacional de Los Alamos como científico visitante. A partir de 1984, presentó artículos y se publicó en varios simposios y publicaciones, incluidos los de la NASA y el Diario de ingeniería aeroespacial, por lo que fue galardonado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. Llegó a ser consultor de las Naciones Unidas para ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid



Figura 33: Interior de una vivienda del proyecto. Fuente: <https://www.calearth.org/superadobe-structures-caearth>



Figura 34: Proceso constructivo "water village". Fuente: <https://www.calearth.org/superadobe-structures-calearth>



Figura 35: Proceso constructivo "water village". Fuente: <https://www.calearth.org/superadobe-structures-calearth>

la Arquitectura en Tierra.

En el año 1991 fundó el Instituto de Arte y Arquitectura de la Tierra de California, Cal-Earth donde se enseñan las técnicas constructivas que él aprendió en el desierto y que tanto él como su equipo desarrollaron posteriormente.

También desarrolla de manera más práctica el Superadobe. A continuación se va a realizar un inciso para intentar comprender el origen de este término. De acuerdo con la escritora Megan Frye (2019):

“El superadobe no es muy diferente del adobe que se utiliza desde hace siglos. El adobe es un material que consiste en tierra compactada con materiales orgánicos como maíz, heno y estiércol. El superadobe también se fabrica a partir de tierra y materiales orgánicos, pero la mezcla está fortificada con cal y luego comprimida en bolsas de polipropileno”.

Se etiene, por tanto, que la decisión de denominar a esta técnica Superadobe, procede del hecho de que se refuerza estructuralmente la tierra y los materiales orgánicos con cal o con otros elementos, siendo esta la principal diferencia con respecto al adobe, aunque el proceso constructivo posterior no sea el mismo en los dos casos, ya que el adobe necesita agua para la realización de la mezcla y un posterior secado al aire, mientras que para el Superadobe no se requiere agua en ningún paso del proceso constructivo. En inglés también se utiliza el término "earthbag" que se traduce al castellano como tierra ensacada, siendo este el término más correcto para definir esta técnica constructiva.

Volviendo a Nader Khalili y su desarrollo del Superadobe, en 1995 UNHCR patrocina un programa para construir 14

viviendas para refugiados construidas con el Superadobe en Irán. A partir de entonces es cuando el Superadobe se convierte en una técnica constructiva para aplicar a la construcción de refugios de emergencia.

Según sus propias palabras, existe una solución de carácter sostenible para construir refugios humanos basada en dos condiciones: el uso de los elementos de la naturaleza implicándolos en el proceso constructivo, tierra, agua, aire y fuego; y utilizar estructuras compuestas por arcos, bóvedas y cúpulas. Además cuando se suceden desastres naturales la mayor parte del dinero destinado para ayudar a las zonas afectadas se utiliza para la reconstrucción, tanto de infraestructuras como de refugios humanos. Por tanto si se disminuye el coste de estas construcciones ese dinero que se ahorra podría invertirse en otros aspectos igualmente importantes pero que se ven privados económicamente debido a que no son tan prioritarios como el hecho de disponer de un espacio que cumpla con las condiciones de habitabilidad mínimas.

El primer proyecto con SuperAdobe vinculado al ámbito de cooperación que se materializó fue la "Water village", la villa del agua. Es la primera de dos aldeas de refugio de emergencia construidos por CalEarth. En julio de 2001, el Director de la División de Respuesta de Emergencia del PNUD con su equipo de Nueva York, participó en un taller de CalEarth para estos albergues de emergencia e incluso cada uno durmió en un albergue para probar su calidad y confort.

Coincidiendo con la descripción que se brinda sobre estas construcciones en CalEarth.org, cada cúpula ha sido diseñada de forma diferente para demostrar a su vez tanto la versatilidad del Superadobe como su simplicidad. Estas cúpulas se pueden construir en aproximadamente un día contando con de 5 a 7 trabajadores con una capacitación básica. Los edificios pueden ser tratados finalmente con un enlucido o también pueden quedar sin revestimiento en caso de ser necesarios con carácter de urgencia como refugio ante un desastre.

Los anteriormente descritos son los primeros proyectos y los más relevantes en cuanto a investigación, desarrollo y ayuda humanitaria se refiere. A partir de estos desde el instituto Cal-Earth se han realizado muchos más proyectos, mejorando la técnica constructiva y profesionalizando el proceso, creando una técnica casi estandarizada.

A día de hoy, en el instituto continúan las investigaciones



Figura 35: Nader Khalili, voluntarios y miembros del PNUD
Fuente: <https://www.calearth.org/our-founder>

sobre construcción con tierra y tanto su mujer como sus hijos siguen divulgando y enseñando las técnicas de construcción del Superadobe a través de talleres, cursos, publicaciones, videos,...

4.2. Materiales necesarios.

Habiendo estudiado el origen de la construcción con tierraensacada y cómo ha ido desarrollándose hasta nuestros días, ahora se pasa a detallar cuáles son los materiales básicos con los que realizar un edificio de acuerdo a esta técnica constructiva.

4.2.1. Tierra

La tierra, obviamente, es el material fundamental para poder realizar estas construcciones. Es un material simple y sencillo que varía sus propiedades en función de su ubicación. Según F. Jové (2010):

“La tierra no es más que el resultado de la erosión de las rocas en la corteza terrestre. Es un material cuyas propiedades dependen muy directamente del lugar donde se encuentra, de tal manera que los suelos de las laderas de las montañas tendrán un mayor contenido en arenas que los de las laderas de los ríos, que serán más arcillosos. Conocer sus propiedades será fundamental para determinar su calidad como material de construcción que, en todo caso, deberá estar siempre exento de materia orgánica y humus por lo que antes de su extracción deberá retirarse la capa superficial de tierra vegetal. La tierra, o el suelo de acuerdo con su denominación geológica, es una mezcla de partículas de diferentes tamaños: arcilla, limo y arena, que en algunas ocasiones contiene agregados mayores como grava y piedras. El mayor o menor contenido en arcilla y arena será determinante a la hora de su utilización”.

De acuerdo con esta información, antes de comenzar la construcción es necesario realizar un ensayo que sirva para determinar la proporción de arena y arcilla del suelo. Se toma una muestra de tierra del suelo, procurando que esté libre de humus o de cualquier otro elemento orgánico, y se llena un vaso o un tarro hasta la mitad con la tierra. La otra mitad del tarro que queda libre se rellena de agua. Se mueve toda la mezcla y se deja reposar hasta el día siguiente. La arena más pesada y gruesa quedará en el fondo y la arena más ligera y fina en la parte central. Los limos y las arcillas quedarán en la parte superior. Así la composición de la tierra quedará representada en distintos estratos, lo que permite conocer

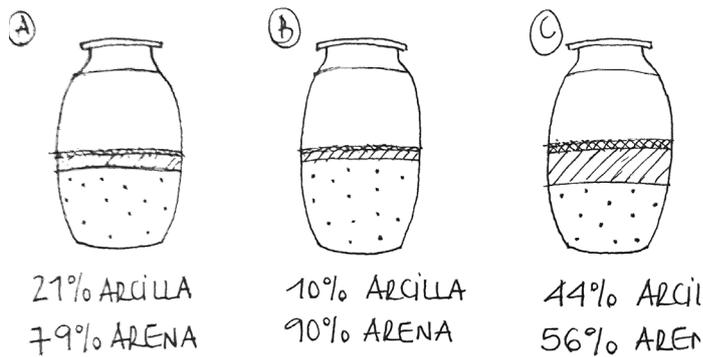


Figura 36: Imagen de un esquema con el ensayo de los tarros y las proporciones de los elementos que componen la tierra. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

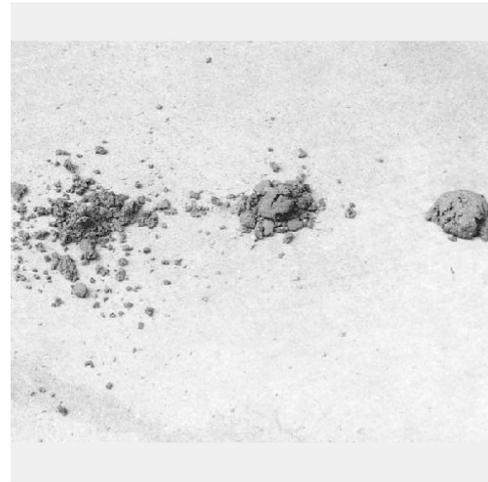


Figura 37: Imagen de los tres posibles resultados del experimento para probar la humedad de la tierra. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

la proporción en las que se encuentra cada elemento. El resultado óptimo es aquel en el que la capa fina superior supone un tercio o un cuarto de la mezcla total. Si fuera inferior, esto se traduciría en que hay demasiada arena en comparación con la arcilla y sería necesario reforzar la mezcla añadiendo más arcilla o arena gruesa o bien habría que estabilizar todo el conjunto con cal. Por norma general es necesario realizar más de un ensayo hasta que se obtiene la tierra con la proporción más ideal.

Otro factor a tener en cuenta en la composición de la tierra, es la cantidad de agua que posee. Para que la tierra sea adecuada para el proceso de construcción tiene que tener una cantidad de agua mínima en su composición para que la tierra no se fisure, pero no debe tener demasiada para evitar que el conjunto sea demasiado plástico. A continuación se va a proceder a explicar como afecta la humedad a las partículas de las que se compone la tierra para intentar comprender así porqué no es bueno que la tierra disponga ni de mucha ni de poca cantidad. Conforme con F. Jové (2010):

“La clave del comportamiento de la arcilla es su estructura interna, que es laminar hexagonal y cristalina. Estas láminas están constituidas por diferentes capas que tienen una alta cohesividad interlaminar como consecuencia de su formulación química, desplegando así una capacidad aglutinante muy alta que varía en función del tipo de arcilla. Podemos decir que la arcilla actúa como aglomerante para pegar las partículas mayores, de modo que limo, arena y otros agregados mayores constituyen rellenos en la tierra”.

“Es el agua quien activa la capacidad aglutinante del barro. Si la arcilla se humedece, el agua se desliza entre las estructuras

ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid

laminas recubriéndolas con una fina película de agua y, como consecuencia, la arcilla se expande, se hace maleable y adquiere fuerza aglutinante, es el llamado estado plástico. Por el contrario, si la arcilla se seca la distancia inter-laminar se reduce apareciendo fenómenos de retracción”.

“Por lo tanto, el contenido de agua es determinante para conocer el comportamiento del barro. Si se humedece en exceso se expande y pasa del estado sólido al plástico, y si se seca en exceso se retrae”.

Por ello para saber si el contenido de humedad es el adecuado, se puede realizar un simple experimento que consiste en coger una porción de tierra y hacer una bola con la mano. Una vez realizada la tiramos al suelo más o menos desde la altura de nuestro hombro. Si la tierra mantiene su forma sin fisuras y casi sin deformación, esto significa que el contenido de agua es el óptimo para utilizarlo como material de construcción. En caso de que el contenido de agua resulte escaso, se pueden realizar una serie de riegos suavizados, de forma continuada para favorecer la absorción del agua.

Al utilizar tierra es importante escoger la época del año adecuada en función del clima y de la localización ya que por su contenido de agua, la tierra también puede congelarse o desecarse, al igual que cuando se realizan construcciones con hormigón. Esto dificulta su manipulación y su uso en la construcción. Además durante la construcción del edificio, la tierra, por lo general, permanece al aire libre por lo que resulta conveniente evitar las épocas en las que llueve más para evitar que se humedezca, aparte de que este hecho imposibilitaría la construcción del edificio.

4.2.2. Sacos

El segundo elemento básico en estas construcciones son los sacos. Presentan la misma importancia que la tierra ya que son los encargados de contenerla y de proporcionar una mayor estabilidad estructural. Se pueden utilizar todo tipo de sacos, no obstante, se suelen utilizar sacos de polipropileno o sacos textiles de yute, de alrededor de 25 kilogramos pese a que las medidas pueden variar desde los 30 hasta los 50 centímetros de longitud. En ocasiones se opta por la utilización de sacos de mayores longitudes para la realización de dinteles. Por otro lado tenemos los sacos más largos, que tienen varias denominaciones: tubos, mangueras o bolsas largas o continuas. Al igual que los sacos de menor tamaño también están fabricados de polipropileno, pero también se pueden encontrar



Figura 38: Imagen del comienzo de construcción de una vivienda con todos los elementos necesarios dispuestos. Fuente: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/ARI602.html>

tubos de yute o de algodón. A pesar de que en todas las construcciones se les llama sacos, en realidad nos referimos a estos tubos o mangueras del mismo ancho que los sacos que o bien pueden comprarse con la medida de la longitud deseada o bien vienen en un rollo y según se van llenando y completando los sacos se cortan y se rematan.

En todos los casos es necesaria una protección de los sacos frente a los rayos UV, ya que la exposición solar degrada el tejido de los sacos lo que produce una rotura de sus costuras y el consecuente arpaado del saco, resultando así inservibles e ineficaces, desembocando graves problemas en el conjunto construido.

4.2.3. Alambre de púas

El alambre de espino de acero galvanizado se utiliza para proporcionar agarre entre los sacos teniendo un importante papel estructural ya que se encargan de mejorar el funcionamiento de los muros de carga. Va colocado entre las hiladas de los sacos y se colocan dos tiras de alambre paralelas entre sí. Al igual que ocurre con los redondos de acero corrugado en el hormigón armado, el alambre se encarga de aportar la resistencia a tracción de la que carece la tierra. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas, ante climas húmedos y lluviosos para evitar la futura oxidación de los alambres, estos pueden ser sustituidos por mallas de plástico evitando así su posible deterioro.

El alambre que se utiliza, es comunmente conocido como alambre de espino de 4 púas, de calibres 12,5 ó 15,5. Como elementos auxiliares para la fase de colocación de los



Figura 39: Detalle de colocación de las dos hiladas de alambre. Fuente: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/ARI602.html>



Figura 40: Imagen de las herramientas necesarias (alambre, tenazas, sacos y latas para llenarlos y pisones). Fuente: <https://www.calearth.org/intro-superadobe>

alambres, son necesarias piedras o ladrillos que hagan de contrapeso para evitar que se muevan los alambres durante el proceso de construcción.

4.2.4. Elementos auxiliares

En este apartado se describen todos los elementos manufacturados o no necesarios para poder completar la construcción del edificio con los sacos de tierra.

- Apeos y cimbras: para hacer los huecos son necesarios elementos auxiliares de carácter temporal hasta que los sacos han adquirido la forma del hueco, que normalmente suele ser un arco. Para ello se colocan unos elementos auxiliares de madera que como máximo se tienen ahí durante dos días.
- Placas de conexión: son elementos de anclaje que se colocan en aquellos puntos que tienen uniones delicadas donde son necesarios elementos adicionales. Las encontramos en las partes del muro cercanas a las carpinterías conectando el marco al muro, en las uniones entre pilares o contrafuertes con los muros, en caso de que existieran elementos estructurales adicionales, o en caso de existir dos filas de muros paralelas se utilizan para conectarlas entre sí. Estas placas se clavan a los sacos con clavos galvanizados. Suelen ser de madera, de hasta 2,5 cm de espesor y de 30 a 40 cm de largo.
- Sacos trapezoidales: sacos con forma trapezoidal, cuya base es más estrecha que la parte superior. Se utilizan en los huecos para conseguir la forma de arco más fácilmente, para conseguir cerrar el arco como piezas "clave", al igual que en los arcos de piedra tradicionales.
- Malla de alambre: malla que se utiliza en aquellos puntos en los que el revoco necesita una superficie a la cual adherirse por falta de continuidad en la superficie de los sacos. Suele ser metálica.

4.2.5. Herramientas necesarias

En este apartado se describen aquellos elementos que son necesarios para poder construir el edificio pero que no tienen que ser necesariamente comprados como tal. De hecho, en la mayoría de los casos, suelen estar realizados por las personas que trabajan en la obra y son elementos reciclados, procurando así reducir el consumo de recursos materiales.



Figura 41: Elementos auxiliares (sujetador, deslizador, latas con tierra y pisón). Fuente: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/AR1602.html>

- Sujetadores de sacos: mantienen el saco abierto de forma vertical facilitando su llenado. Suelen ser metálicos o de madera.
- Latas o palas: se utilizan para el llenado de los sacos con tierra.
- Deslizador: instrumento que se coloca sobre los alambres mientras se están colocando y llenando de tierra los sacos para evitar los sacos se enganchen en el alambre de púas y se rasguen. Suelen ser metálicos.
- Pisones: instrumentos que sirven para compactar la tierra del interior del saco una vez que el éste ha sido colocado en el muro. Están compuestos por un palo y una base pesada, pueden ser de madera con una base metálica o un perfil metálico con una base plana,...
- Plomadas: elementos que se utilizan para sujetar las tiras de alambres mientras se van colocando los sacos. Están compuestos de una cuerda con contrapesos en sus extremos, que suelen ser piedras, ladrillos,...
- Compás de construcción: se utiliza para mantener en todo momento de la construcción la forma circular. Consta de un poste central y un brazo con forma de "L" invertida. Este brazo suele ser ajustable para ir adaptándolo a los diferentes radios que conforman la sección de la cúpula. Suelen ser necesarios dos compás. Uno para trazar los círculos en planta en el plano horizontal, y el otro para trazar los círculos en sección en el plano vertical. Todos los elementos que conforman el compás suelen ser metálicos.

4.3. Desarrollo constructivo

Una vez que ya disponemos de todos los materiales y las herramientas necesarias anteriormente descritas para poder ejecutar el edificio, se puede pasar ya a la construcción como tal. Como ya se ha mencionado, una de las primeras cosas que hay que realizar es tomar muestras de tierra para, mediante ensayos, averiguar cuál posee la dosificación más adecuada para utilizarla en la construcción. También conviene al principio realizar una maqueta capaz de reflejar el trabajo que vamos a realizar posteriormente, que guíe y clarifique el proceso constructivo, la geometría del edificio, determinar la ubicación de los huecos,...

Como en todos los procesos constructivos, lo primero que hay que hacer es el replanteo de nuestro edificio. Si vamos

a construir una cúpula o varias intersecadas lo primero que hay que hacer es trazar los círculos en el suelo. Para ello es necesario montar el compás y trazar el círculo con el radio interior y el círculo con el radio exterior. Una vez que se ha realizado el replanteo, se pasa a la excavación para crear las zanjas de la cimentación.

4.3.1. Cimentación

Sabiendo el tipo de suelo en el que vamos a construir gracias al estudio geotécnico, podemos determinar la cimentación más adecuada en función de sus características. En este tipo de construcciones, la cimentación tiene carácter superficial, salvo cuando el nivel freático está cerca de la superficie y es necesario realizar una cimentación más profunda. Por lo general la cimentación más utilizada consiste en una zapata corrida perimetral que bien puede estar constituida por los sacos rellenos de tierra o bien puede estar realizada con hormigón armado, aunque esta última opción no es la más recomendable. A continuación se explican los tres tipos de cimentación más utilizadas:

- Zapata corrida perimetral de sacos. Si estamos realizando una construcción con sacos de tierra donde uno de los objetivos es causar el mínimo impacto ambiental, lo correcto es escoger este tipo de cimentación, produciéndose así una continuación con la técnica constructiva. El procedimiento para realizar esta zapata es muy simple. Se excava la zanja de cimentación con la profundidad adecuada, por lo general suelen ser alrededor de 30 cm, y a continuación se introduce el saco vacío en la zanja y se empieza a llenar con la tierra. A veces se opta por reforzar estos sacos rellenándolos con grava u otros elementos que aporten una mayor resistencia estructural. Después se coloca aislante en la cara exterior de los sacos y se protege con una lámina impermeable. Además, se suele instalar un tubo drenante alrededor de todo el perímetro de la zanja. El espacio que queda entre los sacos y la pared de la cimentación se rellena con grava. Dependiendo de la composición de la tierra, si esta no mostrara suficiente resistencia habría que reforzarla con cal.
- Relleno con grava. Esta es una cimentación muy sencilla que consiste en realizar una zanja perimetral y a continuación rellenarla con grava colocando en el perímetro un tubo drenante. Sobre esta grava se colocan directamente los sacos rellenos de tierra.

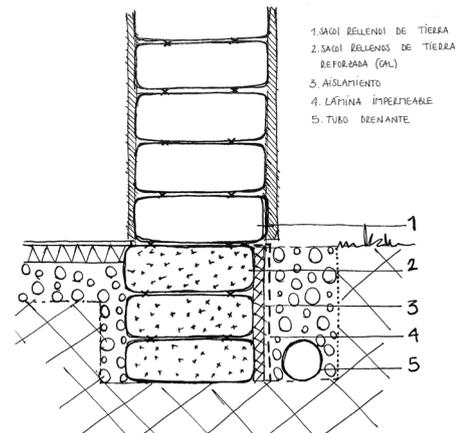


Figura 42: Detalle de cimentación con zapata perimetral de sacos de tierra reforzada. Elaboración propia

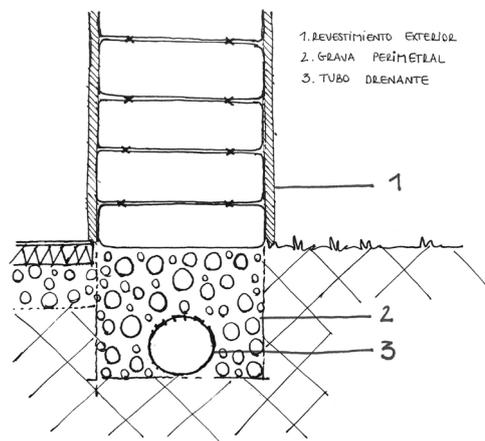


Figura 43: Detalle de cimentación con zanja de grava. Elaboración propia

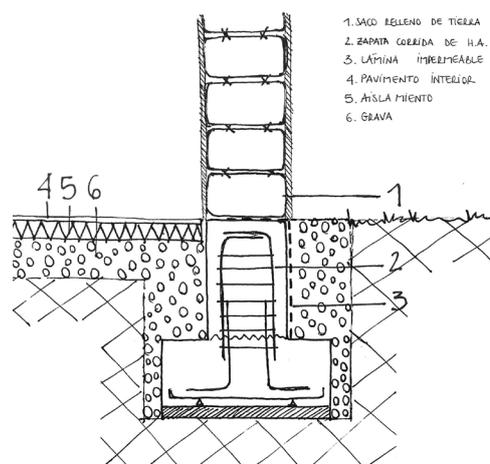


Figura 44: Detalle de cimentación con zapata perimetral de hormigón. Elaboración propia.



Figura 45: Imagen del proceso de cimentación utilizando sacos de tierra. Fuente: <https://dornob.com/cal-earth-reopens-to-provide-low-cost-eco-building-inspiration/>

- Zapata corrida perímetro de hormigón armado. Una vez realizada la zanja se colocan las armaduras y se vierte el hormigón. La diferencia radica en que en este caso estamos utilizando un material contaminante y además estamos dejando una huella en nuestro suelo.

4.3.2. Levantamiento del edificio

El siguiente paso cuando ya se ha realizado la cimentación consiste en realizar el levantamiento de los muros. Si la cimentación se ha realizado con sacos rellenos de tierra, únicamente hay que seguir levantando el edificio continuando con el mismo procedimiento constructivo, que se procede a detallar a continuación.

Se coloca el saco vacío de pie, en el lugar en el que va la hilada del muro, para facilitar el llenado del mismo con ayuda de la fuerza de gravedad. Una vez que ha sido llenado, se coloca horizontalmente y se pliegan las esquinas para que quede bien cerrado. Es importante revisar que las esquinas de los sacos quedan bien plegadas hacia el interior sin que queden los picos hacia fuera, ya que esto facilita el adherimiento del revoco en la fase de revestimiento. Cuando una hilada ha sido completada con ayuda de pisones se va comprimiendo la tierra de forma manual. También existen unas máquinas que realizan esta compresión de forma mecánica siendo más eficaces y ahorrando tiempo. Es muy importante que la tierra quede bien compacta porque así funcionará mejor estructuralmente evitando que se desmorone y conformando una estructura resistente. Una vez que se ha completado y compactado toda la hilada, se corta el alambre y se colocan dos tiras de alambre paralelas entre



Figura 46: Proceso de llenado de un saco donde aparecen dos elementos el sujetador de sacos y el deslizador. Fuente: https://www.taringa.net/+ecologia/me-hice-una-casa-de-superadobe-actualizado_u2mgz

sí a lo largo de toda la hilada. Para evitar que el alambre se mueva de su sitio, se ponen pesos o plomadas con frecuencia para que los alambres queden bien sujetos.

Al ejecutar la siguiente hilada de sacos se suele instalar un elemento auxiliar que ante la falta de nombre oficial he decidido designar como "deslizador". Su función es evitar que el alambre rasgue el saco cuando éste se está llenando, colocándolo entre el alambre y el saco facilitando su colocación. Cuando el saco ha sido llenado y se han plegado las puntas hacia adentro, se quita el deslizador. Así se van colocando sucesivamente las hiladas.

Es necesario prever la ubicación de los huecos colocando los marcos de las carpinterías o en su defecto estructuras auxiliares de carácter temporal, para ir adaptando los sacos de tierra a los huecos. Con ayuda del compás, es necesario comprobar en todo momento la geometría de la cúpula, tanto en planta como en sección. Para generar la curvatura en el plano vertical lo que se hace es seguir una antigua técnica de construcción de cúpulas, que se explica más adelante, que consiste en ir retranqueando progresivamente las hiladas de forma que el edificio se termina en la parte superior cuando se encuentran los sacos de la última hilada.

La altura que suelen alcanzar estas construcciones suele variar desde los 3,5 hasta los 5 metros.

4.3.3. Carpinterías

Dependiendo de la longitud del hueco, en ocasiones es necesario poner dinteles de madera que recogen el peso de todos los sacos situados por encima del hueco, evitando así tener que colocar sacos de mayor longitud que actúen como si fueran un dintel. Siguiendo la filosofía constructiva de este tipo de construcciones consistente en el aprovechamiento de recursos y la utilización de materiales reciclados, se puede utilizar como dintel trozos de pallets. Estos elementos tienen que tener un espesor mínimo de $\frac{3}{4}$ el espesor del muro y deben prolongarse a cada lado del hueco alrededor de 30 cm para poder colocar las placas de anclaje que facilitan su unión a los muros de sacos. Además, las placas protegen los sacos del contacto directo con el dintel y a la vez, distribuyen las cargas hacia los muros.

Las ventanas van colocadas en un marco, previamente unido con placas auxiliares de madera, aunque también pueden colocarse directamente con yeso. En la parte

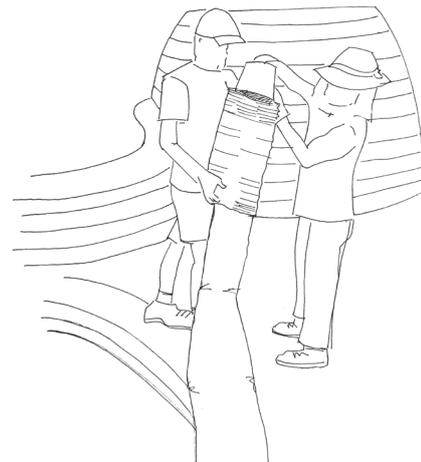


Figura 47: Ilustración que muestra el proceso de llenado de sacos. Elaboración propia.



Figura 48: Placa de anclaje de madera para colocar las futuras carpinterías. Imagen original obtenida de: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/ARI602.html>

inferior de la ventana lo correcto es colocar un vierteaguas, esto no varía con respecto a otras construcciones. A modo de curiosidad, también se pueden ejecutar otro tipo de huecos, rellenándolos con botellas de vidrio de diferentes colores, para lo cual una vez realizado el hueco, este se completa con una mezcla de mortero y barro y se van colocando las botellas obteniendo así un colorido efecto creando un agradable ambiente interior.

Para colocar las puertas, al igual que cuando se ejecutan las ventanas, el marco tiene que estar atornillado a las placas de anclaje de madera que ya habían sido previamente colocadas entre las hiladas de sacos.

Las estanterías, los armarios y los demás elementos que se vayan a apoyar estructuralmente en el muro y que se realizan en fase de obra, también van ancladas a los muros utilizando placas de anclaje. Para conectar las esperas con los muros. Estas esperas se dejan vistas y a ellas se van trabando los elementos que componen el elemento en cuestión.

4.3.4. Cubiertas

En este apartado se describen aquellas cubiertas que pueden realizarse en estos edificios cuando la tipología que se ha utilizado no es una cúpula completa y por lo tanto precisa la ejecución de una cubierta. Suelen ser edificios de planta rectangular o circular, siempre regular, y que en el plano vertical no presentan una sección variable.

La subestructura suele ser de madera. Es necesario tener en cuenta que construir una cubierta de estas características supone un aumento económico en comparación con lo que supone construir todo el edificio utilizando los sacos rellenos de tierra.

A continuación se describen las dos alternativas más habituales para resolver las cubiertas. En ambos casos la tipología es de cubierta inclinada. El factor que más condiciona su elección es el clima.

- Cubierta inclinada tradicional. Para terminar el muro de tierra ensacada se coloca una viga de atado en la parte superior, que además se encarga de unir las dos caras del muro. Puede ser de madera o de hormigón armado. Sobre esta viga se coloca la subestructura de la cubierta de madera sobre la cual se coloca el acabado tradicional, generalmente de tejas.
- Cubierta inclinada con acabado vegetal. Realizar esta



Figura 49: Botellas de colores utilizadas para iluminar y decorar el espacio interior. Fuente: <https://dornob.com/calearth-reopens-to-provide-low-cost-eco-building-inspiration/>

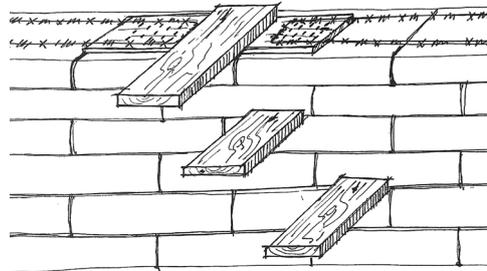


Figura 50: Detalle de colocación de esperas para escaleras. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

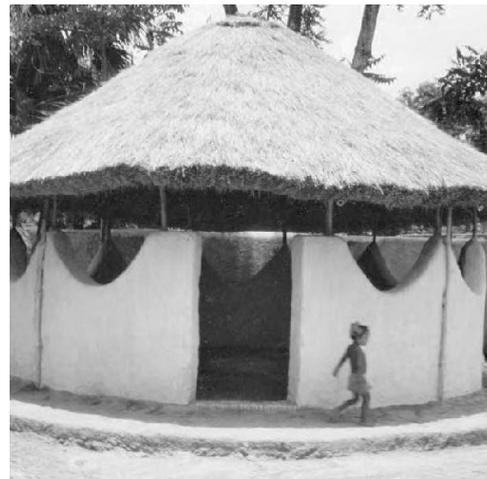


Figura 51: Vivienda con cubierta inclinada vegetal. Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

cubierta es posible cuando estamos realizando un edificio de planta circular y no rectangular. Se colocan las vigas de madera con directriz diagonal de forma que el extremo exterior de las vigas queda apoyado en el muro mientras que en el interior van creando un hueco de planta circular donde se sitúa un zuncho circular que recoge y sujeta todas las vigas. Así la subestructura de la cubierta se sostiene gracias a su propia geometría. Al igual que todos los elementos auxiliares anteriormente nombrados que necesitan ir unidos al muro, las vigas quedan unidas al muro mediante placas de anclaje de madera que se unen a su vez a ellas utilizando clavos de acero galvanizado. En el extremo interior, las vigas se recogen y se atan con un elemento de madera circular, a modo de viga de atado. Estas cubiertas suelen ser realizadas en lugares con climas cálidos donde no es necesaria una protección frente al frío, ya que por lo general suelen acabarse utilizando elementos vegetales, como en las cabañas del Caribe. Además estas cubiertas permiten el aprovechamiento del vacío central para colocar elementos translúcidos que permitan el paso de luz.

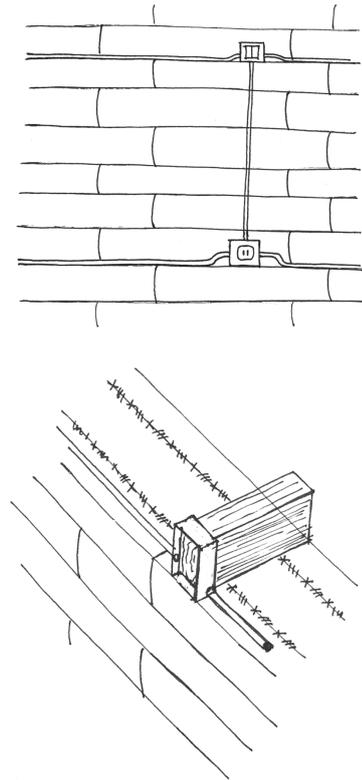


Figura 52: Colocación de tubos de las instalaciones de electricidad durante el levantamiento del muro. Elaboración propia basada en imágenes de Ceramic Houses & Earth Architecture

4.3.5. Instalaciones

Al igual que en el resto de los edificios, en este tipo de construcciones también es importante el diseño de las instalaciones. Aparte de la necesidad de cálculo y diseño intrínseca en todos los proyectos de instalaciones, es necesario prever la ubicación de todos los elementos que van instalados sobre el muro o ejecutados mediante rozas para que el muro quede nivelado y el edificio resulte un conjunto bien ejecutado. Como es el caso de la instalación eléctrica, donde es necesario prever la ubicación de los enchufes, las salidas, los pulsadores y demás elementos. En las instalaciones de fontanería y saneamiento, que se realizan en las primeras fases de construcción del muro y afectan a la cimentación y a las primeras hiladas del muro, es necesario prever su ubicación para la colocación de los tubos durante la fase de obra.

En realidad lo que se acaba de describir son situaciones a las que también hay que enfrentarse cuando se está construyendo un edificio cualquiera. Aunque el hecho de encontramos ante una construcción poco común, permite o facilita que se exploren soluciones diferentes, como por ejemplo, estudiar y ejecutar sistemas de tratamiento de agua alternativos a los tradicionales que sean más amables con el medio ambiente como pueden



Figura 53: Aplicación del revestimiento exterior de barro y paja con una llana.
Fuente: Ceramic Houses & Earth Architecture

ser el filtrado de aguas residuales con lechos de arena o turba, filtros verdes, humedales artificiales,...

4.3.6. Revestimientos

Los muros ejecutados mediante sacos rellenos de tierra, necesitan un revestimiento, que les proteja tanto exterior como interiormente. Una vez completado todo el muro, los sacos se cubren con una malla que facilita la adhesión de los revestimientos al muro para proporcionar así un acabado final continuo.

4.3.6.1. Revestimientos exteriores

El revestimiento exterior cumple la función de proteger a los sacos de tierra frente a las inclemencias meteorológicas, aparte de su evidente función decorativa. A continuación se detallan los revestimientos exteriores más comunes, cuya elección se realiza en función del clima y de la disponibilidad de los materiales:

- Barro: es un material que absorbe y permite la transpiración a través de los muros. Se encarga de regular la humedad del ambiente interior. Correctamente ejecutados este tipo de enlucidos ofrecen buena resistencia ante el paso del tiempo y ante las inclemencias meteorológicas. Se puede aumentar la resistencia de estos morteros añadiéndole durante su preparación pequeñas fibras trituradas, que pueden consistir simplemente en pelo de animales o paja.
- Arcilla, arena y fibras: en estos revestimientos la arcilla es el componente principal, la arena se encarga de proporcionar resistencia a la abrasión y fuerza de compresión mientras que las fibras proporcionan



Figura 54: Preparación de la mezcla del revestimiento.
Fuente: Ceramic Houses & EarthArchitecture

esfuerzo de tracción y ayudan a resistir mejor la erosión. La fibra que más se utiliza es la paja aunque también se pueden utilizar trozos de hierbas, serrín, papel triturado, corteza de árbol, pelo corto de animales,...

- Cal: el revestimiento de cal es un acabado que con el tiempo proporciona una elevada resistencia. Es uno de los revestimientos más utilizados. Permite la transpiración del vapor de agua, mientras que impide la entrada de agua en forma líquida. Para poder realizar el enlucido con cal es necesario mezclarla con arena. Al igual que en el enlucido con barro, se puede reforzar el conjunto añadiendo pequeñas fibras trituradas, las mismas ya nombradas anteriormente. Además la cal puede ser tintada para proporcionar color buscando crear un efecto estético y decorativo.
- Cemento: no es el mejor material para realizar los revestimientos, ya que se trata de un material impermeable que impide la transpiración del espacio interior. Además, mientras que el vapor de agua no traspasa la barrera creada por el cemento, el agua en estado líquido sí que lo hace, por lo que no aporta ningún beneficio en cuanto a la mejora de la calidad del aire del interior. Aparte de estas razones, no es lógico utilizar el cemento en estas construcciones disponiendo de otras opciones más sostenibles y beneficiosas tanto para el medio ambiente como para la calidad del edificio.

4.3.6.2. Revestimientos interiores

Al igual que se protege la cara exterior de estos muros, también se cubre la cara interior. Al igual que ocurre con los revestimientos exteriores existen varios tipos de revestimientos a realizar que se escogen en función de la disponibilidad de los materiales, los costes,...

- Fat plaster (yeso grueso): Revestimiento creado por Kaki Hunter y Donald Kiffmeyer⁸ que consiste en un grueso estrato de yeso que se aplica en dos capas. Es un revestimiento duradero, resistente a las humedades y de fácil aplicación. Este revestimiento se compone de: paja picada, hierbas de pequeño tamaño y celulosa de papel. De igual manera que en los revestimientos exteriores, la paja aporta fuerza de tracción en todo el conjunto, las hierbas también suman fuerza de tracción a la vez que hacen la masa más maleable y el papel de celulosa lo que consigue es que la mezcla quede más mantecosa y fácil de trabajar. Es necesario ventilar las

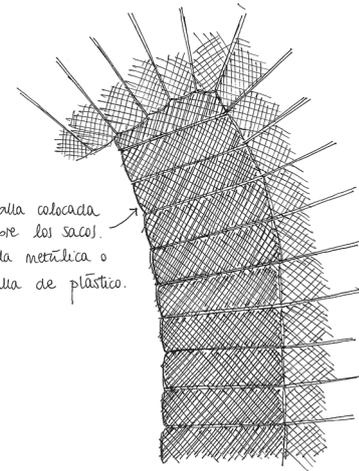


Figura 55: Esquema de colocación de la malla sobre los sacos de tierra para facilitar el agarre del revestimiento. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture



Figura 56: Aplicación de revestimiento interior a base de barro. Fuente: <https://ecoinventos.com/earthbag-aprende-a-hacer-una-casa-con-sacos-de-tierra/>

estancias tras él la aplicación de este revestimiento, para que el yeso pueda curar correctamente evitando futuros problemas de humedades o la posible aparición de hongos y moho.

- Fine plaster (yeso fino): este revestimiento consiste en una mezcla de arcilla y arena fina, previamente tamizada. El tamaño de los granos de arena condiciona el grosor del revestimiento.
- Yeso: puede ser aplicado directamente en los sacos de tierra. El problema de utilizarlo sólo sin aditivos añadidos es que es necesario aplicarlo en un tiempo determinado, al igual que el cemento, por lo que requiere tiempos de ejecución más ágiles que condicionan su realización.
- Arcilla con caseína: la combinación de arcilla con caseína forma una mezcla fuerte y resistente para actuar como revestimiento. La caseína es una proteína que se encuentra en la leche de los mamíferos y que presenta un alto contenido en fósforo. Actúa como aglutinante. Ayuda a repeler el agua líquida pero permite el paso del vapor de agua, facilitando así la transpiración y contribuyendo a la mejora de la calidad del ambiente interior.
- Cal: al igual que en los revestimientos exteriores, en los interiores también se puede utilizar cal, presentando las mismas propiedades y características. Tanto en revestimientos exteriores como en interiores, es el material que más se utiliza.

4.3.6.3. Suelos

Lo ideal es que si hemos realizado el edificio utilizando la tierra como materia prima principal, el acabado del suelo esté realizado utilizando un derivado de esta. Lo habitual es utilizar adobe. Dejando a un lado las cuestiones acerca de cómo será el acabado final, el suelo consta de tres capas básicas:

- Barrera frente a la humedad. Muchas de las patologías encontradas en los suelos compuestos de tierra se deben principalmente a problemas por el ascenso de la humedad. Como se ha comentado en anteriores capítulos unos de los problemas que presentan las construcciones de tierra es su falta de resistencia frente a la humedad. Para evitar el ascenso por capilaridad, es necesario colocar una barrera entre el suelo y nuestro acabado. Una vez que el suelo ha sido nivelado se vierte una capa de grava lavada, con un



Figura 57: Colocación de la grava en el suelo. Imagen original obtenida de: <https://ecoinventos.com/earthbag-aprende-a-hacer-una-casa-con-sacos-de-tierra/>

⁸ Autores del libro Earthbag building

espesor mínimo de 10 cm. Las piedras tienen que tener un tamaño medio de 2 cm, ya que cuanto mayor es el hueco entre piedra y piedra, más difícil le resultará a la humedad realizar el ascenso.

- **Aislamiento.** El aislamiento no es un elemento estrictamente necesario aunque sí que es recomendable. En caso de que se decida no colocarlo, se vierte la capa de acabado directamente sobre la grava. Tiene una importante función termorreguladora y protectora. La tierra mantiene una temperatura media aproximada entre 11 y 14 °C. En verano esto puede resultar un estado ideal si nos encontramos en un clima cálido, pero en invierno no resulta nada confortable. El aislamiento se encarga de amortiguar la diferencia de temperatura entre la tierra y el ambiente interior para conseguir un espacio más aclimatado. Puede utilizarse cualquier tipo de aislamiento, pero lo más adecuado de acuerdo a la lógica constructiva, es utilizar un aislamiento de carácter natural como el que se va a describir a continuación: la mezcla de paja con adobe. Esta unión da como resultado un aislamiento de bajo coste y de fácil ejecución. Su aplicación es muy sencilla. Sobre la grava se acomoda una capa de paja sola para cortar el posible ascenso de la humedad. A continuación se procede a distribuir la mezcla de adobe con paja. La proporción de este conjunto suele ser un 25-35% arcilla frente a un 65-75% suelo arenoso. Partiendo de esta base de tierra, se va añadiendo paja hasta obtener el conjunto más adecuado en función del acabado final. Esta capa de aislamiento suele tener entre 10 y 15 cm de espesor. El clima va a condicionar el tiempo que tarda la mezcla en curar, en un clima seco tarda un par de días mientras que en un clima húmedo esto se puede alargar un par de semanas. Con el fin de evitar la aparición de humedades y moho se añade sal de boro durante la mezcla. Para comprobar si la capa de aislamiento está curada se golpea el conjunto y si el sonido que se produce es hueco, esto indica que ya ha finalizado el proceso de curación.

- **Acabado.** Una vez que la capa de aislamiento ya está seca se procede a ejecutar la que se supone que es la última fase del proceso. En las siguientes líneas se describe el proceso de ejecución de los dos acabados más utilizados que son: el acabado a base de tierra y el acabado formado por piedras o azulejos.

En el acabado a base de tierra, la composición ideal de la tierra viene a ser 25 % arcilla y 75% arena. El grosor



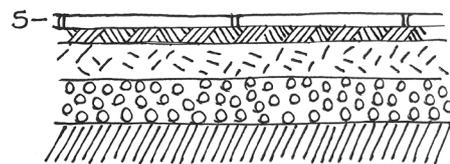
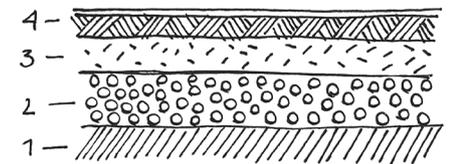
Figura 58: Ejecución de la capa aislante con barro y paja. Imagen original obtenida de: https://heartwoodhomesteads.files.wordpress.com/2009/12/img_1069.jpg

de la arena, al igual que en el revestimiento interior de yeso, va a condicionar el espesor de la capa. Para proporcionar cohesión y resistencia, al igual que en los revestimientos anteriores, se puede añadir paja picada de pequeña longitud. Es recomendable realizar pruebas con la mezcla antes de verter el conjunto al pavimento. La ejecución se realiza mediante varias capas finas. Antes de ejecutar cada nueva capa se hay que humedecer la anterior para que así la arcilla absorba la humedad y actúe como pegamento entre las dos capas. Se pueden añadir pigmentos en la última capa para darle un toque de color o bien se puede optar por realizar patrones o dibujos en el suelo para darle un acabado más decorativo. Los suelos con acabado de tierra compactada, producen polvo y presentan falta de resistencia ante los golpes e impactos, produciendo un deterioro progresivo. Para evitarlo, es necesario realizar una compactación o sellado del pavimento. Esta compactación se produce mediante la aplicación de varias capas de aceite de linaza, el cual proporciona dureza e incrementa la resistencia. Para que el aceite de linaza se integre correctamente en el suelo se le suele añadir una pequeña proporción de disolvente cítrico, natural y sin añadidos químicos, que lo disuelve y facilita su absorción, evitando así el uso de disolventes derivados del petróleo con sus químicos respectivos. Al aplicar el aceite en el suelo de tierra se produce un oscurecimiento de su color natural, lo cual se puede evitar añadiendo caseína a la mezcla, que protege el color sin impedir que el aceite cumpla su función. Suele ser necesario ejecutar tres capas. Con el aceite el suelo tiende a quedar pegajoso, por lo que es necesario aplicar una última capa de un acabado natural compuesto a base de resinas que aporta resistencia, dejando el suelo pulido, permitiendo su lavado y limpieza. Como en los anteriores pasos, es importante que cada capa esté bien seca antes de aplicar la siguiente. El secado, está condicionado por el clima, variando desde las 24 horas hasta las 48.

En el acabado con piedra lo que se hace es verter una capa de tierra de iguales características que en el caso anterior y en vez de ir nivelando y vertiendo varias capas, se ejecuta una única capa hasta que quedan alrededor de 65 cm para llegar a la altura a la que debiera estar el pavimento. En ese nivel se coloca una capa de piedras o de azulejos, dependiendo del acabado deseado y se nivela todo. Una vez que está seco, se procede a verter otra capa de tierra y cuando



Figura 59: Colocación de un suelo de baldosas cerámicas. Imagen original obtenida de: <https://ecoinventos.com/earthbag-aprende-a-hacer-una-casa-con-sacos-de-tierra/>



- 1- SUELO
- 2- GRAVA
- 3- BARRO Y PAJA
- 4- ACABADO DE TIERRA
- 5- ACABADO CERÁMICO

Figura 60: Detalles con los dos tipos de acabado de suelo explicados. Arriba con acabado de tierra y abajo con acabado cerámico. Elaboración propia.

se va a llegar al nivel del pavimento, se coloca la capa definitiva del acabado. Una vez terminado este proceso y cuando las capas están bien secas, se procede a realizar el sellado de las juntas. Para ello se utiliza una pasta a base de tierra compuesta por arcilla (25%) y arena (75%). Al igual que en anteriores revestimientos, añadiendo caseína al conjunto, se consigue que este repela el agua líquida. El procedimiento de aplicación es el mismo que en las pastas convencionales.

Como viene comentándose en varias de las etapas del proceso constructivo, las técnicas que se han descrito son las más coherentes y adecuadas a realizar de acuerdo con la filosofía constructiva de estos edificios. Que no aparezcan aquí nombrados, no implica no haya más mezclas o revestimientos que se puedan utilizar, como morteros de cemento u otros elementos químicos derivados del petróleo, pero la utilización de los mismos supondría romper la filosofía y la coherencia constructiva del edificio.

Otro dato a destacar de este apartado de acabados, es que la proporción de los elementos que componen la tierra se viene repitiendo en todos los casos y es que como ya se ha mencionado, esa es la proporción ideal de tierra a utilizar.

4.4. Funcionamiento y comportamiento estructural

Ahora que ya se ha analizado y detallado el proceso para realizar construcciones utilizando tierra ensacada se pasa a comprender de forma global cómo funcionan estructuralmente los edificios construidos con esta técnica que formalmente van componiendo cúpulas.

La característica de estas construcciones que más llama la atención cuando vemos un edificio así, es su componente formal. Pueden estar formados por una única cúpula o pueden ser el resultado de la intersección de varias cúpulas. Una cúpula en realidad es un arco que rota sobre sí mismo. Por ello, para poder entender el funcionamiento estructural de las cúpulas, primero es preciso conocer cómo funciona estructuralmente un arco.

4.4.1. Arcos y cúpulas

Los arcos son piezas que funcionan por compresión pura pero que necesitan unos refuerzos laterales que aporten la resistencia necesaria para evitar la apertura del arco

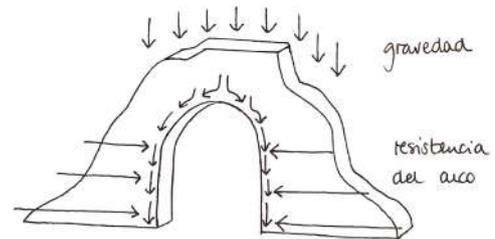


Figura 61: Esquema de distribución de cargas en un arco. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

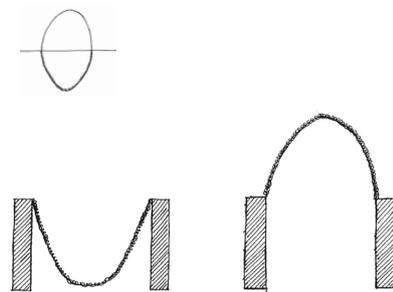


Figura 62: Analogía del cable colgante de Hooke. Elaboración propia.

debido a las fuerzas de compresión que sobre él actúan. La distribución de cargas se realiza de la siguiente manera: la pieza clave del arco queda sometida a la acción de estas fuerzas de compresión, esta fuerza se va descargando en las piezas laterales y así se va transmitiendo por todas las piezas. Estos esfuerzos son contrarrestados con los que generan los refuerzos del arco que comprimen la parte inferior de los arcos contrarrestando las fuerzas horizontales y evitando el desmoronamiento del arco. Así se consigue que todas las piezas del arco funcionen por compresión. De esta forma, los empujes verticales a los que estaba sometido el arco inicialmente pasan a ser de nuevo fuerzas verticales.

Cuanto antes vuelvan los esfuerzos a su dirección original mejor. Los arcos góticos o los arcos ojivales funcionan mejor desde el punto de vista estructural que los arcos de medio punto, ya que la reconversión de los esfuerzos de nuevo en cargas verticales se produce más rápidamente debido a la forma en sí misma de este tipo de arcos.

Para comprender el funcionamiento estructural de un arco es necesario referirse a la analogía del cable colgante que realizó Hooke en el siglo XVII. Él se preguntaba cuál sería la forma ideal de un arco y cuál es el empuje que produce contra los estribos. Hooke resume la respuesta de forma muy sencilla: "Del mismo modo que cuelga el hilo flexible, así, pero invertido, se sostendrá el arco rígido". De acuerdo con Santiago Huerta (2004),

"un cable pesante toma la misma forma que una cadena colgante, que es una catenaria. Al invertir esta catenaria se obtiene un arco cuyas ecuaciones de equilibrio no varían: lo que eran esfuerzos de tracción pasan a serlo de compresión y la fuerza que en el cable trata de unir los apoyos, en el arco catenario los empuja intentando separarlos".

Habiendo comprendido el funcionamiento estructural de un arco, se pasa a estudiar el comportamiento estructural de una cúpula, que es el resultado formal del giro de un arco sobre su eje central, por ello, el funcionamiento estructural es similar al de un arco.

La analogía del cable colgante de Hooke es extrapolable para comprender el funcionamiento de las cúpulas, que también funcionan a compresión. Tienen un elemento central que se denomina dovela. Los esfuerzos se transmiten a lo largo de toda la superficie de forma similar a los arcos, por lo que también necesitan unos refuerzos que transmitan fuerzas horizontales en la zona cercana a los apoyos que faciliten la transmisión de las cargas.

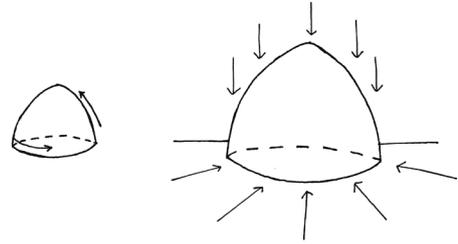


Figura 63: Distribución de cargas en una cúpula. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

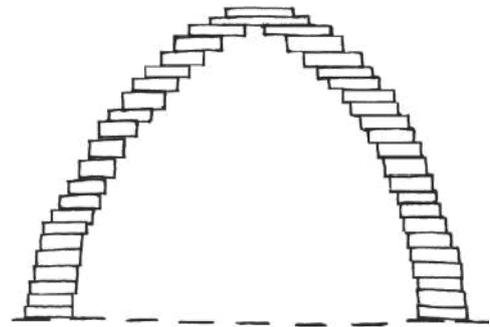


Figura 64: Cúpula acampanada. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

La técnica en la que se basa la realización de cúpulas con los sacos de tierra, es una técnica de construcción de cúpulas tradicional denominada "corbelled domes", cuya traducción viene a ser "cúpulas acampanadas". Son cúpulas que tradicionalmente se construían con ladrillos. Son típicas de la zona Mediterránea y del territorio que en la antigüedad conformaba la antigua Mesopotamia. El proceso constructivo para su construcción es sencillo: se van colocando las diferentes hiladas de ladrillo y en el punto en el que se quiere arrancar la curvatura de la cúpula, las hiladas de ladrillo se van retranqueando poco a poco hacia el interior, hasta que se acaba juntando la hilada final en la parte superior, cerrando así la cúpula. Esta misma técnica es la que se utiliza para realizar las cúpulas con tierra ensacada. Se van componiendo las hiladas, cuando llega el punto en el que se quiere empezar la curvatura de la cúpula se van remetiéndolos sacos de forma progresiva hasta cerrar toda la cúpula. Al igual que en los arcos, cuanto más puntiaguda y alargada es la proporción en la que se basa la sección mejor, ya que facilita la transmisión de cargas lo que resulta en un mejor funcionamiento estructural.



Figura 65: Retranqueo para colocar los sacos. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

Atendiendo a algunas de sus propiedades geométricas que afectan en el diseño de las cúpulas, el diámetro interior de la cúpula coincide con la altura existente desde la línea horizontal en la que comienza el arco hasta el punto más alto de la cúpula, lo que permite realizar un diseño y cálculo aproximado de estos elementos.

4.4.2. Comportamiento global

El principal problema que presentan los sacos de tierra es que carecen de resistencia frente a los esfuerzos a tracción. Por ello, todas las construcciones en las que participaban estos elementos tenían un carácter temporal. Cuando ya habían cumplido su función eran destruidas. El principal reto a la hora de realizar construcciones con estos sacos era conseguir la fuerza de tracción que permitiría aumentar la resistencia de éstas. Ahí es donde entra el alambre de púas. Lo que hace es aumentar la fricción entre los sacos, produciendo la fuerza de tracción. Esto posibilita la construcción de muros de mayor altura o de experimentar con las formas, pudiendo crear arcos, cúpulas o bóvedas, sin limitar la forma a edificios de planta rectangular con muros completamente verticales.

Una de las características más importantes de estas construcciones es la resistencia que ofrecen frente a los terremotos, habiendo sido sometidas a varias pruebas

y ensayos para demostrar esta capacidad resistente. Según Nader Khalili (1998):

“En el instituto Cal Earth de California se realizaron ensayos y pruebas con el objetivo de estudiar el comportamiento de los muros de sacos en caso de terremotos, comparándolas así con las estructuras rígidas de hormigón armado. Estas estructuras de hormigón con un sistema porticado, están formadas por elementos rígidos que no pueden deformarse ni adaptarse a los elementos. La pérdida o rotura de un elemento crearía un efecto cascada provocando el fallo estructural de todos los elementos adyacentes. Esto tiene como resultado el colapso de toda la estructura. En el caso de los muros de carga de los sacos con tierra, con forma de cúpula, en caso de existir carga excesiva en un punto, el daño se produce únicamente en ese lugar en concreto, por lo que arreglando el daño donde este se ha producido se elimina la carga excesiva. Las tensiones restantes se transmiten alrededor y las asume la superficie adyacente sin mayor problema”.

Tras esta breve descripción de cómo se comportan estructuralmente las cúpulas con tierra ensacada frente a esfuerzos excesivos es sencillo comprender porqué estas estructuras son capaces de resistir mejor los esfuerzos generados por un terremoto frente a las estructuras rígidas de hormigón armado, lo que supone un punto más a su favor.

4.5. Acondicionamiento climático

Para conseguir un buen acondicionamiento térmico en un edificio, en general, es primordial conocer las características climáticas de cada lugar. Una buena estrategia consiste en partir del estudio y la observación de las técnicas de construcción locales que adaptadas a los largo de los años al clima del lugar, proporcionan pistas orientación de cara al diseño del edificio.

La estrategia en estas construcciones es conseguir un buen ambiente interior a través de la utilización de sistemas de acondicionamiento pasivo, evitando soluciones más tecnológicas que supongan un aumento de consumo de recursos y de la contaminación.

Siguiendo el criterio que utilizan Kaki Hunter y Donald Kiffmeyer hay tres factores climáticos a los que es necesario prestar atención que son el calor, el frío, y el agua. La localización del edificio condicionará el clima y por tanto a cuál de los tres es necesario prestar más atención.

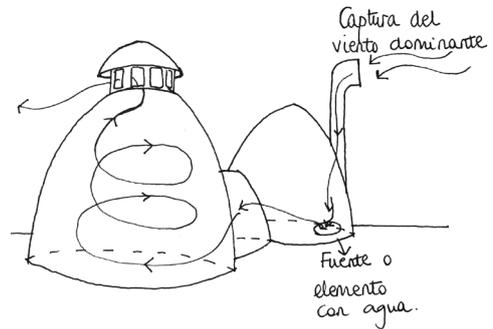


Figura 66: Esquema de funcionamiento de un captador de viento. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

4.5.1. Evitar la entrada de calor exterior

En estos casos lo primordial es evitar la entrada de calor del exterior. A continuación se detallan brevemente aspectos a tener en cuenta durante el proceso proyectual para conseguir que el interior se mantenga lo más fresco posible.

- Prestar atención al espesor del muro. Esto se debe a la inercia térmica que es la capacidad que tienen los materiales de almacenar calor, conservarlo y liberarlo de forma gradual. Este valor se ve afectado por los siguientes parámetros: calor específico, masa y densidad. El espesor del muro tiene una repercusión directa en su inercia térmica. Esto es importante porque a mayor espesor de muro, mayor resistencia encontrará el calor exterior para entrar en el interior del edificio.
- Las sombras arrojadas crean una barrera entre los muros y los rayos solares, impidiendo que estos últimos incidan directamente sobre el muro evitando un aumento de su temperatura.
- Influencia del color exterior de los paramentos. Ya está más que demostrado que los colores oscuros absorben una mayor cantidad de energía.
- Construcción de torres de viento, que son construcciones típicas del Medio Este. Se trata de construcciones que captan e introducen el aire del exterior en el interior de los edificios. Es necesario que exista una salida, normalmente ubicada en las cubiertas, para que se pueda crear corriente y conseguir al menos que el ambiente interior tenga la temperatura de aire más baja posible.

4.5.2. Mantener el calor en el interior

En este caso lo importante es evitar la pérdida del calor que se genera en el interior y aumentar al máximo la captación de calor del exterior. Estas son algunas de las condiciones que se deben tener en cuenta para mantener calor en el interior de nuestro edificio.

- Maximizar la exposición de nuestro edificio hacia el punto cardinal que más horas de luz ofrezca, para favorecer la máxima captación de los rayos solares en función del soleamiento. Dependiendo del hemisferio en el que nos encontremos será hacia el norte o hacia el sur.

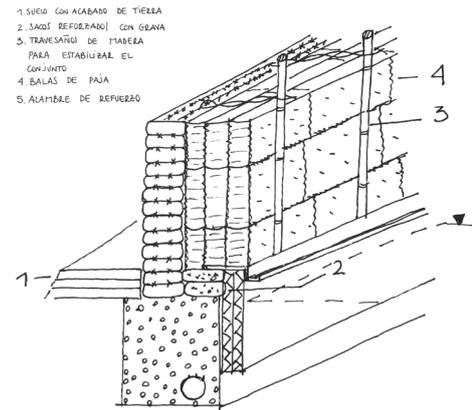


Figura 67: Detalle constructivo de tierra encadada más balas de paja. Elaboración propia basada en esquemas del libro Ceramic Houses & Earth Architecture

⁸ Una alternativa al uso del aislamiento de paneles rígidos es la utilización de balas de paja. Proporcionan un buen aislamiento a la vez que incorporamos en nuestro edificio materiales respetuosos con el medio ambiente. Si bien es cierto que aún sigue siendo necesario utilizar unas planchas rígidas de aislamiento para la cimentación por lo que es necesario seguir investigando para conseguir un conjunto completamente respetuoso y sostenible.

- Aumentar el aislamiento exterior para evitar las pérdidas de calor y la entrada de frío⁸.
- Si fuera posible, instalar un muro trombe que proporcione energía de forma natural gracias a la captación de los rayos solares y a la convección natural del aire.
- Utilización del color oscuro en la capa exterior de los muros, facilitando la captación de energía solar
- Construir parte del edificio por debajo del nivel del suelo, ya que como se ha mencionado anteriormente, la tierra posee una elevada inercia térmica, lo que le confiere buenas cualidades como aislamiento natural. Enterrando parte de la construcción impedimos que el calor generado se vaya hacia el exterior.

4.5.3. Evitar la entrada de agua

En este caso el edificio se ubica en un clima húmedo con elevadas precipitaciones donde el objetivo es mantenerlo seco impidiendo la entrada de agua procedente de precipitaciones. A continuación se detallan las dos de las principales estrategias a seguir, para evitar la entrada de agua.

- Ejecutar cubiertas inclinadas con voladizos que favorezcan la evacuación del agua y que además evitan que esta entre en el interior. Estos voladizos permiten la creación de porches dando como resultado espacios intermedios que funcionan como barrera frente a la posible entrada de agua.
- Elevar el arranque de los muros de sacos de tierra o proteger su parte inferior utilizando con materiales impermeables, evitando además la ascensión del agua por capilaridad.

5. Construcciones con tierra ensacada en el ámbito de la cooperación al desarrollo

En este apartado se van a describir una serie de proyectos de cooperación realizados en zonas subdesarrolladas que han sido construidos utilizando tierra ensacada. Cabe destacar que la motivación principal para utilizar esta técnica en todos ellos es el bajo coste que suponía construir con los sacos debido a la falta de recursos económicos. La segunda razón es porque a pesar de ser construcciones muy sencillas y fáciles de ejecutar, estas construcciones no las puede realizar una persona sola únicamente, sino que requieren la participación de varias personas y con ello se fomenta la colaboración de todos los habitantes de la comunidad sin importar si son niños, mujeres o adultos. Se realiza así una labor inclusiva con una importante componente social.

5.1. Viviendas en Masoro

- Proyecto de viviendas en Masoro, Rwanda.
- Diseñadas por GA Collaborative.
- Año 2013.

El objetivo era construir un prototipo de viviendas para las mujeres de la cooperativa "l'Association Dushyigikirane". El proyecto estaba condicionado por la escasez de recursos materiales y económicos.

A pesar de que la vivienda fue construida utilizando tierra ensacada, en este caso no se utilizaron las cúpulas sino que el edificio presenta una planta rectangular con una distribución convencional. Se trata de una vivienda sencilla, con tres dormitorios, una sala de estar pequeña y una cocina también sencilla.

La cimentación y los muros de carga se realizaron con sacos o tubos rellenos de tierra. Para el revestimiento de cubierta se utilizaron chapas grecadas metálicas dispuestas sobre una subestructura de madera. En el pavimento interior se utilizó tierra compactada y para los



Figura 68: Aplicación de revestimiento. Fuente: <http://www.gacollaborative.org/maison-de-masoro>



Figura 69: Proceso constructivo. Masoro. Fuente: <http://www.gacollaborative.org/maison-de-masoro>



Figura 70: Resultado final de la vivienda en Masoro. Fuente: <http://www.gacollaborative.org/maison-de-masoro>

techos interiores se utilizó tejido de caña trenzado a mano.

El suministro de agua se consigue con un bidón instalado en la cubierta en el que se va almacenando el agua de lluvia. La electricidad se obtiene a partir de la energía solar.

Las personas que iban a participar en el proceso de construcción apenas sabían leer o escribir y menos aún sabían cómo construir con tierra ensacada. Por ello, fue necesario realizar un curso intensivo de tres semanas para que aprendieran a construir utilizando esta técnica. Según Tyler Survant⁹, las únicas herramientas eléctricas utilizadas en la construcción fueron un taladro manual con batería y un generador diesel durante el tiempo que ocupó la soldadura del techo metálico.

Durante el proceso constructivo participaron tanto las personas que forman la comunidad, sin importar la edad o el sexo, y también buena parte del equipo de arquitectos.

5.2. Vivienda Maasai

- Vivienda diseñada para una familia Maasai, en Tanzania.
- C-re-aid.
- 2016.
- Coste de la construcción: 2400€

El objetivo era construir una vivienda para una familia Maasai en la localidad de Arusha en Tanzania. Su principal requisito era poder tener privacidad, ya que entonces vivían todos en una vivienda con una única estancia que

⁹ Tyler Survant es, entre otras cosas, escritor habitual de artículos para el portal de internet Archdaily que realiza publicaciones sobre arquitectura y temas relacionados con esta.



Figura 71: Final del proceso constructivo de la vivienda Maasai.
Fuente: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/ARI602.html>



Figura 72: Proceso constructivo de la vivienda Maasai.
Fuente: <http://c-re-aid.org/portfolio/2016/ARI602.html>

hacia las veces tanto de hogar como de la tienda donde trabajaba la madre suponiendo esto una ausencia de privacidad muy importante.

Las construcciones en esta zona se suelen realizar utilizando ladrillos. A pesar de ello se opta por construir con tierra ensacada porque para poder cocer los ladrillos es necesario utilizar madera de los árboles allí existentes lo cual deriva en una situación de deforestación que está dejando al lugar sin los pocos árboles con los que se contaba allí. Por ello, se opta por otra técnica que además de económica no acrecente el problema de falta de recursos.

Con una superficie de 31 m², la vivienda se compone de dos círculos que proporcionan dos habitaciones independientes, cumpliéndose así el requisito inicial de tener privacidad. Son espacios muy sencillos dotados de una cama, unas estanterías y un armario.

Tanto la cimentación como los muros se construyeron con sacos de tierra. La cubierta está realizada con una subestructura de vigas de madera sobre las cuales se apoyan unas chapas grecadas. Las carpinterías son de madera, aunque también se utilizan botellas de colores para iluminar y decorar el espacio interior. Los muebles forman parte del conjunto estructural del edificio, siendo ejecutados durante el proceso constructivo.

En este caso fue posible realizar esta construcción gracias a la colaboración de 15 estudiantes voluntarios y 4 de los arquitectos de la ONG.

5.3. Colegio para refugiados

- Colegio para niños refugiados del campo de Za'atari, en Jordania.
- Acting for Change Jordan.
- Año 2016-2017.
- Coste de la construcción: 5000€

Se trata de un colegio de 25 m² construido para los niños del campo de refugiados Za'atari que se encuentra a 10km de la frontera entre Jordania y Siria. Se trata de uno de los campos de refugiados más grandes que existen que se ha convertido en la cuarta ciudad más grande de Jordania, en cuanto a número de habitantes se refiere.

Para la construcción del edificio se eligió construir una cúpula con tierra ensacada, debido a que formalmente están relacionadas con las construcciones tradicionales sobretodo de Siria, que es de donde proceden muchos de los refugiados que están en el campo. También se escogió este tipo de construcción por la evidente falta de recursos, que obligaba a realizar una construcción de bajo coste y baja tecnología.

El edificio es una cúpula completa ejecutada con sacos rellenos de tierra desde la cimentación hasta la parte superior. Según EA-HR.org :

“Durante la construcción, la EHR capacitó a trabajadores locales en métodos de construcción de súper adobe que también pueden aumentar los medios de vida y fortalecer la capacidad de recuperación de la comunidad local. Se espera que este método permita que estas habilidades se vuelvan a adoptar para construir edificios más sostenibles, de bajo costo y eficientes energéticamente dentro de los asentamientos informales circundantes y durante la futura reconstrucción de Siria.”

Es muy interesante esta última información ya que efectivamente, debido a sus características tanto constructivas como formales pueden entenderse como una analogía de las viviendas tradicionales que encontramos en esta zona, por lo que si podría utilizarse esta técnica para realizar una futura reconstrucción de Siria, con edificios de bajo coste y de carácter temporal.

En el interior de la cúpula está la escuela, que se organiza entorno a un único espacio donde acuden los niños. Durante el levantamiento de los muros, se fueron dejando a lo largo de este travesaños de madera tanto en el



Figura 73: Aplicación del revestimiento. Colegio en Za'atari. Fuente: <http://ea-hr.org/zaatari-classroom/>



Figura 74: Colegio en Za'atari. Fuente: <http://ea-hr.org/zaatari-classroom/>



Figura 75: Colegio para refugiados. Fuente: <https://www.archdaily.com/630188/floating-in-the-sky-school-for-orphans-kikuma-watanabe>



Figura 76. Interior del colegio - <https://www.archdaily.com/630188/floating-in-the-sky-school-for-orphans-kikuma-watanabe>



Figura 77: Colocación de las telas. Fuente: <https://www.archdaily.com/630188/floating-in-the-sky-school-for-orphans-kikuma-watanabe>



Figura 78: Proceso de colocación de los sacos. Fuente: <https://www.archdaily.com/630188/floating-in-the-sky-school-for-orphans-kikuma-watanabe>

interior como en el exterior, de los que, entre otras cosas, se puedan colgar objetos y mallas para que los niños jueguen y se diviertan pudiéndose olvidar así del sitio en el que se encuentran.

5.4. Colegio para niños huérfanos

- Colegio para niños huérfanos en una aldea en Tailandia.
- Kikuma Watanabe.
- Año 2013.

Este colegio se ubica en la aldea de Kanchanaburi en Tailandia, cerca de la frontera con Myanmar. Se trata de una aldea en la que habitan familias que tienen pocos recursos económicos, siendo muchas de ellas inmigrantes. Hay muchos huérfanos en la zona y la escuela tiene una importante presencia en el desarrollo



Figura 79: Exterior del centro educativo para jóvenes. Fuente: <http://www.balouosalo.com/project/tanafcenter.html>



Figura 80: Cimentación. Fuente: <http://www.balouosalo.com/project/tanafcenter.html>

diario de esta localidad.

Partiendo de la consulta a los niños de cómo querían que fuera su colegio se realizó el proyecto de la escuela. El conjunto consta de tres edificios construidos con tierra ensacada, unidos mediante una cubierta a dos aguas con estructura de bambú que en la parte superior crea otro espacio más dedicado a la escuela. El colegio tiene una superficie de 125 m².

El edificio, por tanto, tiene una estructura mixta compuesta por bambú para la cubierta y tierra ensacada para las aulas. Las cúpulas han sido construidas desde su cimentación utilizando tierra ensacada. Tienen un revestimiento exterior de barro con paja y en el interior se dejaron los muros con los sacos vistos, colocando telas de colores sujetas a una subestructura de madera para decorar los espacios. El suelo es de tierra compactada. Con el espacio creado bajo la cubierta de bambú se consigue la ventilación y refrigeración del conjunto.

El proceso constructivo fue realizado por los habitantes de la aldea, siendo dirigido por el grupo de arquitectos que diseñó el colegio, el equipo Kikuma Watanabe.



Figura 81: Niños aplicando revestimiento. Fuente: <http://www.balouosalo.com/project/tanafcenter.html>

5.5. Centro educativo para jóvenes

- Centro educativo para jóvenes en Tanaff, Senegal.
- Asociación Balouo Salo/ Raoul Vecchio.
- Año 2018.

Se trata de un centro educativo destinado a los jóvenes de la aldea que busca realizar actividades para concienciar



Figura 82: Construcción de vivienda en Lombok. Fuente: <https://www.archdaily.com/900417/the-dome-lombok-eco-village-team-is-raising-money-to-rebuild-city-after-devastating-earthquake>

y enseñar a estos jóvenes de la importancia de no abandonar las actividades tradicionales de la aldea, para asegurar la continuidad de la cultura y de las tradiciones del lugar.

El proyecto consta de tres salas destinadas al estudio más una sala multifuncional. En la actualidad el edificio aún esta en proceso de construcción.

El conjunto se compone de las aulas, que presentan planta regular, junto con una cubierta que acoge todo el proyecto. Tanto la cimentación como los muros de las aulas están ejecutados con tierra ensacada. Para el revestimiento interior y para el exterior se ha utilizado barro. La cubierta presenta una subestructura de madera.

Se trata de un proceso colaborativo financiado mediante donaciones privadas en el que en la construcción participan las personas del lugar.

5.6. Proyecto de reconstrucción de Lombok

- Viviendas para familias en Lombok, Bali (Indonesia)
- Equipo Dome Lombok.
- Año 2018.
- Coste de cada vivienda: aproximadamente 480€.

Este proyecto surgió a partir del terremoto que tuvo lugar en Bali el pasado año 2018, de magnitud 7,0 en la escala de Richter. Tras este desastre, se produjo el vacío de parte de la ciudad. La organización Dome Lombok, asentada en Indonesia, está intentando reconstruir toda la población ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid



Figura 83: Aplicación de revestimiento exterior. Lombok. Fuente: <https://www.archdaily.com/900417/the-dome-lombok-eco-village-team-is-raising-money-to-rebuild-city-after-devastating-earthquake>

con la participación de aquellos que habitaban la ciudad.

Se ha escogido construir cúpulas utilizando tierra ensacada, porque al igual que ya se ha comentado en anteriores apartados, su componente estructural les confiere una gran resistencia frente a los terremotos. Además son construcciones fáciles y rápidas de ejecutar que resisten ante un incendio o frente a una inundación y ofrecen viviendas permanentes de bajo coste.

Por tanto, cada vivienda está formada por cúpulas con tierra ensacada y como revestimiento se ha aplicado yeso, obtenido de piedra caliza natural del lugar. Teniendo en cuenta la sostenibilidad a lo largo del proceso constructivo, se pretende integrar la energía solar, recolectar el agua de lluvia y utilizar sistemas de reciclaje de agua.

Hasta el momento se han construido 13 viviendas. Se están construyendo también espacios comunes como son un restaurante y una sala de yoga.

El equipo que está llevando acabo este proceso de reconstrucción se encarga de enseñar a construir con tierra ensacada a los habitantes de Lombok, para que entre todos se haga posible la reconstrucción con todas las viviendas que sean necesarias.

6. Experiencia en Tierra de Campos

Una vez que ya ha sido explicada la técnica constructiva y que se ha visto a través de varios ejemplos, como puede utilizarse para construir en países en vías de desarrollo, pasamos ahora a ver un ejemplo construido con tierra ensacada en España, más concretamente en una localidad de Tierra de Campos.

Se va a estudiar este edificio porque su cercanía permite analizar de primera mano el comportamiento real de las construcciones con tierra ensacada. Así se comprobará in situ si se trata de una técnica constructiva tan válida como en un principio parece y además servirá para comprobar si es posible adaptar esta técnica a cualquier clima y tipo de construcción.

El edificio a analizar consiste en un restaurante familiar ubicado en la provincia de Palencia. El restaurante "Las Cúpulas" en San Cebrián de Campos. Esta localidad se sitúa en la comarca de Tierra de Campos, que se extiende por la mitad sur de la provincia de Palencia, la zona norte de la provincia de Valladolid y llega hasta el noreste de la provincia de Zamora, es decir, abarca buena parte de la zona central de la comunidad de Castilla y León.

Se trata de una comarca que presenta un paisaje de extensas llanuras, donde es habitual el cultivo de cereales. Esta continuidad se ve interrumpida por los pueblos, los pequeños arroyos y los solitarios palomares los cuales forman parte de las construcciones tradicionales de esta zona ejecutadas con adobe y con cubiertas inclinadas de teja.

San Cebrián de Campos se encuentra en medio de toda esta llanura. Cerca del pueblo se encuentra el Canal de Castilla que discurre desde Frómista hasta Valladolid, y que en esta dispone de las esclusas de Calahorra de Ribas como reclamo para visitarlo, situadas a unos 5 km de San Cebrián. También discurre cerca, el canal de la margen izquierda del río Carrión. A unos 10 km de la localidad hacia el norte, pasa el Camino de Santiago.

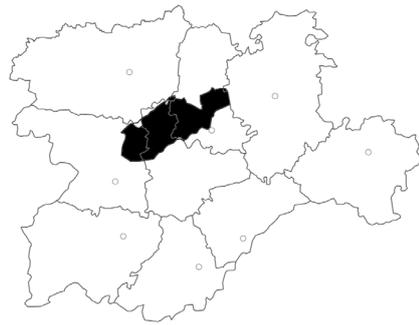


Figura 85: Tierra de Campos. Elaboración propia.



Figura 86: Palomar en Tierra de Campos. Elaboración propia.

Por otro lado, en cuanto a comunicaciones se refiere, a unos 10km pero por el oeste, discurre la autovía A-67 que une Palencia con Santander, y por el norte, a unos 20 km, se encuentra la autovía A-231 que une Burgos con León. Además también tiene una parada de ferrocarril a unos 10 km al este, de la línea que une Valladolid con Santander, que permite utilizar el tren regional.

Nos encontramos por tanto, ante una localidad que aún estando situada en el medio rural, se encuentra bien comunicada y que además tiene interesantes lugares que visitar cercanos. Por tanto, sí que es frecuente encontrar turistas que están realizando rutas por el Canal de Castilla, que están haciendo el Camino de Santiago y se acercan para conocer la zona o que simplemente se encuentran de paso.

Una vez que se ha llegado a San Cebrián se observa un pueblo que presenta un aspecto bastante homogéneo, de viviendas de adobe de planta baja más una primera planta, con cubiertas inclinadas de teja, como las típicas viviendas de esta zona de Tierra de Campos. En los bordes de la localidad, cambia un poco el paisaje debido a la construcción de edificios más modernos durante las últimas décadas, que presentan mayor altura, siendo pisos y viviendas unifamiliares aisladas, realizados con ladrillo caravista.

El lugar, cuenta con una población de 433 habitantes, donde la mayor parte de la población activa se dedica a la agricultura y a la ganadería. Es importante destacar la existencia de la Fundación San Cebrián de Campos. Se trata de un edificio que cuenta con residencia, centro de día y áreas ocupacionales, donde se atiende a personas con discapacidad intelectual, y que además emplea no solo a personas del pueblo sino también a habitantes de los alrededores. En el pueblo además, se localiza el ayuntamiento, disponen de servicio de consultorio médico y enfermería y varios espacios a disposición de los habitantes con carácter de salas de estudio, biblioteca, sala de baile y usos múltiples, ...

En definitiva, se trata de una población que posee multitud de servicios, pero que carecía hasta ese momento de un restaurante adecuado donde pudieran comer todas aquellas personas que visitaban la zona por distintos motivos. Además, el hecho de que el pueblo se encuentre desplazado de las principales vías de comunicación, hace comprensible el hecho de que los dueños del restaurante quisieran construir un edificio que no sólo diera servicio de restaurante sino que también poseyera



Figura 87: San Cebrián de Campos con la ubicación del restaurante señalado en rojo. Fuente: <https://i2.wp.com/www.pacomagazine.es/wp-content/uploads/2018/01/Pueblo.jpg?resize=768%2C512&ssl=1>



Figura 88: Exterior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.



Figura 89: Exterior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.

unas características formales fuera de lo común que atrajeran a las personas hacia el restaurante y por ende visitaran toda la comarca.

6.1. Restaurante "Las Cúpulas"

El proyecto de Restaurante surge ante la necesidad de empleo de sus propietarios, Alberto Aguado y María Sagrario Calvo, que fueron los promotores de la obra. La técnica constructiva fue elegida por ellos, que no solo buscaban crear un negocio del que poder vivir, sino que además querían construir un edificio que llamara la atención. Para conseguir este objetivo no les importaba tener que emplear técnicas constructivas que se escaparan de las tradicionalmente utilizadas, de ahí la elección de ejecutar todo el edificio mediante cúpulas utilizando muros de carga de sacos rellenos de tierra. La construcción de este restaurante les valió el reconocimiento por parte de la Diputación de Palencia, quien les otorgó el Premio a la Empresa Innovadora, que busca motivar a empresas y emprendedores para invertir e innovar en conocimiento y desarrollo en el medio rural de la provincia. Igualmente no dejaron de utilizar tierra como materia principal para construir el edificio, haciendo así referencia hacia las construcciones tradicionales de esta zona de Tierra de Campos.

Aparte de esto, buscaban que el edificio pudiera ser construido por ellos mismos, utilizando materiales y técnicas que permitiesen un bajo presupuesto y buscando además reducir los costes de consumo energético, minimizando al máximo el impacto ambiental.

El edificio se ubica a las afueras del pueblo, disponiendo



Figura 90: Exterior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.



Figura 91: Exterior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.

de fácil acceso desde la carretera provincial, que es la principal vía de llegada a la localidad. Cerca de esta parcela se encuentra uno de los dos parques con los que cuenta la población. Es necesario caminar alrededor de cinco minutos para llegar al centro del pueblo, donde se encuentran los principales servicios disponibles: bares, supermercado, panadería,...

Uno de los problemas a los que tuvieron que enfrentarse a la hora de realizar este restaurante, fue encontrar una arquitecta o un arquitecto dispuesto a firmar este proyecto por sus características constructivas. Finalmente la arquitecta que colaboró en este proyecto fue Pilar Díez, establecida en Palencia y que además es la actual Presidenta de la Delegación de Palencia del COAL. Nos encontramos ante un edificio autoconstruido pero que fue dirigido y supervisado por esta arquitecta.

En la fase de diseño del edificio el principal reto fue resolver la geometría del conjunto. Según la arquitecta, esta técnica constructiva condicionó el diseño del edificio debido a las características espaciales de los ámbitos que se generaban en las cúpulas. Además el edificio se iba a construir en una parcela estrecha y alargada, de ahí el resultado formal del edificio que visto en planta, tiene una forma ligeramente alargada aunque se parte de un planteamiento orgánico a base de círculos en el que se utilizan dos medidas para el diámetro interior, 4 y 4,80 metros.

El programa del edificio se compone del restaurante para unos 50 comensales, un aseo normal y un aseo accesible y la zona de servicio con la cocina, el cuarto de instalaciones y un baño para los trabajadores. Todo ello supone una superficie construida de alrededor de 200 m².

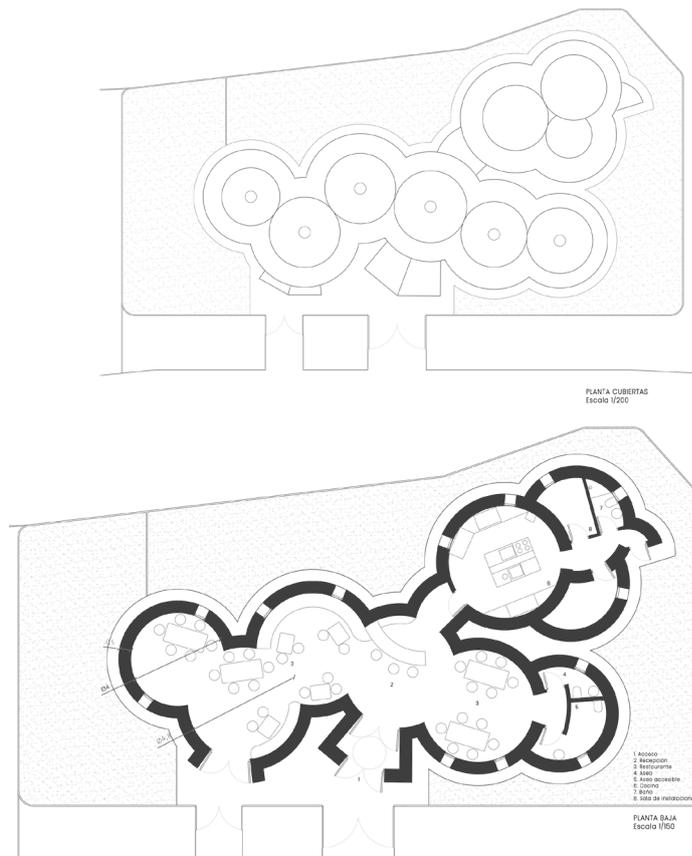


Figura 92: Plantas del restaurante. Ver anexo con documentación del proyecto.

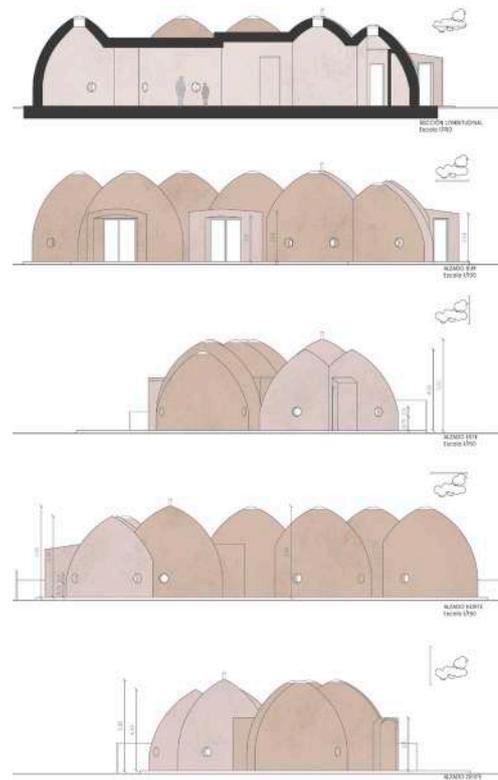


Figura 93: Alzados y sección. Ver anexo con documentación del proyecto.

La distribución interior del restaurante es sencilla. Consta de nueve cúpulas que se van intersecando entre sí, dando lugar a un espacio continuo muy fluido. Desde el exterior se aprecian las 9 cúpulas pero se percibe todo como un conjunto en sí mismo. Si observamos la planta, se distinguen dos zonas, una de carácter más público, formada por seis de las cúpulas, donde se sitúan el acceso, el restaurante y los aseos y un segundo espacio, formado por las otras tres cúpulas, donde se encuentran las estancias de servicio. El acceso al edificio se produce a través de un cortavientos que sale de la cúpula central, estando esta última destinada a la recepción y distribución de los comensales. Las otras cinco cúpulas albergan el restaurante, que en palabras de la arquitecta (P. Díez, 2012): “giran sobre sus centros abriendo un juego de visuales transversales en el espacio interior que evita la repetición espacial y la existencia de un solo eje visual.” Estas cúpulas tienen aproximadamente 5 metros de altura, mientras que en el resto de los espacios del edificio, la altura es de aproximadamente 4 metros. Desde el comedor se crea un acceso directo para conectarlo con



Figura 94: Interior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.

la terraza situada en el exterior del edificio.

El edificio consta de pequeñas aberturas circulares a lo largo de todo el perímetro, como ojos de buey, dispuestos a la altura de los comensales. Lo cierto es que estas aberturas, aunque suponen un atractivo para las personas que van a visitar y a comer en el restaurante, no aportan la iluminación natural suficiente para la actividad que se va a desarrollar en el espacio interior, debido a tres factores: estas ventanas están configuradas con un diámetro de pequeño tamaño, se sitúan a haces interiores y el muro consta de 50 cm de espesor. Estos tres hechos condicionan la poca aportación de luz que se produce a través de estas ventanas.

Por este motivo se dispusieron unos óculos en la parte superior de las cúpulas, que son los que aportan la verdadera iluminación natural al interior del restaurante.

6.2. Proceso constructivo

La construcción del edificio la realizaron de forma completa entre cuatro personas, una de las cuales era Alberto. Les resultó complicado encontrar personal cualificado para realizar la ejecución de la obra debido al desconocimiento generalizado que existe acerca de esta técnica. Se contrató a una empresa de construcción de Palencia cuyos obreros aprendieron a construir con sacos de tierra bajo las directrices de Alberto y de la arquitecta Pilar, siendo este restaurante la primera construcción que realizaban de estas características técnicas.

Si bien es cierto que durante la construcción, se acercaban sus hijos o su mujer para ayudarle y también



Figura 95: Interior del restaurante "Las Cupulas". Elaboración propia.



Figura 96: Imágenes de la maqueta del proyecto. Elaboración propia.

otras personas del pueblo de forma más puntual. Esto refuerza la idea de que es una construcción colaborativa que contribuye a establecer y mejorar los vínculos y las relaciones sociales. A pesar de que contaban con la ayuda profesional de Pilar, como se ha comentado anteriormente, es necesario reconocer el esfuerzo que realizó Alberto, que fue él quien decidió la técnica constructiva y el que se documentó para poder construir el edificio utilizando los sacos rellenos de tierra. Fue capaz de construir el edificio sin tener conocimientos previos en esta materia y decidiendo el proceso constructivo a partir de lo que había leído, estudiado y aprendido en libros y guías de construcción con sacos de tierra.

Dicho lo cual, vamos a proceder a realizar la descripción del proceso constructivo.

Para comenzar se realizó una maqueta que materializó tanto la geometría del edificio como el proceso posterior de construcción de las cúpulas con sus hiladas de sacos correspondientes. Esto ayudó a formalizar el edificio y también sirvió para visualizar el proceso constructivo que debía seguirse.

Una vez realizada la maqueta, el siguiente paso a dar consistía en conseguir los materiales. Lo primero que se necesitaba era encontrar tierra con la composición más adecuada para poder utilizarla como material de construcción. Tras realizar múltiples ensayos, encontraron la tierra más apropiada a aproximadamente 5 km de la ubicación del restaurante.

Los sacos que se utilizaron eran sacos de rafia que fueron encargados a una empresa de Valencia y que tenían 50 cm de ancho, condicionando así el grosor del

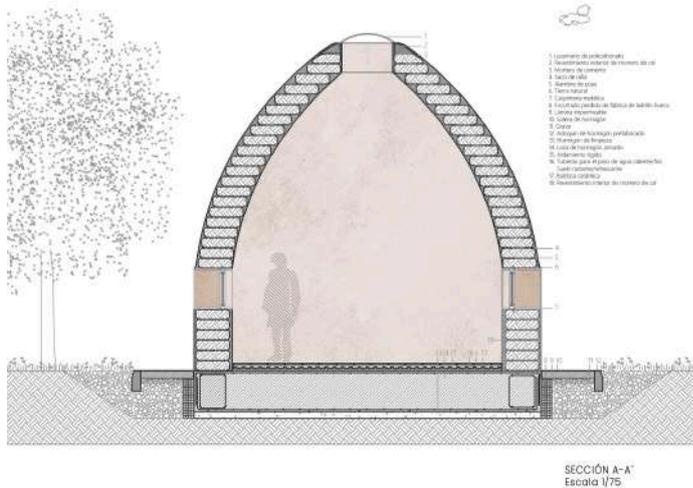


Figura 97: Sección tipo del restaurante. Ver anexo con la documentación del proyecto.

muro. A pesar de que los denominamos sacos, como se ha comentado anteriormente en realidad debido a su longitud son tubos o mangueras.

El resto de elementos necesarios para la construcción fueron reciclados de otros elementos o elaborados por él mismo. Los compases que se utilizaron consistían en un palo y una cadena metálica, como las que se utilizan en algunos engranajes de maquinaria agrícola. Asimismo, inventó un elemento metálico que permitía sujetar y llenar los sacos. A modo de pisón se utilizó un perfil metálico con una base plana que permitía aplastar y compactar la tierra.

Una vez que se dispuso de todos los elementos se pasó a construir el edificio. Lo primero de todo fue realizar el replanteo. Una vez dibujada la geometría del edificio en el suelo, se pasó a realizar la excavación para ejecutar así la cimentación que en este caso consistió en una losa de hormigón armado. Se optó por este tipo de cimentación debido a la existencia de nivel freático cerca de la superficie porque cerca de la parcela discurre un arroyo.

Para ejecutar la losa de cimentación realizaron un encofrado perdido con ladrillo hueco. Una vez realizada la cimentación se comenzó con el levantamiento de los muros de tierra ensacada. En este punto es cuando se dispusieron los dos compases para poder comprobar la geometría tanto en el plano horizontal como en el plano vertical, ya que es necesario revisarla durante todo el proceso constructivo para que los muros queden bien ejecutados y funcionen bien estructuralmente.

Para levantar los muros, se van relleno los sacos con

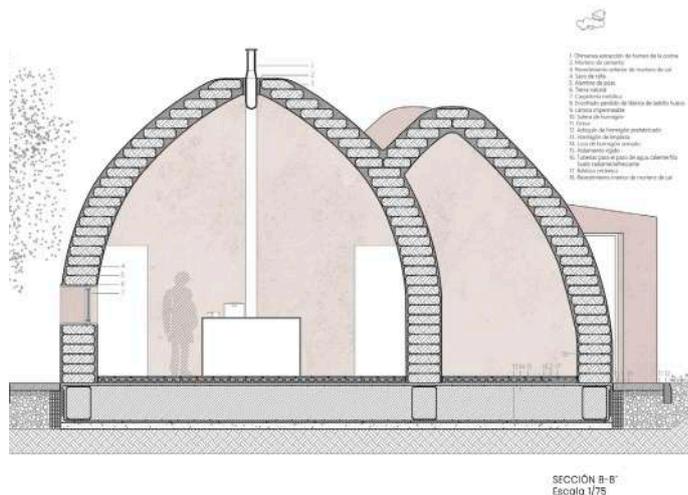


Figura 98: Sección tipo 2 del restaurante. Ver anexo con la documentación del proyecto

la tierra formando las hiladas hasta que se llega a la parte superior y se cierra la cúpula.

Mientras se realizaba el levantamiento de los muros, se dejaron los huecos de las futuras carpinterías utilizando elementos auxiliares para que los sacos se amoldaran a la forma del hueco y permitiendo la colocación posterior de las carpinterías. Para ello se sirvieron de elementos auxiliares de madera para las puertas y para los ojos de buey de los laterales utilizaron troncos de madera y bidones de aceite del mismo diámetro que la futura carpintería.

También fue necesario prever la ubicación de los latiguillos de las instalaciones que iban colocados en las hiladas entre los sacos. En el momento que el muro fue completado, se realizaron las rozas verticales al igual que en un muro de ladrillo, para completar así las instalaciones. En la fase del levantamiento del muro también se dejaron libres los huecos allí donde debían disponerse los elementos de ventilación de las estancias.

Cuando se terminaron de colocar todas las hiladas de los sacos, en las cúpulas que se correspondían con el futuro espacio de restaurante, dejaron la parte de arriba sin rematar con los sacos para poder colocar los óculos que iluminarían el espacio interior.

Para que la cúpula funcionara correctamente de forma estructural, se recibieron estas carpinterías con mortero, como si fuera un zuncho perimetral, para asegurar la correcta transmisión de cargas, evitando futuros problemas estructurales.

En el momento que se finalizó el levantamiento de los ETS de Arquitectura. Universidad de Valladolid

muros, se colocó una malla por todo el paramento de sacos, tanto interior como exteriormente, para facilitar la adhesión del revestimiento que se ejecutó después, que consistió en un mortero de cal. Finalizada esta primera cobertura de los paramentos, se procedió a la colocación de las carpinterías metálicas.

En cuanto fueron dispuestas las carpinterías, se realizó un segundo revestimiento del muro para dar color al paramento utilizando cal con un aditivo que proporciona color. Como se aprecia en las imágenes se utilizaron dos colores para componer el conjunto exteriormente mientras que para el interior se optó por un acabado más neutro.

En lo que se refiere al suelo, este se realizó de acuerdo al siguiente proceso. Sobre la losa de hormigón se ejecutó la instalación de un suelo radiante-refrescante, sobre el cual se vertió otra capa de mortero para poder colocar el acabado con baldosas cerámicas. El baño del servicio y los aseos son las únicas estancias donde cambia el acabado del paramento habiéndose utilizado azulejos para su revestimiento. En el exterior, el suelo que bordea el edificio se remató con una lámina impermeable sobre la cual se ejecutó una capa de grava. En la entrada y en la salida hacia la terraza del restaurante se dispuso una solera de hormigón y el resto del espacio exterior se dejó con vegetación a modo de jardín.

Para facilitar la evacuación del agua de lluvia en las zonas más delicadas, es decir, en las uniones entre las cúpulas, se colocaron unas chapas metálicas en los encuentros más complicados evitar problemas por el agua.

El problema que presentan formalmente las cúpulas desde el punto de vista acústico es la reverberación del sonido. Al estar formados por una encadenación de espacios, cuanto más bajo se hable mejor, ya que el sonido va rebotando en las paredes lo que permite escuchar con claridad todo lo que se hable, aunque se esté en la otra punta de la sala. A esto se suma que al tratarse de un restaurante con una importante afluencia de personas, se decidió disponer unas telas de lado a lado de las cúpulas que cortaban la reverberación evitando el eco, garantizando así el confort interior evitando incomodidad acústica.

Durante el proceso constructivo no se presentó ninguna complicación o problema al que tuvieran que hacer frente. La obra duró aproximadamente 9 meses, comenzándose en la primavera del 2012. Se realizó en esa época para



Figura 99: Detalle de elemento de ventilación. Elaboración propia.



Figura 100: Detalle de elemento de ventilación del baño. Elaboración propia.

intentar evitar las precipitaciones, entre otros aspectos, porque la tierra iba a estar amontonada en el exterior todo el tiempo que durara la obra y era fundamental que se mantuviera seca para poder utilizarla en la construcción.

Aunque ya se ha comentado de forma general, las instalaciones con las que cuenta el edificio son las mismas que en cualquier otra construcción, que son fontanería y abastecimiento de agua, electricidad, PCI y calefacción y acondicionamiento, destacando esta última debido a la utilización del suelo radiante-refrigerante con aerotermia, que genera 0 emisiones de CO₂.

Durante la visita realizada al edificio para comprobar el estado de esta construcción, se pudo observar como en la actualidad, habiendo pasado 7 años desde su levantamiento, el edificio se encuentra en general en buen estado. Presenta unas grietas en el paramento exterior debido a las contracciones y dilataciones que ha sufrido el revestimiento por la acción de los agentes meteorológicos. En el interior también se aprecian algunas grietas en las uniones entre las cúpulas y también en la zona en la que los sacos funcionan como clave del arco. Estas fisuras interiores probablemente han sido causadas por un mal agarre del revestimiento interior debido a que se trata de un punto delicado y es complicado que en esta unión la malla de alambre no quede enrasada al muro lo que a su vez impide que el revestimiento esté perfectamente adherido al paramento, por lo que es natural que aparezcan estas grietas.

En la actualidad el restaurante está cerrado y el edificio se encuentra en venta debido a problemas familiares que nada tienen que ver con un fallo en el edificio o con un mal funcionamiento del negocio.

Tal y como comentó Alberto cuando se realizó la visita al edificio, cuando comenzó la construcción del edificio en el pueblo todos les tomaban por locos, denominando al edificio como "la casa de los pitufos" entre otros apelativos y nadie sabía o entendía muy bien lo que se iba a construir.

En realidad consiguieron lo que buscaban, ya que el tiempo que el restaurante estuvo abierto el edificio tuvo un gran éxito de afluencia, viniendo gente a visitarlo y por ende a comer en él, de todas partes de España y del extranjero, causando siempre una buena impresión en todas aquellas personas que lo visitaban. Incluso estando cerrado siguen llegando personas para verlo y documentarlo, sobretodo estudiantes que investigan



Figura 101: Detalle de fisura en la "clave" del arco. Elaboración propia.



Figura 102: Reparaciones en el paramento. Elaboración propia.

esta técnica, como es este caso.

La realidad es que el edificio llama la atención. Al ser visible desde una de las principales carreteras de llegada al pueblo es extraño que quien pase no lo vea o se acerque a observarlo de cerca. La técnica de construcción con tierra ensacada, en este caso ha sido un éxito. Se ha adaptado perfectamente a una ubicación muy distinta si tenemos en cuenta que estaban pensadas para realizarse en el desierto.

Conclusiones

Se ha realizado un estudio de las construcciones con tierra en general y en particular de la técnica constructiva con tierra ensacada, buscando una aplicación para realizar construcciones permanentes en países en vías de desarrollo.

Es evidente que aún queda mucho trabajo por hacer y sigue siendo necesario aportar ayuda y conocimientos en el ámbito de la cooperación, como también lo es que tenemos que continuar cambiando la mentalidad para conseguir una concienciación colectiva sobre el respeto hacia el medio ambiente desde todos los puntos de vista.

Gracias al trabajo de investigación previo para poder explicar en qué consiste esta técnica constructiva he leído multitud de opiniones con respecto a la utilización de este sistema tanto positivas como negativas.

Es cierto que son unas construcciones sencillas de realizar, lo que posibilita la realización de proyectos de autoconstrucción dirigidos con una pequeña ayuda técnica. Además tienen un componente social muy importante y es que al ser un proceso constructivo tan sencillo posibilita la participación de todas las personas sin importar la edad ni el sexo, lo cual en las comunidades africanas es muy interesante porque favorece la integración de todas las personas ayudando así en la integración de la mujer en la sociedad.

Los materiales necesarios para su construcción son muy sencillos de obtener además ofrece la posibilidad de reutilizar elementos favoreciendo así el aprovechamiento de recursos. Como se ha justificado a lo largo de todo el trabajo es una técnica sostenible desde la obtención de los materiales hasta la realización del acabado final de los muros.

Si bien no es cierto que todos los materiales que se utilizan son respetuosos con el medio ambiente ya que los sacos o las mangueras que se utilizan por lo general son de polipropileno por lo que ahí ya se rompe la cadena de sostenibilidad y respeto hacia el medio ambiente. Por desgracia estos son los más comercializados y utilizados, en mi opinión debido a su coste tanto de fabricación como de venta. Aunque es cierto que están empezándose a emplear sacos obtenidos a partir

de fibras vegetales que aunque poseen un precio más elevado, son más respetuosos con el medio ambiente.

También es necesario impermeabilizar el suelo de la cúpula para evitar problemas provocados por el ascenso de la humedad del terreno y para ello se utilizan láminas impermeabilizantes compuestas por elementos plásticos. También en cimentación se utilizan placas de aislamiento rígido, porque la falta de resistencia de los materiales naturales hacia el agua hace imposible en este momento utilizar aislamientos con componentes más naturales y sostenibles como los ejemplos que se han visto en este trabajo. Por lo tanto, aún quedan algunos aspectos materiales por resolver para que en su conjunto el edificio sea completamente sostenible y respetuoso hacia el medio ambiente.

A pesar de que tiene muchas ventajas desde el punto de vista estructural y de acondicionamiento, construir con cúpulas utilizando círculos en planta plantea problemas sobre todo en cuanto a la distribución de espacios y a la adaptación del mobiliario debido a la superficie curva de los paramentos por lo que no son aptos para todos los programas. Además el diámetro de los círculos a utilizar tiene un límite ya que estas construcciones no pueden superar los 5-6 metros de altura porque esto conlleva problemas de esbeltez de los muros de carga y el diámetro de las cúpulas es directamente proporcional a su altura. Esto limita la superficie de los espacios influyendo también en la distribución del programa en el proyecto y en la realización de la geometría del edificio. Además, son construcciones que en España por sus características formales sólo pueden realizarse en el medio rural.

Por otro lado se han dado casos en España de domos que han sido construidas con tierra ensacada que han sufrido las consecuencias del clima debido a que los revestimientos se han helado o no se han ejecutado correctamente y se han desprendido o problemas al colocar los sacos llegando a rasgar perdiendo su función de sostener la tierra. De lo cual se deduce que aunque es una técnica sencilla es cierto que hay que ejecutarla siguiendo un proceso y atendiendo a unos condicionantes y que de no ser así puede derivar en un mal funcionamiento global del edificio.

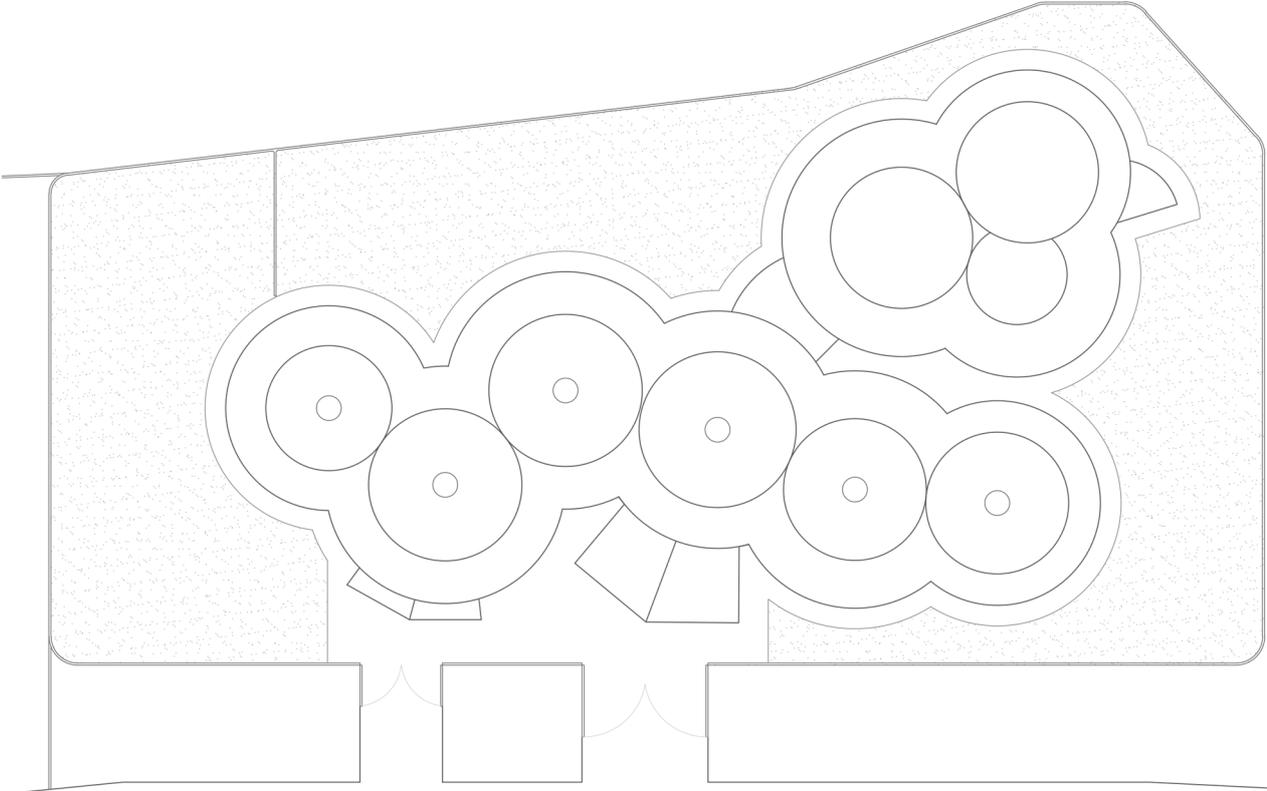
A pesar de todo esto opino que sí que es una buena técnica para realizar viviendas y asentamientos de carácter permanente en países en vías en desarrollo para campos de refugiados o para lugares que se han visto afectados por desastres naturales. Más aún, tras haber

Construcción en cooperación al desarrollo

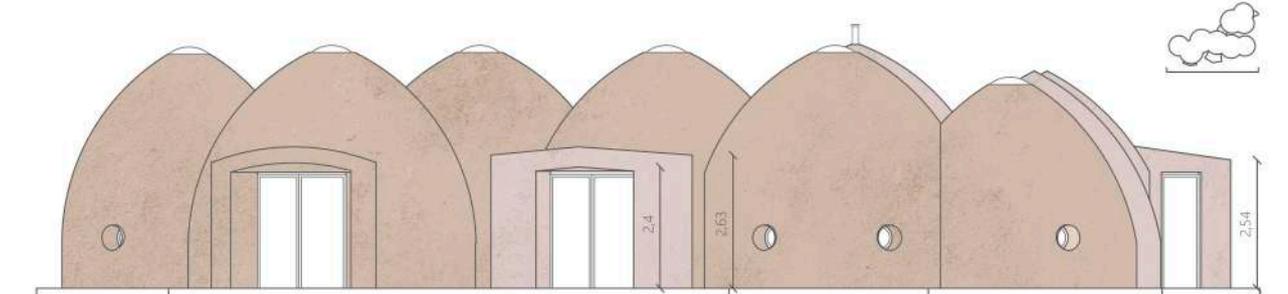
analizado esos proyectos donde se construyen viviendas o escuelas, en los que se ratifica las bondades de la tierra ensacada para utilizarla en cooperación.

Considero que por todo lo que ya se ha mencionado es una opción muy válida, al igual que existen muchas que aún están a medio explorar, con las que mediante su utilización los arquitectos pueden contribuir a mejorar la situación en la que se encuentra la sociedad a nivel global tanto desde el punto de vista medioambiental como desde el aspecto humanitario global, favoreciendo el avance hacia una sociedad más igualitaria y responsable.

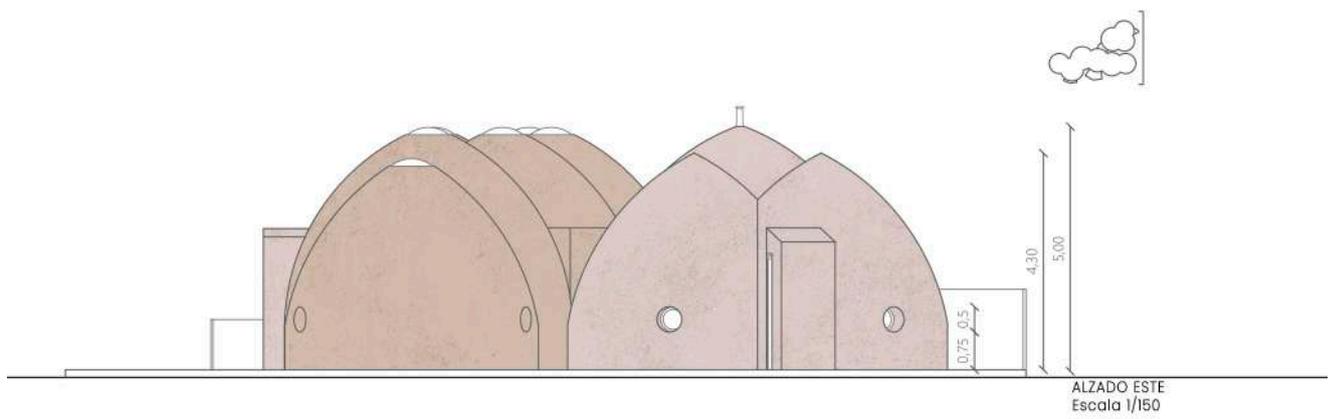
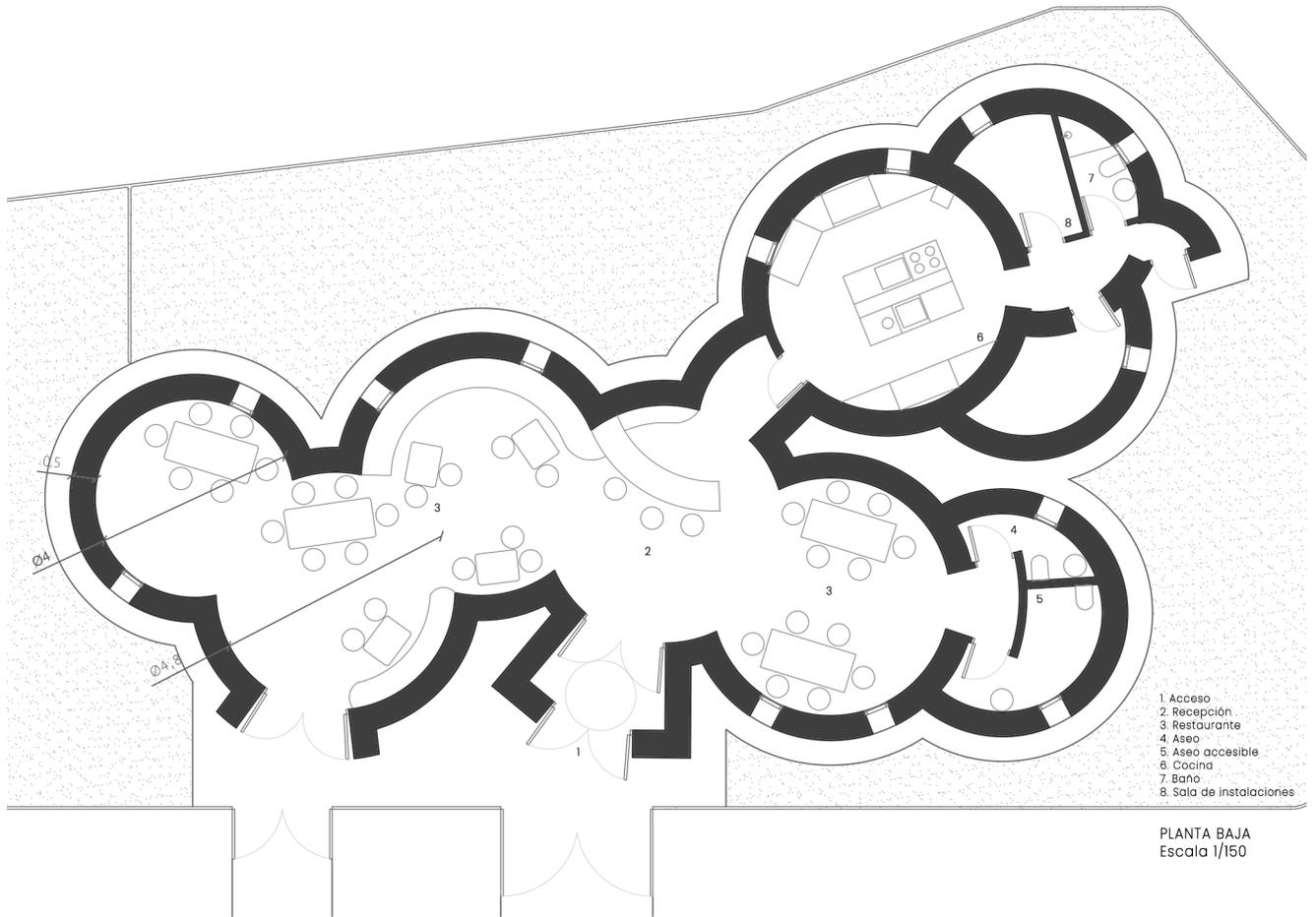
Anexo con documentación gráfica del proyecto

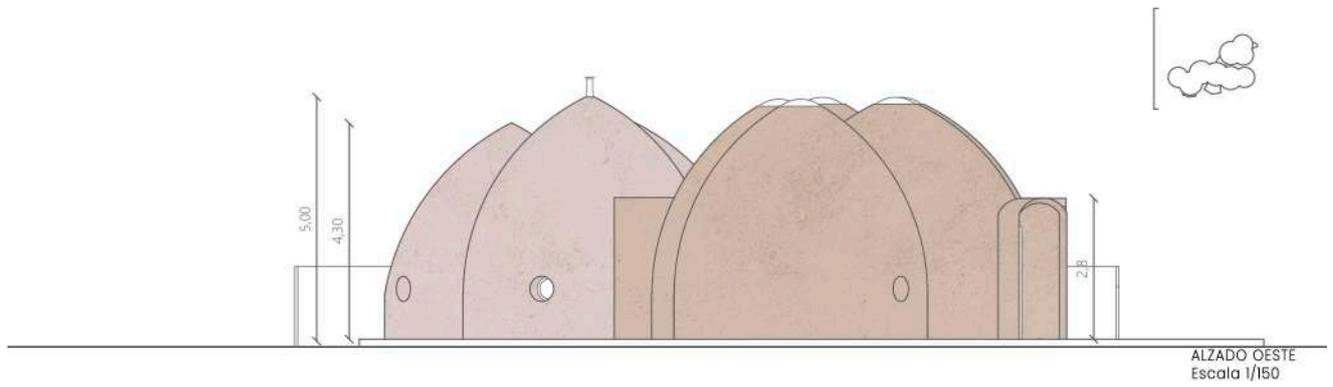
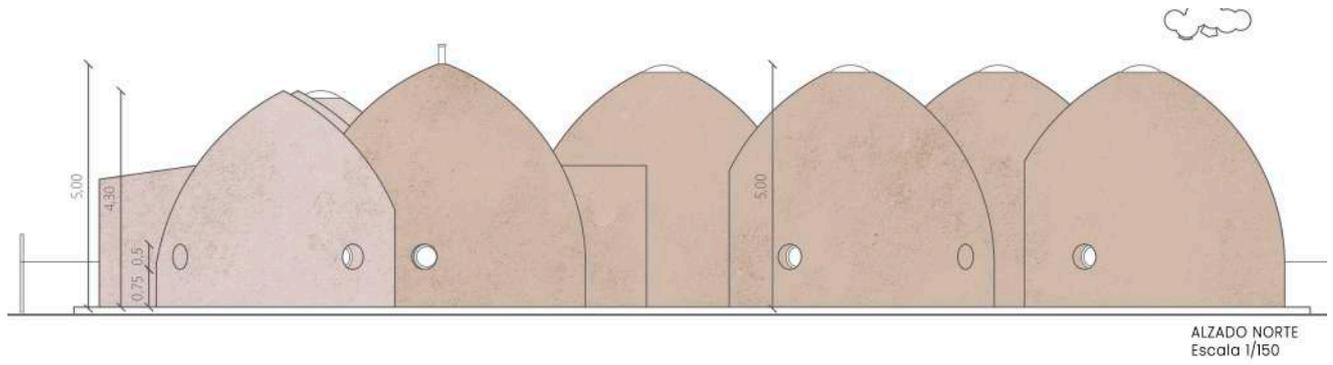
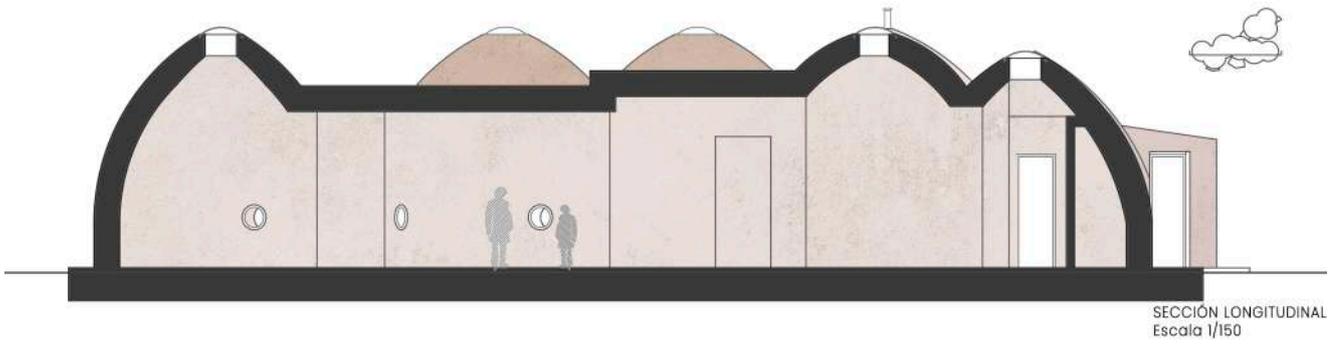


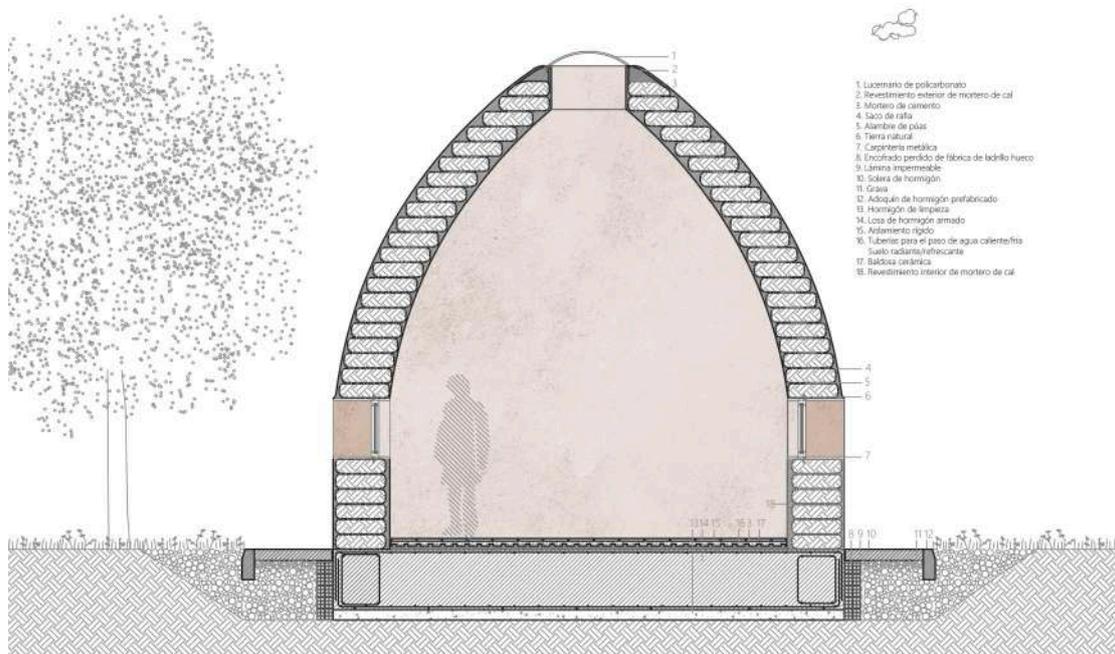
PLANTA CUBIERTAS
Escala 1/200



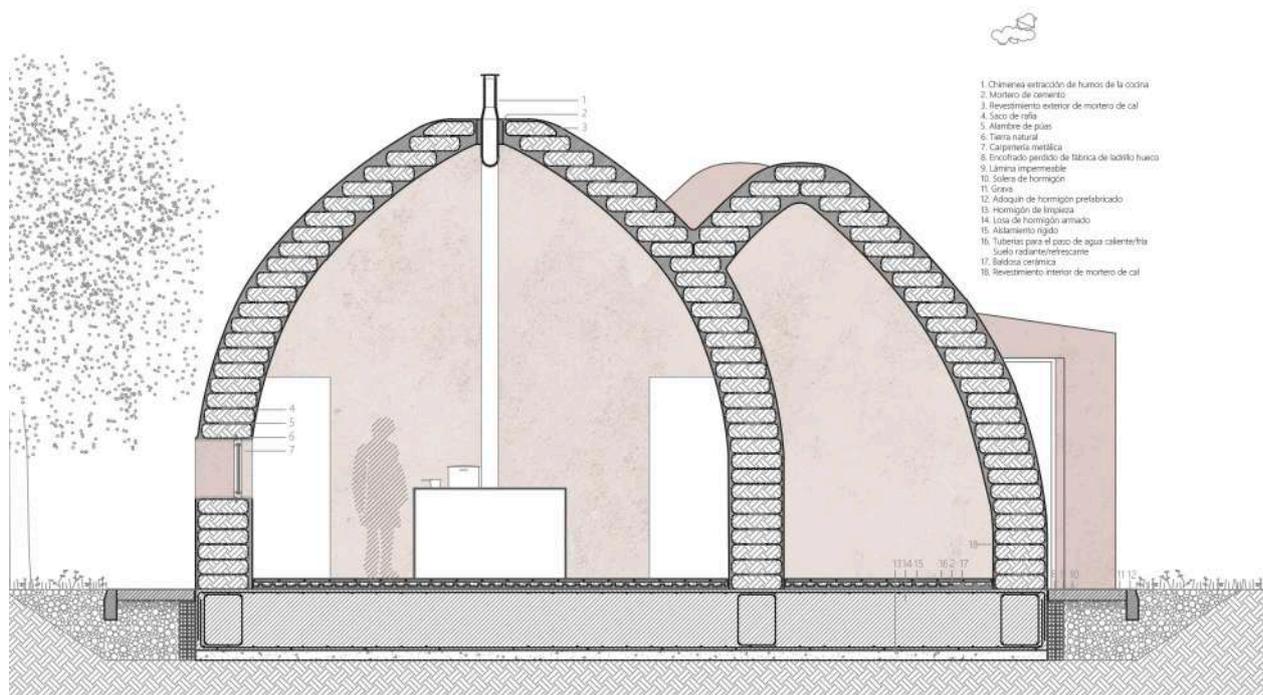
ALZADO SUR
Escala 1/150







SECCIÓN A-A*
Escala 1/75



SECCIÓN B-B'
Escala 1/75

Bibliografía

Libros

GÓMEZ GALÁN, M., SANAHUJA, J.A. (1999): El sistema internacional de cooperación al desarrollo. Madrid: Cideal.

HUERTA, S. (2004): Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

HUNTER, K.; KIFFMEYER, D. (2004) Earthbag building. The tools, tricks and techniques. Canada: New Society Publishers,

KHALILI, N. (1986). Ceramic houses and earth architecture. How to build your own. USA: Cal-Earth Press.

KHALILI, N. y VITTORE, P. (1988) Earth Architecture and Ceramics: The Sandbag/Superadobe/Superblock Construction System. International Conference of Building Officials, Cal-Earth Institute, Hesperia. California, USA.

MINKE, G. (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Kassel, Alemania: Universidad de Kassel.

Revistas

JOVÉ SANDOVAL, Félix (2011): "Arquitectura e Identidad cultural en el contexto de la cooperación internacional en el Continente Africano", en Cooperación al desarrollo y educación. TABANQUE Revista Pedagógica, 24, 115-132.

Web

AECID: <https://www.cooperacionespanola.es/es/que-hacemos> (Consultado en mayo de 2019)

Archdaily. Dome Lombok: <https://www.archdaily.com/900417/the-dome-lombok-eco-village-team-is-raising-money-to-rebuild-city-after-devastating-earthquake>

Archdaily, Escuela para huérfanos en Kikuma: <https://www.archdaily.com/630188/floating-in-the-sky-school-for-orphans-kikuma-watanabe> (Consultado en junio de 2019)

Archdaily. Jon Sojkowski (2016): <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769065/sobre-por-que-desarrolle-un-banco-de-datos-para-documentar-la-arquitectura-verancular-africana> (Consultado en mayo de 2019)

Archdaily, Vivienda Maasai: <https://www.archdaily.com/875677/how-earthbags-and-glass-bottles-can-build-a-community> (Consultado en junio de 2019)

Archdaily, Vivienda Masoro: <https://www.archdaily.com/430409/masoro-village-project-ga-collaborative> (Consultado en junio de 2019)

Arquitectos Sin Fronteras: <http://asfes.org/quienes-somos/> (Consultado en mayo de 2019)

Arquitectura Sin Fronteras, Castilla y León: <https://www.asfcyl.org/> (Consultado en mayo de 2019)

Artículo sobre construcción y cambio climático. Carlos Hernández Pezzi (2005): <https://nabarralde.eus/>

[es/la-arquitectura-bioclimatica-y-el-cambio-climatico/](#) (Consultado en mayo de 2019)

Balouo Salo <http://www.balouosal.com/project/tanafcenter.html>

BBC News, Superadobe. Megan Frye, 2019: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-47546675> (Consultado en junio de 2019)

Blog de los arquitectos meta 2020: <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/> (Consultado en junio de 2019)

Blog donde se explica la producción y el almacenamiento de hielo: <https://yonosoycocinero.blogspot.com/2016/10/los-persas-hacian-toneladas-de-hielo-y.html> (Consultado en junio de 2019)

Blog donde se habla y se describen las casas colmena turcas: <http://naturalhomes.org/beehive-harran-turkey.htm> (Consultado en junio de 2019)

Blog fundación Arquía, Verónica Sánchez Carrera (2015): <https://blogfundacion.arquia.es/2015/08/arquitectura-y-cooperacion/> (Consultado en mayo de 2019)

Cal-earth: <http://www.calearth.es/> (Consultado en junio de 2019)

Colegio para refugiados en el campo de Za'atari: <https://ea-hr.org/100-classrooms-for-refugee-children/> (Consultado en junio de 2019)

Cooperación española: <http://cooperacioncifras.exteriores.gob.es/es-es/paises/Paginas/default.aspx> (Consultado en mayo de 2019)

C-re-aid <https://c-re-aid.org/portfolio/2016/AR1602.html> (Consultado en junio de 2019)

Dezeen. Brake (2016): <https://www.dezeen.com/2016/03/10/architecture-for-humanity-relaunches-as-open-architecture-collaborative-humanitarian-charity/> (Consultado en mayo de 2019)

Diccionario con terminología militar: <https://play.google.com/store/books/details?id=nwPaFi3EDQcC&rdid=book-nwPaFi3EDQcC&rdot=1> (Consultado en junio de 2019)

Diccionario HEGO: <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/> (Consultado en abril de 2019)

Fundeu BBVA <https://www.fundeu.es/recomendacion/microplastico-palabra-del-ano-2018> (Consultado en junio de 2019)

GA Collaborative <http://www.gacollaborative.org/maison-de-masoro> (Consultado en junio de 2019)

INE. Población en San Cebrián de Campos: <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2888> (Consultado en junio de 2019)

Ministerio para la transición ecológica: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/> (Consultado en mayo de 2019)

Open Architecture Collaborative: <https://openarchcollab.org/about-us/> (Consultado en mayo de 2019)

RAE: <http://www.rae.es/> (Consultado en mayo de 2019)

Restauradores sin fronteras: <http://www.a-rsf.org/> (Consultado en mayo de 2019)

Publicaciones disponibles en internet

DÍEZ RODRÍGUEZ, Pilar (2013): "La construcción del restaurante "Las Cúpulas". San Cebrían de Campos (Palencia)." En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 239-246. Consultado en junio de 2019. Disponible en internet: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/23in-diez.pdf>

DÍEZ RODRÍGUEZ, Pilar (2013): "La construcción del restaurante "Las Cúpulas": una experiencia de autoconstrucción dirigida" en Libro de Resúmenes del 13º Seminario Internacional de Arquitectura y Construcción en Tierra. Valparaíso, Chile. 52. Consultado en junio de 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/285579068>

JOVÉ SANDOVAL, Félix (2010): "Arquitectura construida en tierra", en Arquitectura construida en tierra, Tradición e Innovación. Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2004/2009. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 11-18. Mayo de 2019. Disponible en internet: http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p011-018_jove.pdf

JOVÉ SANDOVAL, Félix (2017): "Tema 5: Los materiales naturales. El suelo y la tierra", en Apuntes de la asignatura de construcción III: materiales y elementos constructivos. Universidad de Valladolid. Junio de 2019. Disponible en: [http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/27311/C3T05_Materiales%20Naturales,%20Suelo%20y%20Tierra%20Arcillosa_Jov%20E9,F\(2017\).pdf;jsessionid=28FIA79C4383B383CE-66287B5B5D3767?sequence=1](http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/27311/C3T05_Materiales%20Naturales,%20Suelo%20y%20Tierra%20Arcillosa_Jov%20E9,F(2017).pdf;jsessionid=28FIA79C4383B383CE-66287B5B5D3767?sequence=1)

Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2017. Naciones Unidas, Nueva York. Mayo de 2019. Disponible en: http://ggim.un.org/documents/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017_Spanish.pdf

Informe de los objetivos de desarrollo sostenible 2018. Naciones Unidas, Nueva York. Mayo de 2019. Disponible en: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-ES.pdf>

Trabajos fin de grado

CANADELL RUIZ, Samuel (2014). Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

LLIMÓS MONTAGUT, Ramón (2013). Anàlisi de la construcció amb earthbag i superadobe. Universidad de Lérida, Lérida.

Vídeos

Alberto Aguado Donis. 2014-07-14. Bar Restaurante Las Cúpulas Video. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=_UImXz4n1HK (Consultado en junio de 2019)

Emprende y trabaja en Palencia. 2013-11-28. Vídeo Emprendedores de Palencia: Las Cúpulas. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=lq95dKp5gm4> (Consultado en junio de 2019)



TRABAJO FIN DE GRADO
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Leticia Herbosa Gutiérrez
Tutor: Félix Jové Sandoval