

Junio 2021

Etsam

Andrea Marín
Arredondo

La pertinencia de construir
con tierra en el contexto actual

Autora: Andrea Marín Arredondo

Tutor TFG : Jorge Gallego Sánchez Torija
Semestre primavera- Curso 2021-2021

Trabajo Fin de Grado- Aula 2
Coordinadora: Mercedes González Redondo
Adjunto: José de Coca Leicher

Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Agradecimientos:
A Jorge, por su ayuda y dedicación en este trabajo.

*“Con el aire, el sol, el agua y la tierra somos capaces
de construir y habitar”*

Gallego Sanchez Torija, J. AGUA, AIRE, SOL y TIERRA. Construir y habitar

RESUMEN:

El objetivo de la investigación es relacionar este material *ecológicamente responsable, técnicamente viable y económicamente favorable*, ligado a la arquitectura pasada, con el presente, e indagar acerca de su viabilidad de cara a lograr un futuro respetuoso con el medio ambiente, para finalmente concluir cómo y qué tipo de necesidades de alojamiento y de equipamientos, tanto en países emergentes como en industrializados, es capaz de solucionar.

Se pretende dar respuesta a la pregunta:

¿Es la tierra un material pertinente para construir en la actualidad?

Para ello, el trabajo se estructura en tres capítulos con orden temporal: pasado, presente y futuro de la arquitectura con tierra.

Este recorrido histórico, demuestra que, desde hace tiempo, el renacimiento de la arquitectura de tierra, ha dejado de ser un anhelo para convertirse en una realidad ecológica palpable y una brillante herramienta para usar en la posteridad.

Palabras clave: Técnicas constructivas | Sostenibilidad | Vernáculo | Climatología | Arquitectura circular | Estrategias pasivas

CONCEPT:

The relevance of building with earth in this day and age :

With this research I intend in line with the appointment of Camilo Rodríguez Lledó, to relate this *ecologically responsible, technically viable and economically favorable material* and link it to past architecture, with the present, to achieve a future that is respectful of the environment, to finally conclude how and what type of accommodation and equipment needs, both in emerging and industrialized countries, it is capable of solving.

Although the project structure will consist of three chapters in a temporal order, the past, present and future of architecture with the research is done simultaneously, since what is proposed, is an analysis of the material and its characteristics, in the different time, to see if it makes sense to consider using it in the future.

This historical journey shows that, for a long time, the rebirth of earthen architecture has ceased to be a desire to become a palpable ecological reality and a brilliant tool to use for posterity.

1	Introducción	
	Tema y su pertinencia	8
	Motivación personal	10
	¿ Es la tierra un material pertinente para construir en la actualidad?	11
2	Capítulo Pasado	
	Técnicas constructivas	15
	_T de mampostería	17
	_T. monolíticas	20
	_T. mixtas	22
	Testimonios	29
	_Testimonios arqueológicos	29
	_Testimonios históricos	37
	_Testimónios vernáculos	48
	Ejemplo	61
	_Hassan Fathy	
3	Capítulo Presente	
	Material sostenible	72
	_Material Kmo : Análisis del ciclo de vida	72
	_Material bioclimático : Estrategias pasivas	80
	_Material para una arquitectura ciclar: 4R	103
	Testimonios	127
	_Pioneros	127
	_Uso residencial	129
	_Uso público	137
	Ejemplo	146
	_Aнна Heringer	
4	Capítulo Futuro	
	Material ancestral para construir el futuro	151
	_Amenazas y fortalezas	151
	_Prototipo para arquitectura de emergencia	157
	_La tierra en el entorno urbano	174
	Téstimonios	176
	_Martin Rauch	176
	_Sebastièn Moriset	177
	_Aнна Heringer	178
	Ejemplo	179
	_Impresion 3D	
5	Conclusiones	184
6	Bibliografía	194

ANEXO I:

TROPICAL- TEMPLADO CONTINENTAL SECO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Material ecológicamente responsable, técnicamente viable y económicamente favorable

TEMA Y SU PERTINENCIA

MOTIVACIÓN PERSONAL

OBJETIVO:

¿ES LA TIERRA UN MATERIAL PERTINENTE PARA CONSTRUIR EN LA ACTUALIDAD?

TEMA Y SU PERTINENCIA

La ciudad de nuestros días está llegando ya a término, debido a sus excesos... Cuando necesitemos un modelo de ciudad nueva, lo encontraremos en términos orgánicos, formará parte de la tierra... La arquitectura va profundizando cada vez más en la naturaleza, sin la cual no existe cultura.

–Frank Lloyd Wright

Actualmente, el impacto que tiene la construcción sobre nuestros entornos naturales es desastroso.

“La edificación en la UE es responsable actualmente del 40% ¹ de consumo de energía y del 56% ² de la contaminación de nuestras ciudades” Es urgente hacer emerger soluciones justas y viables desde un punto de vista social y económico, que apoyen la diversidad cultural y que proteja el medio ambiente.

Para frenar este agotamiento natural y rareza cultural nos enfrentamos a tres requisitos: pensar, actuar y edificar de una manera diferente.

Un material constructivo es interesante no por lo que es, si no por lo que puede hacer por la sociedad.

– John Tumer’s

Construir con tierra permite alcanzar un fuerte potencial movilizador de valores y virtudes ecorresponsables . Si lo comparamos con otros materiales más sofisticados y costosos, la tierra es un material natural, abundante y accesible a todos los ciudadanos. Puede ejecutarse bajo numerosas técnicas constructivas adaptadas al lugar, favorece el vínculo con la naturaleza ya que se trata de una materia prima poco transformada, además contribuye a la conservación de otras materias escasas y no renovables, reduciendo el consumo de energías y contaminación.

Podríamos decir que, el empleo de tierra, es el proceso que permite establecer la relación más justa con nuestro entorno.

1. Dato extraído de la Página web de la Comisión Europea

2. Último informe sobre la Calidad del Aire de la Agencia Europea del Medio Ambiente

El error puede estar en tomar la visión formal, material o estructural de las formas (...). Es mejor (...) considerar (...) el contexto de su entorno y (...) la capacidad de satisfacer los valores y necesidades de las sociedades que los construyeron.

– Paul Oliver

Construir con tierra devuelve a la población civil, y sobre todo a las personas más desfavorecidas, la capacidad de hacerse cargo ellas mismas de sus propias viviendas. Promueve valores sociales como la autoconstrucción, autosuficiencia, cooperación y autonomía en la producción material. Además, es necesario recalcar el valor que le otorga a la identidad cultural, posibilitando la conservación arquitectónica, revalorizar los oficios de la artesanía siguiendo la línea de la lógica y sentido común, que nada tiene que ver a buena parte de la arquitectura contemporánea marcada por el culto a la innovación formal a cualquier precio.

“Ecológicamente responsable, técnicamente viable y económicamente favorable” (Rodríguez Lledó, Camilo) y que, por tanto, no sólo no existe ningún motivo para desterrar la arquitectura natural: es ilógico que, desde la profesión, se hagan todos los esfuerzos para devolver en la construcción el lugar que le corresponde al material primigenio y materno, la tierra.

MOTIVACIÓN PERSONAL

“Mi concepto de arquitectura- es una concepción amplia porque abarca todo el ambiente de la vida humana, no podemos sustraernos a la arquitectura ya que formamos parte de la civilización, pues representa el conjunto de modificaciones y alteraciones introducidas en la superficie terrestre exceptuando el desierto- cada uno de nosotros está obligado a custodiar la adecuada ordenación del paisaje terrestre, cada cual con su espíritu y con sus manos, en la porción que le corresponde, para no transmitir a nuestros hijos un tesoro menos que el que nos dejaron nuestros padres”.

– W.Morris, 1881

Los últimos proyectos, que he realizado en esta escuela, los ha encabezado la anterior cita de William Morris. Por tanto, esta forma de entender la arquitectura, es recurrente en mi forma de proyectar; así pues, decidí como trabajo final tras seis años de formación, investigar cómo podemos lograr a través de nuestra profesión cuidar nuestro planeta, usando todo lo que éste nos proporciona de manera natural.

Se elige la tierra porque es, entre todos los ecomateriales, la que posee la carga simbólica y afectiva de mayor fuerza, capaz de dar un nuevo sentido a nuestro futuro e impulsar un nuevo rumbo. Derivada de una creatividad popular, que precisamente proviene del hecho de que no se separa de su entorno, la tierra es contextual y arraigada en su territorio. Nos vincula a nosotros mismos y al mundo.

Pero ¿no sería más lógico priorizar, en la medida de lo técnica y económicamente factible, el uso de materiales de origen local y bajo costo energético, procurando además que sean naturales, saludables, perdurables, reciclables y que su producción, uso y descarte sean lo menos problemáticos posible?

– IIIer Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra

¿ES LA TIERRA UN MATERIAL PERTINENTE PARA CONSTRUIR EN LA ACTUALIDAD?

Se plantean una serie de preguntas de partida para el comienzo de la investigación:

¿Por qué tierra? ¿Por qué no se estudia? ¿Por qué se relaciona con una arquitectura pasada? ¿Se asocia con la pobreza y precariedad? ¿Qué podemos crear con este material? ¿Hasta dónde pueden ser usadas sus cualidades plásticas y físicas? ¿De qué manera conseguir un ambiente confortable? ¿Cómo es su ciclo de vida?

Es necesario comprender que para minimizar los impactos negativos se necesita el rescate de materiales y técnicas tradicionales, que ahora podemos mejorar con los conocimientos y tecnologías actuales, siendo estos materiales, como la tierra, de procedencia natural, saludables, perdurables y reciclables con un consumo de energía muy bajo en su producción y transporte, a diferencia de otros frecuentemente empleados actualmente que suponen un riesgo para la salud y seguridad de las personas y medio ambiente.

A grandes rasgos, establecemos una comparativa entre la tierra (material natural) y otros sintéticos, desde un punto de vista ecológico:

Materiales sometidos a procedimientos industriales, es el ejemplo de materiales metálicos, asfalto, alquitrán (impermeabilizantes), formaldehidos (colas, aglomerados) fenol (espumas o resinas) PCB, PVC, estireno, tolueno, xileno (usado para plásticos)

Tienen consecuencias como: emisión radiactiva, impacto ambiental negativo, costosos ciclos de producción uso y desecho, balance energético desfavorable, no renovables y efectos nocivos sobre la salud (daños en vías respiratorias, en el sistema nervioso, cancerígenos, además pueden ser tóxicos y narcotizantes).

Tierra cruda:

Muy especialmente en el medio rural, es posible sustituir la falta de recursos económicos por capacitación y transferencia de tecnologías. En el campo está (casi) todo, solo necesitamos la actitud.

Son muchas las ventajas de la tierra para la construcción, , podemos evaluarlas según sus ventajas medioambientales, cualidades técnicas y confort y estética.

La tierra es:

ECOLÓGICA: Su extracción se realiza sin procesos químicos, sin generar residuos y con poca energía. No contamina ni el aire, ni el suelo ni la capa freática.

NATURAL: Proviene de la degradación de la roca madre y su empleo para la construcción no es perjudicial para la agricultura ya que lo que se aprovecha son las capas interiores, reservando la superficial para dicha actividad.

DIVERSA: Existen diferentes técnicas procedentes de las diferentes culturas y características de los pueblos que las empleaban.

ECONÓMICA EN ENERGÍA: Para la transformación de la materia prima al material constructivo se necesita poca energía y no existen gastos de transporte, ya que la extracción suele realizarse en el lugar de proyecto

ESTRUCTURAL Y RESISTENTE: La historia nos demuestra que la tierra es un material mecánicamente resistente, compatible con todos los climas.

REPARABLE Y RECICLABLE: El material puede ser reparado con facilidad, sin que apenas se noten los nuevos retoques y, puede reciclarse hasta el infinito. Cuando la construcción se quiere demoler, esta se mezcla con su lugar de procedencia o reutilizar para otra construcción.

FÁCIL DE TRABAJAR Y USAR: La tierra se presta a la participación colectiva, así como a la autoconstrucción. Es compatible con el resto de materiales. Es apreciada para la restauración ya que se adapta con facilidad a muros antiguos.

CÁLIDA Y CÓMODA. Este material presenta una gran variedad de colores naturales y texturas. Además, los muros interiores contribuyen a que el ambiente sea sano, los muros absorben olores; su porosidad y el cambio de fase (alternancia entre el estado líquido y vapor) permite el paso de vapor de agua, absorben los ruidos emitidos en el interior, reducen la reverberación en las habitaciones y son un obstáculo a los sonidos exteriores; además los muros presentan una inercia térmica que ralentiza los intercambios de temperatura entre el interior y el exterior.

CAPÍTULO 2: PASADO

Comprender nuestro pasado, para desarrollar el presente y proyectar un futuro

TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

Mampostería

Monolíticas

Mixtas

TESTIMONIOS

Arqueológicos

Históricos

Vernáculos

EJEMPLOS:

Hassan Fathy

ANEXO I:

**TROPICAL-
TEMPLADO**

SECO

CONTINENTAL

TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

¿Por qué tierra? ¿Cuáles son, en todo el mundo, las distintas formas de ejecutar este material? ¿Qué técnicas tradicionales existen? ¿Qué expresiones arquitectónicas permiten?

Para conocer en profundidad las posibilidades de este material, es necesario comprender su construcción y características de las técnicas constructivas pasadas.

Se analiza la geología y materia de este material:

Nuestro planeta está compuesto principalmente por tierra, agua y aire. Esta primera, podemos encontrarla en casi cualquier lugar del planeta.. Está compuesta principalmente por guijarros, grava, arena, limo y arcilla. A finales del siglo XVIII, François Cointeraux, impulsor de la ciencia “agriectura” afirmó que es imprescindible entender el agua como componente básico y esencial para la construcción y arquitectura de tierra. Si se le añade este segundo componente principal, agua, conseguimos fácilmente un material con el que el hombre se ha servido para cobijarse desde las primeras civilizaciones, bajo todas las condiciones climáticas y en todos los puntos geográficos

Podemos concretar la siguiente definición:

Tierra: mezcla de dos tipos de suelo: arena (la cual aporta resistencia ante una posible carga) y arcilla (desempeña el papel de conglomerante, cohesiona y aporta plasticidad, relacionándose directamente con un buen comportamiento mecánico).

La proporción aproximada es de 0-15% grava, 40-65% arena, 18-35% limos y 15-20% arcilla.

Para este estudio, se toman como punto de partida, una serie de premisas comunes relacionadas con la sostenibilidad y eficiencia energética por ello, solo se analizaran técnicas cuyo material sea la tierra

cruda, sin cocer porque es la que menos energía consume;
 “...tesoro al alcance de la mano, disponible bajo nuestros pies”

Claude Levi-Strauss

Por su facilidad de ejecución, puede ser utilizada por mano de obra no especializada. Se realiza con las manos y una herramienta simple: pala chata y afilada. No lleva procesos de producción, no consume energía y no contamina. El material se encuentra disponible en la naturaleza

Las técnicas de construcción tradicionales son varias y definimos tres formas para clasificarlas:

Según el estado de la tierra:						
<i>Estado plástico</i>				<i>Estado seco</i>		<i>Estado líquido</i>
Adobe	Cob	Bahareque	Terrón	BTC	Tapia	Tierra alivianada

Según su ejecución:						
<i>Técnicas Monolíticas</i>		<i>Técnicas de Mampostería</i>			<i>Técnicas mixtas</i>	
Tapia	Cob	Adobe	Terrón	BTC	Tierra alivianada	Bahareque

Según su estabilización:						
<i>Incorporación de químicos</i>		<i>Estabilización física</i>			<i>Estabilización mecánica</i>	
Tapia	(Cal -cemento)	Adobe	Bahareque	Cob	BTC	

La clasificación escogida para su análisis, será según su ejecución y puesta en obra. En cuanto a la primera, tenemos como principal referente el adobe, que actualmente esta técnica ha evolucionado y ha definido otras como el BTC o superadobe. Consiste en la fabricación de bloques que se unen entre ellos para realizar una obra de fábrica.

Las monolíticas, se basan en el amasado de muros de una sola pieza. Se conoce la tapia como gran protagonista, además de otras como el COB o Terrón.

Las técnicas mixtas o de entramados, se ejecutan relleno un encofrado con tierra, siendo esta estructura la que determina la solidez del conjunto y es portante.

El bahareque, quincha, adobillo o tierra alivianada son algunos ejemplos. Actualmente existen aleaciones con otros materiales como estabilizantes para aumentar la durabilidad de la construcción con tierra, que veremos en el Capítulo III.

T.MAMPOSTETRÍA: ADOBE



Fig.1 Edificio hausa de paredes de adobe, con ventanas y puertas pequeñas para regular la temperatura

Fuente: HABITAT, Sandra Piesk. Blume (2107)

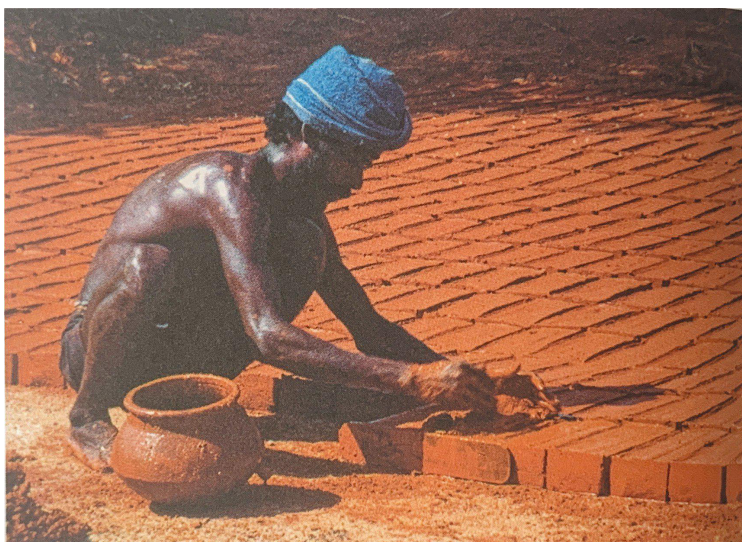


Fig.2 Formación de adobe

Fuente: DETHIER, J. (2019) "Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 350-400)

FICHA TÉCNICA: **ADOBE**

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer

COMPOSICIÓN IDONEA

Arcilla	10-20%
Arena	55-70%
Limo	15-25%
Otros	-

DENSIDAD CONDUCTIVIDAD

1200 kg/m ³	0,46 W/ mk
------------------------	------------

ESTABILIDAD: MORTERO:

Se puede incorporar cemento, cal o paja	Cemento, yeso, cal, bosta o barro
---	-----------------------------------

COMPORTAMIENTO ANTE :

FUEGO	BUENO
SÍSMOS	REGULAR
RADIACIÓN SOLAR	BUENO
EROSIÓN	BUENO
HUMEDAD	TRATAMIENTO NECESARIO
INSECTOS	REGULAR
TÉRMICO	BUENO

FLEXIBILIDAD ANTE :

INSTALACIONES EMBUTIDAS	SI
POSIBLE CRECIMIENTO	SI
ALMACENAMIENTO	SI
REFUERZOS POSTERIORES	SI
PINTURAS/REVOCOS	SI

DIMENSIONES GENERALES RECOMENDADAS:

Para adobes rectangulares: el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho.
 La relación entre el largo y la altura debe ser de 4 a 1.
 En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.
 Para adobes cuadrados : 38x36x8 +2cm mortero = 40x40x10

Las dimensiones más habituales de bloques de adobe serán de 60x30 cm y 40 x 20 cm

ESPESOR DE MURO : > 35 cm

CONFIGURACIÓN:

Albañilería simple de bloques de tierra cruda.
 No tiene refuerzos verticales. Refuerzos horizontales: llaves, dinteles y soleras
 Puede encontrarse recubierto para evitar su erosión por agua

DISEÑO DE ELEMENTOS:

Adobe mejorado	Adobe reforzado
Adobe prensado	Adobe prensado machiembrado
Adobe estabilizado	Adobe tipo "U"
Bloque suelo cemento	Bloque tipo "Vaso"

Nº MÍNIMO DE OBREROS NECESARIOS: 2

MODALIDAD DE PRODUCCIÓN: Artesanal/semi-industrial

SISTEMA ESTRUCTURAL: Lineal/ portante/ macizo

CONTROL DE CALIDAD : A los 30 días

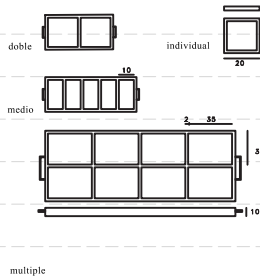
TIEMPO DE SECADO : 10-14 días

FORMACIÓN DEL ADOBE

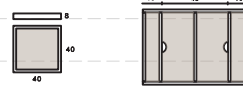
TIPOS DE ADOBE:
 Adobes: bloque de barro producido artesanalmente y secado al aire.
 dimensiones del adobe entero 30x30x10 cm o 40x40x10 cm
 Adobones: de mayor dimensión, debe

permitir manipulación con dos manos, suele aligerarse.
 dimensiones del adobon: 50x60x8 cm o 15x24x34 cm
 Paneles prefabricados: no portantes, hechos de barro aliviado 30x60x12 cm o 62,5x100x12 cm

ADOBERAS: BLOCK-MAKING



MEDIDAS RECOMENDADAS:

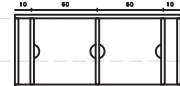


individual

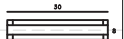


medio adobe

PARA GRANDES DIMENSIONES:



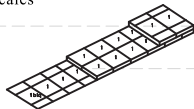
adobones



FORMACIÓN DE MUROS

TIPOS DE ENCUENTROS O AMARRES

Aparejo sin mortero en juntas verticales



ENCUENTRO EN T

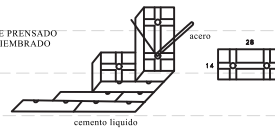
Primera hilada



Segunda hilada

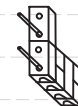


ADOBE PRENSADO MACHIEMBRADO



EVOLUCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS:

ADOBE TIPO U



ENCUENTRO EN X

Primera hilada



Segunda hilada



ENCUENTRO EN L

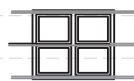
Primera hilada



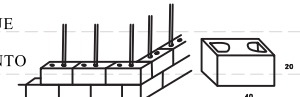
Segunda hilada



ADOBE TIPO VASO

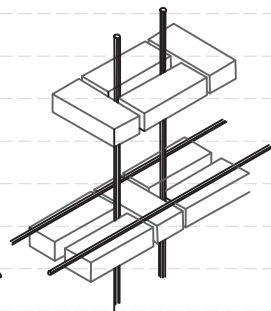


BLOQUE CON CEMENTO

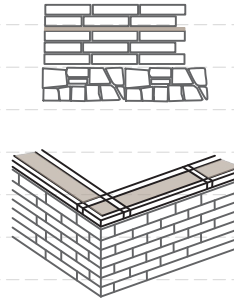


REFUERZOS VEGETALES EN MUROS DE ADOBE:

1. Para sujetar la viga de coronación del muro se embeberan piezas de bambu o de madera de 5cm x 60 cm de longitud, rellenando el hueco restante con mortero



viga coronacion muro



Elemento de arrioste horizontal, a la altura de dinteles y ventanas a lo largo de todo el muro. Seran piezas de madera labrada, unidas por travesaños cada 1,20 m. El espacio entre piezas se rellenara con barro. Sobre esta viga se colocaran cuatro hiladas mas.

2. Refuerzos en ambas direcciones :
 Cañas verticales separadas cada 60cm
 Cañas horizontales cada 4 hiladas aprox.

T.MAMPOSTERÍA: **BTC**



Fig.3 y 4 BTC, el sustituto eficiente del ladrillo convencional

Fuente: Artículo Mundo Constructor 2018.

FICHA TÉCNICA: **BTC**

Pieza Similar en forma al adobe, pero diferente en su forma de producción.

Obtenido mediante la compresión de tierra húmeda, y su posterior moldeado y desmolde inmediato

COMPOSICIÓN IDONEA

Arcilla	10-20%
Arena	55-70%
Limo	15-25%
Otros	-

DIMENSIONES GENERALES RECOMENDADAS:

El BTC puede ser producido en diferente forma y dimension dependiendo del molde que lo contenga

TAMAÑO DEL BLOQUE VISIBLE

14cm x 14m
14cm x 21,75cm
14cm x 29,5cm

ESPESOR DE MURO : 30- 40cm

DENSIDAD CONDUCTIVIDAD

1200 kg/m³ 0,81 W/ mk

ESTABILIDAD: MORTERO:

Se puede incorpora un 10% de cal para la fabricación de bloques Gravilla nº7 en un 20% con la arena y cemento 1:10 en volumen

COMPORTAMIENTO ANTE :

FUEGO	REGULAR
SÍSMOS	REGULAR
RADIACIÓN SOLAR	BUENO
EROSIÓN	BUENO
HUMEDAD	TRATAMIENTO NECESARIO
INSECTOS	REGULAR
TÉRMICO	BUENO

CONFIGURACIÓN:

Los bloques a ser colocados con junta de mortero deberán posibilitar una junta vertical continua de 15mm.Las caras horizontales deben permitir la ejecución de juntas horizontales continuas.Las caras de bloque deben ser planas

DISEÑO DE ELEMENTOS:

Bloque macizo	Bloque macizo con rebaje tres cuartos
Bloque macizo acuñaado	
Bloque macizo con rebaje entero	Bloque Mattone
Bloque macizo con rebaje medio	

Nº MÍNIMO DE OBREROS NECESARIOS: 2

MODALIDAD DE PRODUCCIÓN: Artesanal/semi-industrial

SISTEMA ESTRUCTURAL: Lineal/ portante/ arco

CONTROL DE CALIDAD : A partir de 30 días

TIEMPO DE SECADO : 14-30 días

FLEXIBILIDAD ANTE :

INSTALACIONES EMBUTIDAS	NO
POSIBLE CRECIMIENTO	SI
ALMACENAMIENTO	SI
REFUERZOS POSTERIORES	SI
PINTURAS/REVOCOS	SI

T.MONOLÍTICAS: TAPIAL



Fig.5 y 6 Muros de tapia en viviendas de Najarán, Arabia, donde son evidentes los estratos de tierra específicos de esta técnica.

Fuente: DETHIER, J. (2019) " Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 350-400)

FICHA TÉCNICA: TAPIAL

Técnica basada en rellenar un encofrado con capas de tierra (10-15cm) compactándolas con un pison. La tierra se extrae del suelo directamente y debe de estar seca para una buena cohesión

COMPOSICIÓN IDONEA

Arcilla	60%
Arena	20%
Limo	10%
Otros	10% (paja/ estiércol)

DIMENSIONES GENERALES RECOMENDADAS:

Tapiales:
 Altura: 75-85 cm (altura máxima para la ejecución de los operarios)
 Grosor: para mantener el límite de 25 Kg de peso, es del orden de 2,5 cm.
 Longitud: 2.60 m (min. 1,60/max.4.20m)
 Ancho: 30cm como mínimo para posibilitar la manipulación del pison

ESPESOR DE MURO : >30 cm

DENSIDAD

CONDUCTIVIDAD

1400- 2000 kg/m3 0,6- 1,6 W/ mk

CONFIGURACIÓN:

Se trabaja con mezcla de tierra apisonada casi seca, no hay fisuras de secado. En caso de que se desee agregar revoques pueden proveerse en el momento de construir el muro los elementos que permitirán la adherencia de los mismos

ESTABILIDAD:

MORTERO:

Piedra o grava 10% vol No necesita
 Estiércol, cal, bitumen

DISEÑO DE ELEMENTOS:

Tapia	Tapial reforzado
Tapial	Tapial calistrado
Tapial mejorado	Tapial delgado
Paneles suelo cemento	Tapial con piedra

COMPORTAMIENTO ANTE :

FUEGO	BUENO
SÍSMOS	MALO
RADIACIÓN SOLAR	BUENO
EROSIÓN	REGULAR
HUMEDAD	TRATAMIENTO NECESARIO
INSECTOS	REGULAR
TÉRMICO	BUENO

Nº MÍNIMO DE OBREROS NECESARIOS: 3

FLEXIBILIDAD ANTE :

MODALIDAD DE PRODUCCIÓN: Artesanal

SISTEMA ESTRUCTURAL: Macizo/ portante

INSTALACIONES EMBUTIDAS SI

CONTROL DE CALIDAD : Resistencia a compresión-
durabilidad-impacto

POSIBLE CRECIMIENTO SI

TIEMPO DE SECADO : 14- 60 días

ALMACENAMIENTO NO

REFUERZOS POSTERIORES SI

PINTURAS/REVOCOS SI *

T.MONOLÍTICAS: COB



Fig.7 Fotografía.
Aglomeración de viviendas
de Al-Khuraibah, valle del
Hadramaut.

Fuente: DETHIER, J.
(2019) “ Habiter le terre”.
Blume, Bussière, París.
(págs. 350-400)

FICHA TÉCNICA: **COB**

Muros de tierra cruda fresca, ejecutada in situ, sin encofrado, dándoles forma manualmente. Se fabrican bolas para ir montando el muro con un ángulo de 45.

DIMENSIONES GENERALES RECOMENDADAS:

Cada 5 o 6 metros según las condiciones del sitio, se recomienda hacer uso de elementos verticales para reforzar el Cob de paredes rectas. Es muy común incorporar formas curvas en el desarrollo de estos muros para no depender de este tipo de elementos.

ESPESOR DE MURO : espesor descendente 25-40cm

CONFIGURACIÓN:

Una vez secada la mezcla, la paja interior queda trabada como una red tridimensional y las paredes se transforman en una pieza monolítica de forma piramidal

DISEÑO DE ELEMENTOS:

COB
COB piramidal
COB redondeado
COB reforzado con madera

Nº MÍNIMO DE OBREROS NECESARIOS: 4

MODALIDAD DE PRODUCCIÓN: Artesanal

SISTEMA ESTRUCTURAL: Macizo- Portante

CONTROL DE CALIDAD : Selección de arcillas no expansivas

TIEMPO DE SECADO : Mínimo 15 días

COMPOSICIÓN IDONEA

Arcilla	40%
Arena	60%
Limo	-
Otros	Fibra vegetal

DENSIDAD CONDUCTIVIDAD

1615 kg/m³ 0,7 W/ mk

ESTABILIDAD: MORTERO:

Paja fresca, fibras vegetales o cascarilla de cereales No necesita

COMPORTAMIENTO ANTE :

FUEGO	BUENO
SÍSMOS	BUENO
RADIACIÓN SOLAR	BUENO
EROSIÓN	T.N
HUMEDAD	T.N
INSECTOS	MALA
TÉRMICO	BUENO

FLEXIBILIDAD ANTE :

INSTALACIONES EMBUTIDAS	SI
POSIBLE CRECIMIENTO	SI
ALMACENAMIENTO	NO
REFUERZOS POSTERIORES	SI
PINTURAS/REVOCOS	SI

T.MIXTAS: BAHAREQUE

Fig.8 Fotografía.
Viviendas tejidas en Sud-
áfrica empleadas en casas
colmena de los zulúes

Fuente: HABITAT, Sandra
Piesk. Blume (2017)



Fig.9 Fotografía.Casas de
pueblo tembe-tsonga

Fuente: HABITAT, Sandra
Piesk. Blume (2017)



FICHA TÉCNICA: BAHAREQUE

Consiste en la formación de una malla doble, compuesta de elementos verticales y horizontales que posteriormente se rellenara con barro.

COMPOSICIÓN IDONEA

Arcilla	60%
Arena	30%
Limo	10%
Otros	

DENSIDAD CONDUCTIVIDAD

700 kg/m ³	0,8 W/ mk
-----------------------	-----------

ESTABILIDAD: MORTERO:

Puede incorporarse paja o, en el caso del bahareque mejorado cemento o cal No necesita

COMPORTAMIENTO ANTE :

FUEGO	BUENO
SÍSMOS	BUENO
RADIACIÓN SOLAR	BUENO
EROSIÓN	T.N
HUMEDAD	T.N
INSECTOS	REGULAR
TÉRMICO	BUENO

FLEXIBILIDAD ANTE :

INSTALACIONES EMBUTIDAS	SI
POSIBLE CRECIMIENTO	SI
ALMACENAMIENTO	SI
REFUERZOS POSTERIORES	SI
PINTURAS/REVOCOS	SI

DIMENSIONES GENERALES RECOMENDADAS:

Para el diseño de los elementos de bahareque prefabricado óptimo, llamado quincha:
Se dispondrán de bastidores de 2,20 x 1,00 x 0,16
Entre los montantes intermedios se localizaran varas de bambú a modo de contraviento de 15cm diámetro.
La trama de cañas (madera o bambú) son fijadas con alambres y clavos.

ESPESOR DE MURO : >20 cm

CONFIGURACIÓN:

Sistema flexible con buen comportamiento ante impacto de sismos. Los elementos verticales normalmente son de madera o troncos de arboles, y los horizontales están compuestos de caña de bambu, caña brava, carizo o ramas.

DISEÑO DE ELEMENTOS:

Bahareque mejorado	Bahareque prefabricado
Quincha	Torta
Quincha mejorada	Torta aerada
Bahareque con piedra	

Nº MÍNIMO DE OBREROS NECESARIOS: 4

MODALIDAD DE PRODUCCIÓN: Artesanal- semi-industrial

SISTEMA ESTRUCTURAL: Lineal/ autoportante

CONTROL DE CALIDAD : Selección de tierra

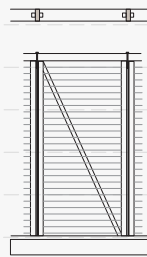
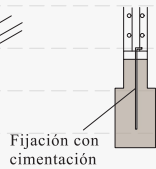
TIEMPO DE SECADO : Mínimo 30 días

DETALLES CONSTRUCTIVOS BAHAREQUE

ESTRUCTURA Y RELLENO:
 Detalles del bahareque convencional. Se trata de una trama de cañas de bambu fijadas con alambres y clavos a una estructura de madera que permite un mejor ensamblado acabado



ZUNCHO con topes y parantes intermedios

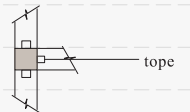


luz de 80-1,20m

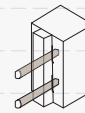
Encuentro esquina



Encuentro T

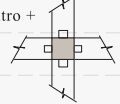


Fachada arriostrada contravento



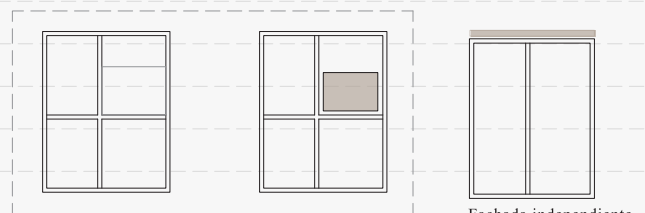
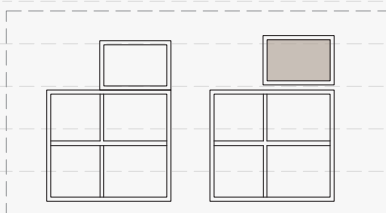
topes y alambres

Encuentro +

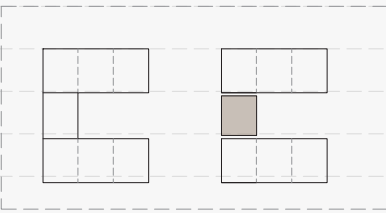


RECOMENDACIONES DE DISEÑO

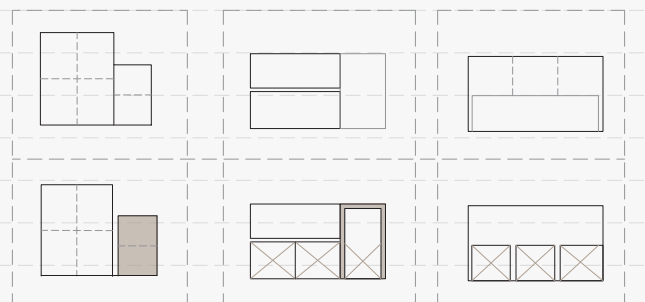
Cualquier adición que no sea de estructura de bahareque conviene aislarla para que trabaje de manera independiente



Se debe evitar la irregularidad en la planta, tanto geoméricamente como por rigidez. Una solución puede ser la redistribución, generando juntas estructurales.



NO RECOMENDABLE



TESTIMONIOS

TESTIMONIOS ARQUEOLÓGICOS:

¿Que nos enseña la arqueología?

¿Qué podemos aprender del patrimonio, de nuestros antecesores, para desarrollar nuevas formas de arquitectura, en relación con los desafíos climatológicos? ¿Cómo convertían la adversidad en ventaja? ¿Cuáles eran las soluciones constructivas que adoptaban para protegerse frente a las condiciones naturales con la naturaleza como única tecnología disponible?

El patrimonio arqueológico de tierra, demuestra que este material ha permitido a sociedades desarrollar ciudades desde hace 11.000 años. Esta experiencia nos confirma que la tierra es un recurso de “carbono cero” que va de la mano con los principios sostenibles que perseguimos hoy en día.

A continuación vemos, cómo las diferentes culturas constructivas asociadas a la tierra, han experimentado una gran difusión a través de todas las zonas climáticas definidas en este capítulo (A,B,C). Un recorrido a través de diferentes escalas, desde la calidad de los sistemas constructivos, sofisticación de su ejecución y puesta en obra hasta el planeamiento de ciudades y territorios.

A. TROPICAL-TEMPLADO

A1. AGLOMERACIÓN NEOLÓTICA, ANATOLIA

Se trata de un asentamiento de una sociedad de aproximadamente 3500-8000 habitantes edificado completamente en adobe, hace más de 9000 años, considerado Patrimonio Mundial de la Humanidad por la Unesco. La planimetría es singular, puesto que el acceso a las casas no se realiza a través de calles si no por sus terrazas planas, dispuestas de manera sucesiva que generaban vida comunitaria. Todo el interior está realizado con tierra a base de bancadas y nichos.

A2. TECNOCHTITLÁ, MÉXICO

Antigua capital de los aztecas, que se destruyó tras la colonización española, desapareciendo así una de las metrópolis más grandes del mundo.

Se levantaron casi 1000 hectáreas de tierra formando islas artificiales que albergaban distintos barrios dotados por una inmensa red de calzadas, canales e islotes flotantes en la periferia rodeados por juncos, que tenían como función evitar la erosión. Para su abastecimiento, sobre una capa de tierra fértil se reservaban espacios donde se practicaba la agricultura para el abastecimiento de los ciudadanos. Una gran obra desde el punto de vista del planeamiento y urbanismo

A3. HUACA DEL SOL, PERÚ

Resulta de la progresiva construcción durante siglos de distintas plataformas en las que albergaba el palacio de un nuevo soberano. En ellas se amontonan bloques de adobe estampados hasta llegar a alcanzar los 41m de altura, edificados sobre una vasta base rectangular (136x2289). Sin duda un gran ejemplo de la ejecución de una obra monumental con tierra cruda.



Fig 10. Fotografía. Huaca del Sol, Perú

Fuente: HABITAT, Sandra Piesk. Blume (2017)



Fig 11. Fotografía. Metrópolis de Teotihuacán, México.

Fuente: HABITAT, Sandra Piesk. Blume (2017)



Fig 12. Fotografía. Catal Huyuk, Anatolia

Fuente: HABITAT, Sandra Piesk. Blume (2017)

B. CONTINENTAL

B1. CASAS NEOLITICAS, EUROPA

La revolución neolítica supuso la invención de la ganadería y agricultura hace 10.000 años aproximadamente, esto conllevó el nacimiento de las primeras viviendas sedentarias y construidas con tierra, localizadas en lo que es hoy Iraq y Siria (Creciente Fértil). Este tipo de construcción se transmitió a Europa del Este a través de Turquía, definiendo el primer modelo de casa urbana, con planta rectangular de grandes longitudes (45 m). La estructura estaba sujeta por postes de madera y rellenos de tierra, lógica constructiva denominada torchis usada hoy en día en vivienda rural.

B2. EARTHEN MOUNDS, VALLE DEL MISISIPI

A Mound Builders o constructores de montículos fue una figura que se desarrolló en América del Norte. Estos montículo de tierras eran conjuntos monumentales de forma orgánica y de uso ceremonial (religioso-funerario) o residencial. Las dimensiones de estos enclaves oscilan entre los 300 m de longitud y cuentan con taludes de 2 m; es el caso de Poverty Point o Watson Brake e Luisiana o Newark en Ohio

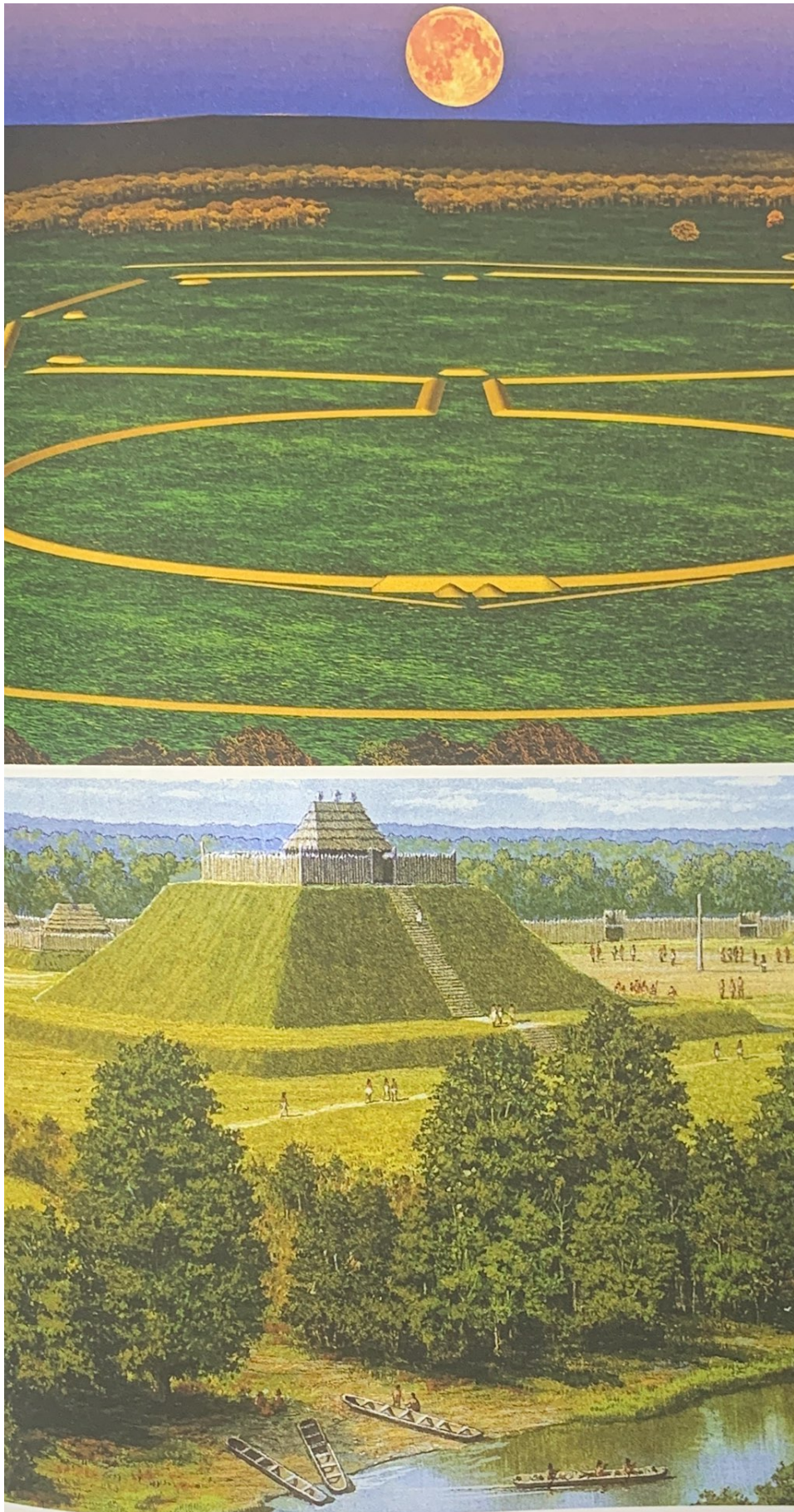


Fig 13. Fotografía. Newark, Ohio.

Fuente: HABITAT, Sandra Piesk. Blume (2017)

C. SECO

C1. MESOPOTAMIA

Ciudad rica en economía y avances tecnológicos como el riego o escritura pero pobre en materiales, así pues, recurrieron a la tierra como generadora de ciudad, construyendo innumerables obras, a distintas escalas, desde metrópolis, murallas, puertas monumentales o templos. Entre ellas cabe destacar el zigurat o primeros rascacielos de nuestra historia, contruidos en base ortogonal y alcanzaban hasta los 50 m de altura. La masa central estaba compuesta por bloques de tierra cruda y para asegurar la estabilidad se colocaban ladrillos cocidos esmaltados.

C2. EGIPTO

Al igual que en Mesopotamia, Egipto también hizo un uso frecuente de la tierra para construir. Gracias su condición geográfica y proximidad con el Nilo. Egipto es un don del Nilo, Herodoto.

Gracias al agua se regeneraban las tierras y aseguraban un aporte masivo disponible a lo largo de toda la vía fluvial. La tierra se utilizó sobre todo para arquitecturas cotidianas y relacionadas con actividades domésticas, viviendas adyacentes a templos proyectadas para todas las clases sociales. Se puede relacionar por tanto con una habilidad popular.

Destacan otras tipologías arquitectónicas como las pirámides, formadas por masas de adobe; pero es en las ciudadelas defensivas donde mejor se manifiesta el rigor, precisión y durabilidad de esta arquitectura. Hassan Fathy en el siglo XX, redescubrirá la técnica constructiva de la bóveda Nubia, que incorporará en sus proyectos.

C3. GRANDES FORTALEZA, UZBEKISTÁN

En el continente asiático son varios los restos arqueológicos de este tipo, realizados con tierra cruda. El Patrimonio Mundial de la Unesco reconoce la Gran Fortaleza de Merv y la Itchan Kala, que defendía la ciudad de Khiva en Uzbekistán, cuya forma sinusoidal nos enseña las capacidades plásticas de la tierra como material constructivo.



Fig 14: Fotografía. Puerta Ishtar, Babilonia

Fuente: DETHIER, J. (2019) "Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 76)

TESTIMONIOS HISTÓRICOS

¿Qué nos enseña la historia?

Cuando las revoluciones explican la evolución del arte de construir con tierra.

Jean Dethier

Palabras clave: Revolución urbana, conquista árabe, imperialismo colonial moderno, Revolución Francesa, Ilustración, Revolución identitaria musulmana, Revolución energética.

Podemos distinguir etapas históricas asociadas a revoluciones de naturalezas diferentes, como impulsoras de la evolución y difusión de la construcción con tierra. Como el paso de la vida nómada a sedentaria que supuso la 'revolución urbana' que dio lugar en Asia occidental a las primeras sociedades y aglomeraciones, que a su vez supuso el desarrollo de tipologías edificatorias como viviendas, palacios o templos de culto. Estas técnicas perfeccionadas se transmitieron al resto de continentes.

La civilización árabe-musulmana exportó gracias la expansión del islam, sus ya asentados conocimientos sobre la construcción con tierra, mezclándose tanto con bereberes como con judíos y cristianos, que llevan a cabo un refinamiento de la técnica. Una vez germinada en España gracias a la invasión musulmana, se exporta a su vez, través de la colonización a América, contrastando con los sistemas que las culturas nativas ya habían desarrollado hace tiempo en este continente.

Siguiendo las aportaciones de la Ilustración y Revolución Francesa, y con François Cointeraux como personaje destacado, se alcanzaría el pleno desarrollo de la técnica en Europa y más tarde en todo el mundo.

Será con Hassan Fathy, y la Conferencia de Bandug, ambos reclamaban la identidad e independencia de Egipto, cuando se haga una mirada hacia atrás en el tiempo y se rescaten estrategias locales.

En la década de los 70 del siglo XX, tras las dos crisis petroleras y la Revolución ecológica, resurgirán grupos como CRAtierra o arquitectos como Anna Heringer que incentivarán la renovación del arte de construir con tierra.

Como vemos, la tierra siempre ha resuelto las necesidades sociales con diversas tipologías edificatorias. Existen cientos de formas diferentes de vivienda inventadas en todo el mundo. Inventaron técnicas y lenguajes arquitectónicos, en ocasiones de manera ingeniosas, emergiendo formas inéditas y memorables como la Alhambra de Granada, o la Muralla China.

En este apartado no se pretende analizar tanto las obras de tierra más destacables, si no, el estudio a escala de ciudad y modelos urbanos que han existido a lo largo de toda la historia, que pueden resultar útil actualmente y en un futuro, y además de demostrar cómo la tierra puede superar desafíos de esta dimensión, como ya hizo Shibam, en Yemen cuyo planeamiento sirvió a por Napoleón III para construir París en el siglo XIX

A. TROPICAL-TEMPLADO

AA1. MURALLA CHINA Y TULOUS

Se trataba de un conjunto de fortificaciones militares para su defensa frente a las fronteras del norte, su longitud supera los 20.000 km, 7 m de alto y entre 4-5 m de ancho. Al atravesar distintas regiones, cuando la piedra no se encontraba disponible, se hacía uso del muro de tapial para su construcción.

Otra tipología defensiva serán los Tolous, construcciones circulares erguidas con muros de tapial de 3 m de espesor y 70 m de diámetro.

El propio edificio se podría considerar una comunidad en sí misma, y el conjunto de estos podrían asimilarse a distintos barrios conformando en su totalidad pequeñas ciudades. Funcionaban de manera comunitaria, su organización espacial concéntrica concentraba lo siguiente: en el interior se encontraban los edificios más bajos como el templo y cocinas, bordeando este conjunto comunitario se alza el edificio periférico bordeado por galerías circulares, cada familia ocupa un segmento de planta trapezoidal de esta 'ciudad circular' donde la vida se organiza jerárquicamente según la altura: la parte inferior se dedica a los animales, las superiores al almacén y la superior a las habitaciones.

AA2. NUEVAS CIUDADES, BRASIL

Se estima que durante la colonización europea se dio pie a más de 200 centros urbanos nuevos. Un ejemplo es la ciudad de Tiradentes, en Brasil, su estructura urbana consistía en un patrón común a todos estos nuevos núcleos, siguen una planta reticular entorno a una plaza.

AA3. MEDINAS, MARRUECOS

Es una forma específica de ciudad inventada por la cultura árabe-musulmana, tomo como referencia Mesopotamia. Como hemos visto anteriormente, es una disposición compacta entre edificios de tierra, en la que cada uno de ellos se desarrolla en torno a un patio. Esta estructura tan densa responde con gran habilidad a las adversidades climáticas del lugar. Es el ejemplo de Fez, Rabat o la medina de Marrakech.



Fig 15 : Fotografía. Tulous, China.

Fuente: DETHIER, J. (2019) " Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 90-123)

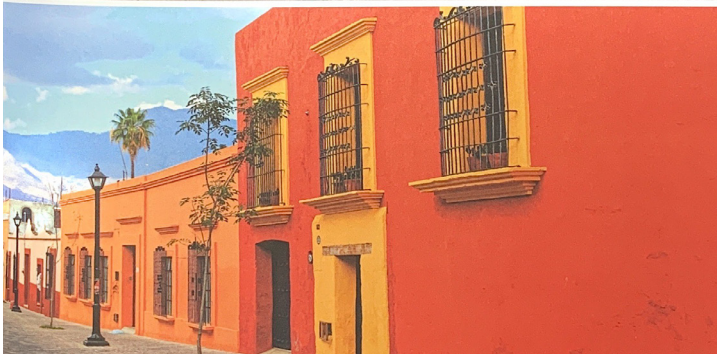


Fig 16 : Fotografía. Nuevas ciudades de colonización, America Latina.

Fuente: DETHIER, J. (2019) " Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 90-123)



Fig 17 : Fotografía. Medina de Fez, Marruecos.

Fuente: DETHIER, J. (2019) " Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 90-123)

B. CONTINENTAL

BB1. TAOS, NUEVO MÉXICO

Fundado en el siglo XVIII, consiste en una comunidad en Estados Unidos, construida al completo con adobe y ha sido habitada de manera ininterrumpida desde su inicio.

Está formado por un sistema de viviendas dispuesta de manera compacta en terrazas, así pues la terrada de una vivienda está ubicada en la cubierta plana de la casa inferior. Son las mujeres las que se encargan del revestimiento de tierra de manera periódica.

C. SECO

CC1. SHIBAM, YEMEN

Se trata de una ciudad levantada, en el siglo XIX, únicamente con tierra. De aproximadamente 6000 habitantes en menos de 8 hectáreas, se concentra un maravilloso ejemplo de cómo el adobe concilia las exigencias de urbanismo, economía material, durabilidad, compacidad y eficiencia medioambiental. Se concentran mezquitas, espacios públicos y casi 500 viviendas que se caracterizan por su verticalidad y su planificada organización espacial.

Como hemos visto en otros ejemplos, la vida en comunidad era una premisa a tener en cuenta a la hora de proyectar, así pues, estos edificios se estructuran reservando las plantas inferiores a almacenamiento, las dos superiores a albergar a la familia, que oscilaban entre los 10 miembros. Los niveles más altos servían para acoger a las mujeres, siendo colindantes con terrazas contiguas para permitir una comunicación directa entre las casas vecinas y favorecer las relaciones con otras familias.

Sobre los cimientos de piedra se construye a base de ladrillos de tierra, madar (adobe), cuya elaboración y ejecución se realiza por mano de obra cualificada fruto de una formación profesional impartida por maestros constructores, muestra de la importancia e integración que tiene la tierra en la vida y economía de los ciudadanos.

Resulta excepcional el confort de la ciudad gracias a la sombra que genera, la densidad urbana a los muros de tierra.

CC2. LA PERLA DEL DESIERTO, IRÁN

Yazd, ciudad situada en la meseta de Irán, su vista aérea permite contemplar el campo de bóvedas cúpulas de ladrillo cubiertas por una capa de tierra, y las líneas que dibujan los bâdgirs o captadores de viento. Las calles están salpicadas por arcadas para proyectar sombra y las viviendas cuentan con una parte soterrada sardab, para garantizar frescor en los meses más cálidos.

Los captadores de viento ventilan las fresqueras abovedadas y cisternas. La ciudad cuenta con una red de abastecimiento de agua conducida desde las montañas por un sistema de pozos y qanats.



Fig 18 y 19: Fotografía. Yazd, Irán.

Fig 20 y 21 :(página siguiente)
Ciudades de Ardestán y Meybod, Irán.

Fuente: DETHIER, J. (2019) “*Habiter le terre*”. Blume, Bus-sière, París.
(págs. 90-123)





TESTIMONIOS VERNÁCULOS

¿Qué nos enseñan los conocimientos vernáculos?

Lo que hace falta no es una nueva forma de construir, sino una nueva forma de vivir.

Arquitectura sin arquitectos, Bernard Rudofsky

Ivan Illich definió el "género vernáculo" como un término técnico, tomado del derecho romano, [que] designa lo contrario a una mercancía. Es vernáculo todo aquello que se confecciona, teje o construye en una casa y que se destina no a la venta, sino al uso doméstico. Así pues, puede clasificarse como arquitecturas vernáculos aquellas que, revelan cualidades tradicionales, que son testimonio de la cultura y modo de vida de un grupo social.

Este estudio sobre los asentamientos humanos tiene como objetivo, la comprensión de una sociedad, incluyendo la vivienda, la vida cotidiana, las costumbres, las creencias, la organización de trabajo, los materiales de construcción así como su origen y producción, ya que serán estos factores los que determinarán la arquitectura. Para llevar a cabo estas prácticas arquitectónicas vernáculos suelen realizarse, mediante un proceso de producción en el que se necesita la participación de actores locales, a menudo anónimos, fomentándose el trabajo en comunidad, convirtiéndose en una actividad social y tradición del pueblo.

Para un futuro ecorresponsable, resulta indispensable extraer una comprensión global de las enseñanzas vernáculos y continuar con la recopilación y análisis del conocimiento de todas estas técnicas para su actualización hoy en día.

Se hace referencia en este apartado, a las diferentes arquitecturas domésticas, generalmente rurales existentes en nuestro planeta

A. TROPICAL-TEMPLADO

AAA1. VERNÁCULO IGBO, NIGERIA

Esta tribu nigeriana ubicada en el este, es una de las más influyentes junto con los hasusa del norte y los yoruba en el sudoeste. La arquitectura vernácula igbo comparte ciertas similitudes con ambas. El conjunto típico es de planta ortogonal, con cubiertas inclinadas vegetales y huecos pequeños para regular el aumento de temperatura, y los muros se levantan con bloques de tierra curado (adobe). La distribución de las estancias se realiza según la relación del propietario de la habitación con el jefe de la cabaña.

AAA2. VERNÁCULO GURUNSI, GHANA

Se trata de un estilo arquitectónico muy expresivo y decorativo a base de barro. El conjunto tradicional consiste en varias estructuras circulares y rectas cuya función puede ser de vivienda o granero y unidas por altos muros exteriores. Los hombres suelen construir y las mujeres decorar, acto de bambolse. Se añaden habitaciones a medida que la familia aumenta, y cuando alguien muere, el espacio queda abandonado hasta su derrumbe, aunque las materias primas se quedan en el lugar para que una generación futura la use.

El uso de la escultura dibuja tanto el exterior como el interior, donde podemos encontrar aparadores de barro y complejas molduras para utensilios de cocina, hasta el exterior con escaleras talladas y pequeños huecos a modo de entrada que obliga a agacharse para poder entrar, encontrando inmediatamente después un muro que hay que superar a modo de sistema defensivo.

AAA3. ESTRUCTURAS AUTOCTONAS, VENEZUELA

Se generan dos tipos de viviendas (colectivas e individuales) la más común es la cabaña de los bari o piroa, cuyas cubiertas se prolongaban hasta el suelo. Las técnicas constructivas más comunes son el bahareque o tapial. En cuanto al primero, se corresponde con la técnica más usada y extendida relacionada con la arquitectura de paisaje rural. Esta técnica mixta consiste en la formación de un esqueleto a modo de estructura, de postes de madera entrelazados con cañas de bambú y cubiertos de arcilla, fabricada previamente en moldes. (Véase el apartado de técnicas constructivas de este capítulo). Sin embargo el tapial se corresponde con la etapa colonial del país, siendo más prestigiosa que la primera.

Los elementos formales y espaciales de estas cabañas son la respuesta a un control sobre la luz, viento adoptando estrategias pasivas para refrigerar y calentar las estancias; un ejemplo de esto pueden ser la idea de una gran cubierta impermeable e inclinada, opaca a la luz solar, ligera para evitar acumulación de calor y que permite el desagüe de las precipitaciones características de esta zona.

AAA4. VIVIENDAS SOORO, CAMERÚN

Se trata de cubiertas vegetales cónicas formadas con un tipo de hierba larga y fina que se asientan sobre las paredes de tierra de base circular. Las cubiertas están en voladizo creando aleros, consiguiendo generar sombra.

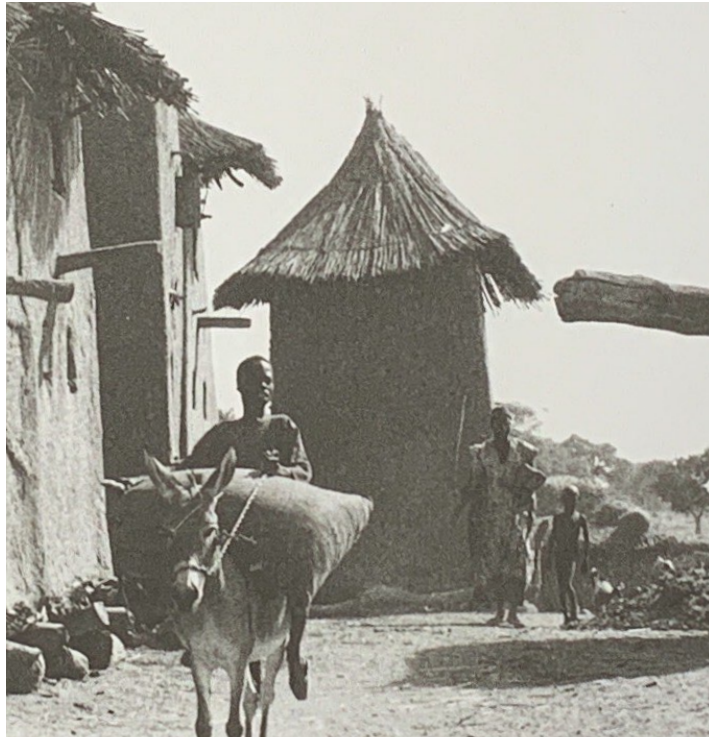


Fig 22 : Fotografía. Graneros en Ghana

Fuente: DETHIER, J. (2019) "Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 190-240)

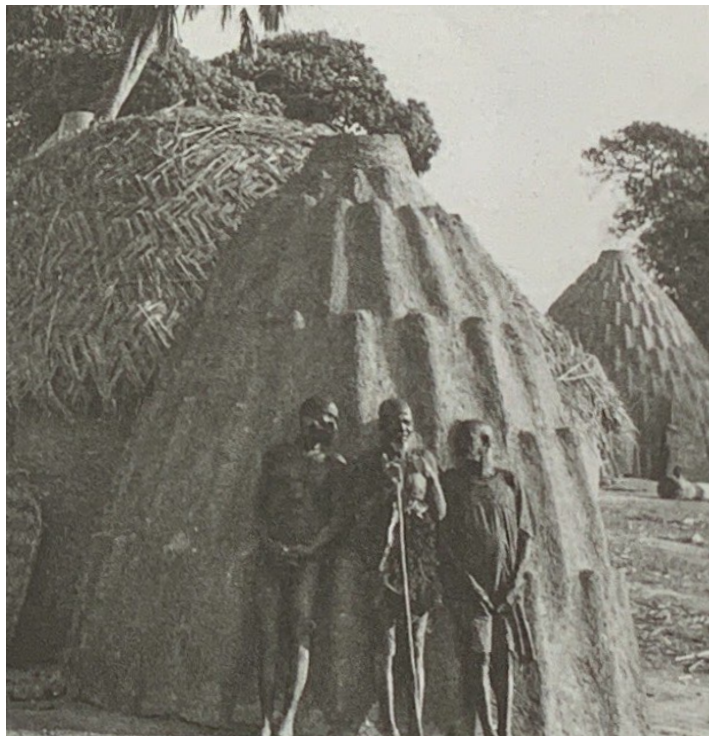


Fig 23 : Fotografía. Toleks en Camerún

Fuente: DETHIER, J. (2019) "Habiter le terre". Blume, Bussière, París. (págs. 190-240)

B. CONTINENTAL

BBB1. VIVIENDAS RURALES, CHINA.

Existe una gran variedad de viviendas con tierra en China, que albergan desde gente acomodada hasta campesinos. En el poblado de Shaxi, se ha empleado el uso de dos técnicas bauge y adobe para dar lugar a arquitecturas monumentales. Pese a que China es uno de los mayores consumidores actualmente de cemento para levantar sus ciudades, existe actualmente un renacimiento del uso de la tierra para la construcción de viviendas rurales, sobre todo con tapial.

BBB2. VIVIENDAS RURALES, ALEMANIA.

La tradición vernácula de casas con tierra, se conserva en pueblos alemanes, dónde encontramos vestigios arqueológicos de viviendas neolíticas. Se escogen técnicas como estructuras de madera rellenas de torchis en vez de, usar la madera de manera íntegra para la protección de sus bosques.

BBB3. ESTRUCTURAS DOMESTICAS, RUSIA ORIENTAL.

Casas de adobe, almacenes o estantes para secar el pescado, con procedencia del nordeste de China, se adaptaron a las condiciones del valle del Amur. Consisten en plantas rectangulares formadas por duelas clavadas entre las que se entrelazaban ramas y se fijaban mediante relleno de arcilla, para más tarde revocar las paredes y suelo de arcilla y hierba. Con una tubería de arcilla que recorría el suelo y paredes, para salir al exterior, circulaba el humo del hogar, calentando las zonas mas próximas al suelo, que se congelaban en verano.

Fig 24: Fotografía. Viviendas rurales en Bután, China (Pag. siguiente)

Fig 25 : Fotografía. Viviendas rurales en Alemania. (Pag. siguiente)

Fuente: DETHIER, J. (2019) “ Habiter le terre” . Blume, Bussière, París. (págs. 190-240) w



C. SECO

CC1. VIVIENDAS CONICAS, SIRIA.

Conocidas también como casa colmena, son construcciones de tierra. En la que cada estancia (células ortogonales de aproximadamente 5m de lado que desempeñan diferentes funciones, cocina, almacén, habitaciones etc...) de la vivienda está cubierta por una cúpula de volumen cónico sobre la cubierta plana. Se levantan sobre una base circular, se disponen los bloques de tierra en voladizo hasta el centro, realizando un recorrido helicoidal, el albañil coloca los ladrillos en sentido anti horario con el fin de facilitar el uso de su mano derecha, sin necesidad de andamios. El espesor de estas cúpulas corbelas suele oscilar entre los 350 y 500 mm

Una de las ventajas de estas cúpulas es su economía frente a techos planos, ya que la madera escaseaba, además de que, resisten mejor a la lluvia, tienen menos superficie expuesta al sol y consiguiendo unas condiciones climáticas optimas en el interior.

CC2. PUEBLOS DEL PAIS DOGÓN, MALI.

Tres tipologías edificatorias, la guina, casas compuestas por estancias rectangulares y muy ornamentadas, pertenecientes a los jefes de los linajes; los goh, a modo de almacén o granero, cubierto por techos cónicos de paja y por último los toguna o casa de asambleas, sostenida por ocho pilares de tierra y cubierta de paja que hace de escudo climático.

CC3. VIVIENDAS EN BAGDAG, IRAK.

Los gruesos muros de contención y paredes medianeras se construyen con técnicas de mampostería compuesta por dos capas de ladrillos con un núcleo central de trozos de diferentes tamaños y tipos, se unen con moteros de arena y cal. El ladrillo se produce con arcilla local. Los forjados son de estructura compuesta: madera (viguetas y tableros) y encima se cubre de tierra para nivelar.

Son casas con patio interior como medida microclimática, para poder diseñar espacios habitables a nivel de suelo. Las paredes medianeras son las encargadas de conducir las tomas de aire desde la azotea hasta los espacios interiores. Existen espacios subterráneos a modo de sótano para las siestas calurosas de verano.





Fig 26 , 27 y 28
Ciudad de Déné, Mali

Fuente: DETHIER, J. (2019)
“ Habiter le terre”. Blume,
Bussière, París.
(págs. 189-1)

ANÁLISIS ESPACIAL CLIMA (A)

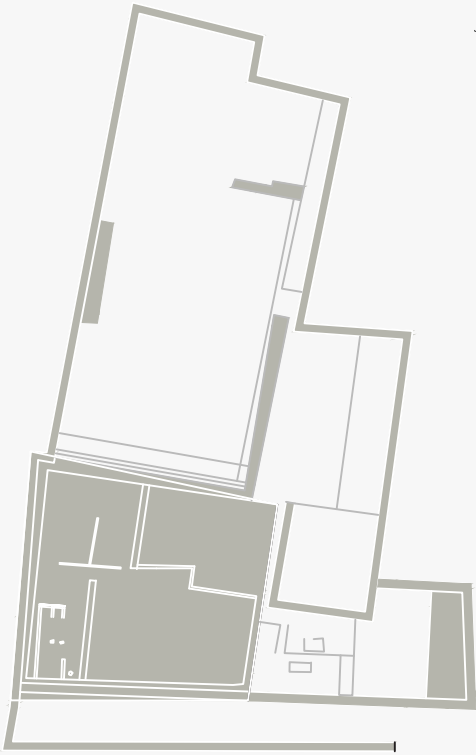
FUENTE: Elaboración propia

ORDEN TEMPORAL →

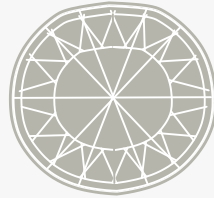
TESTIMONIOS ARQUEOLÓGICOS

TESTIMONIOS VERNÁCULOS

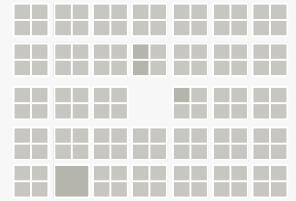
TESTIMONIOS HISTÓRICOS



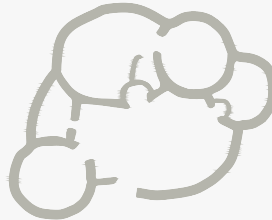
A3. HUACA DEL SOL, PERÚ



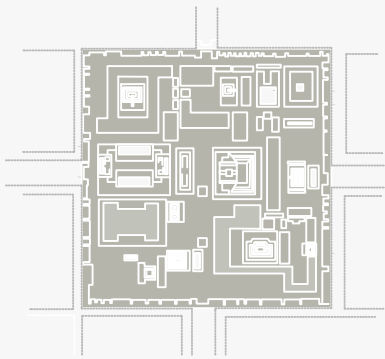
AAA1. IGBO, NIGERIA



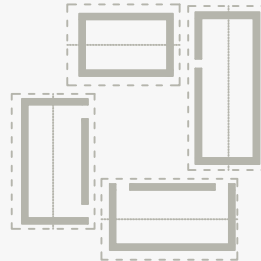
AA1. NUEVAS CIUDADES, BRASIL



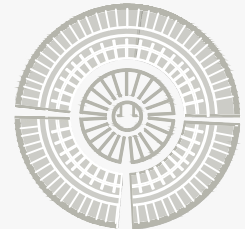
AAA2. GURUNSI, GHANA



A2. TECNOCHITLÁ, MÉXICO



AAA3. ESTRUCTURAS AUTÓCTONAS. VENEZUELA



AA1. TOLOUS, CHINA



A3. AGLOMERACIÓN NEOLÍTICA, ANATOLIA



AAA4. VIVIENDAS SOORO, CAMERÚN



AA3. MEDINAS, MARRUECOS

100

100

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

5,00

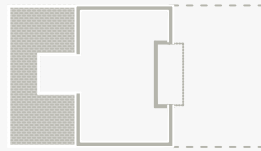
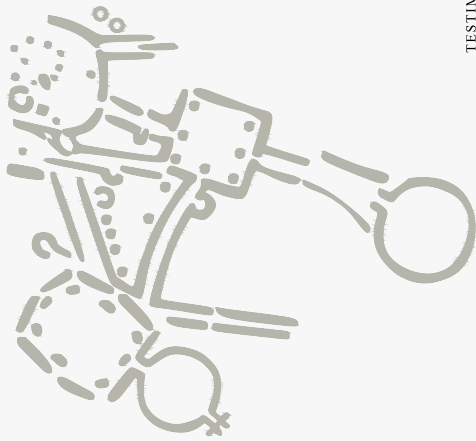
100

ORDEN TEMPORAL →

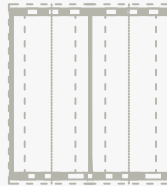
TESTIMONIOS ARQUEOLÓGICOS

TESTIMONIOS VERNÁCULOS

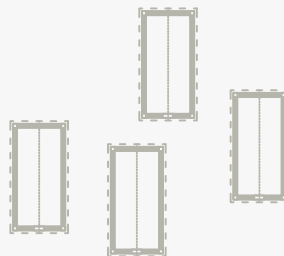
TESTIMONIOS HISTÓRICOS



BBB1. VIVIENDAS RURALES, CHINA



BBB1. VIVIENDAS RURALES, ALEMANIA

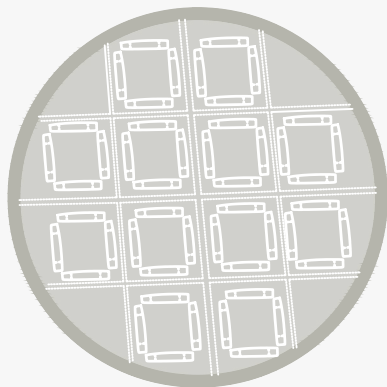


BBB3. ESTRUCTURAS DOMESTICAS, RUSIA ORIENTAL



BB1. TAOS, NUEVO MÉXICO

B1. EARTHEN MOUNDS, VALLE DEL MISISIPI



B2. CASAS NEOLÍTICAS EN EUROPA

100

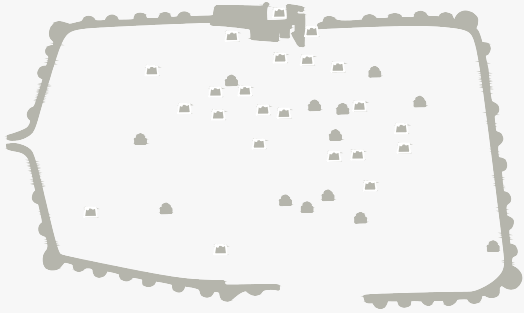
100

5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00

100

ORDEN TEMPORAL →

TESTIMONIOS ARQUEOLÓGICOS



C3. ITCHAN KALA, UZBEKISTÁN

TESTIMONIOS VERNÁCULOS

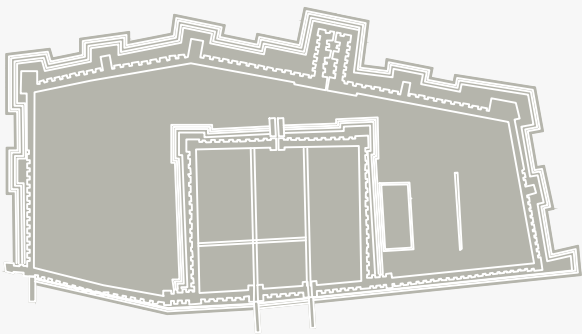


CCC2. PUEBLOS DEL DOGÓN, MALI

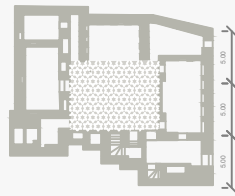
TESTIMONIOS HISTÓRICOS



CC1. SHIBAM, YEMEN



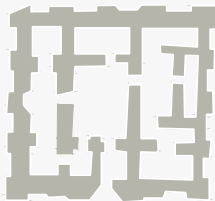
C2. FORTALEZA DE BOUHEN, EGIPTO



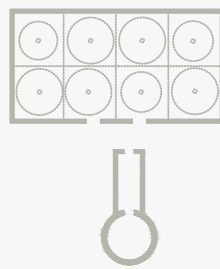
C3. VIVIENDAS EN BAGDAB, IRAK



CC2. YAZD, IRÁN



C1. ZIGURAT, MESOPOTAMIA



CCC1. VIVIENDAS CÓNICAS, SIRIA

100

100

5.00

5.00

5.00

5.00

5.00

5.00

100

EJEMPLO:



HASSAN FATHY

ENLACE ENTRE LO PASADO Y LA ACTUALIDAD.

El principal objetivo es relacionar a este arquitecto, máximo exponente en este tipo de arquitectura e impulsor del desarrollo sostenible hace 50 años con valores tangibles que posibiliten a la arquitectura actual alcanzar la Era del Desarrollo Sostenible (Jeffrey Sachs¹)

Se visita una exposición sobre Fathy, A Contracorriente, en la casa Árabe en Madrid, donde se exponen los valores y principios de este arquitecto en los que, se basará su arquitectura y desarrollará todas sus obras..

Supone el enlace del capítulo pasado- con el presente, estableciendo conexión entre su obra y la actualidad, pues podemos relacionar su acción a favor de la renovación de la construcción con tierra que comenzó en 1947 con los 17 Objetivos de la ODS² establecidos en 2015 por Naciones Unidas.

¹ Jeffrey Sanchs (1954) es un economista estadounidense, director del Proyecto del Milenio de Naciones Unidas. Afirma que el desarrollo sostenible es posible y rentable, es nuestra generación la encargada y responsable de poner abolir la pobreza, conseguir la accesibilidad básica mundial y luchar a favor de medidas sostenibles que regulen el cambio climático. “ Es posible frenar el cambio climático, y resultaría rentable hacerlo”

² Son 17 Objetivos que establecieron los líderes mundiales para proteger el planeta con metas específicas que deberán alcanzarse en los próximos 15 años. Estos son: Fin de la pobreza; Hambre cero; Salud y bienestar; Educación de calidad; Igualdad de género; Agua limpia y saneamiento; Energía asequible y no contaminante; Trabajo decente y crecimiento económico; Industria, innovación e infraestructura; Reducción de las desigualdades; Ciudades y comunidades sostenibles; Producción y consumo responsable; Acción por el clima; Vida submarina; Vida de ecosistemas terrestres; Paz, justicia e instituciones sólidas; Alianzas para lograr objetivos.



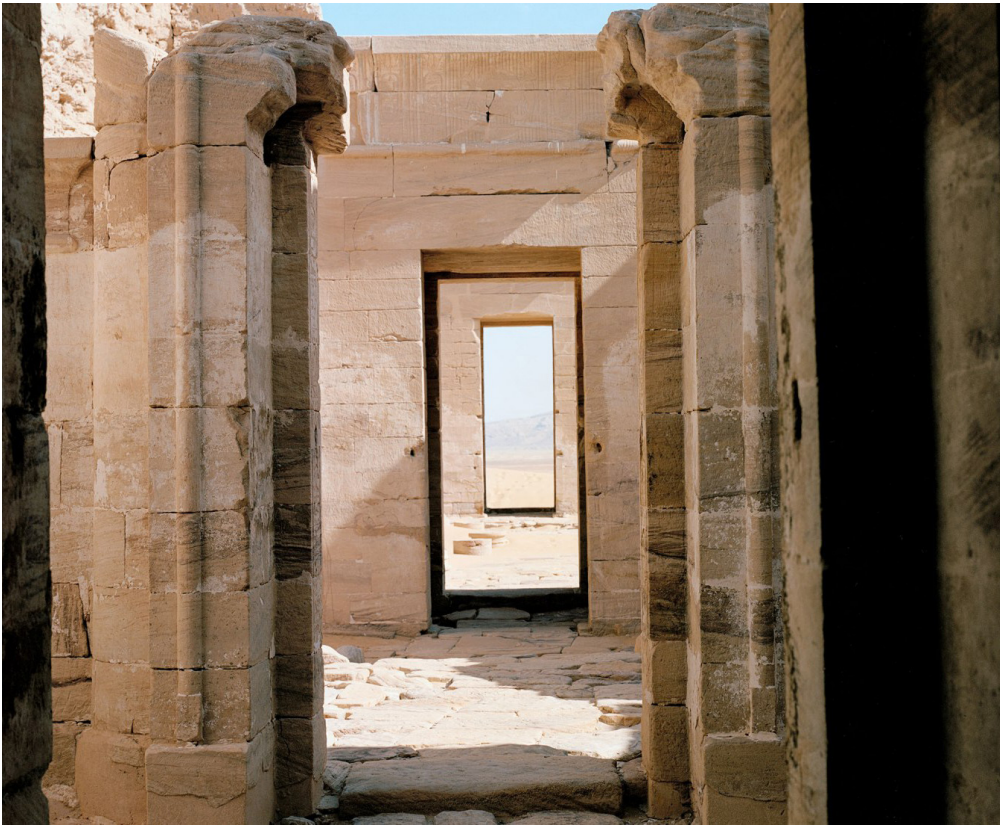


Fig 29,30,31,32y 33 :
Fotografía. Hassan Fathy.

Fuente: Recuperado de:
Hannah Collins para
Metalocus. Expuestas en
Fundació Antoni Tàpies

The earth is mine. My home is for me. I will build my own place to live and I will not be driven from my home. I will not become a slave to false and meaningless surroundings. My house comes from the ground beneath my feet. The walls and the roof over my head are built from the ground up. I will not spend my lifetime scrabbling for money in miserable surroundings where I will die because of where I live. I will use the light, the wind, the air to cool the inside of my ouse, that way I can live with heat. I am a woman and a man and my rught to my body, to learn and share what I know with others wasn 't given up willingly but taken from me. I want air and clean wáter to cool me down as I rest. I have a right to clean cool wáter to drink, I will keep it in the shade and collect it with everyone else. I live with the desert, it is my home I will not be driven from it but move in it as I have always done. I want a place out of the sun with shade to buy and sell my godos, to workship and think. I am poet and I will make up a song and sing it in a theatre with night air above my head.

La tierra es mía. Mi hogar es para mí. Construiré mi propio lugar para vivir y no seré expulsado de mi hogar. No me convertiré en un esclavo de un entorno falso y sin sentido. Mi casa viene del suelo debajo de mis pies. Las paredes y el techo sobre mi cabeza están contruidos desde cero. No pasaré mi vida buscando dinero en un entorno miserable donde moriré debido al lugar donde vivo. Usaré la luz, el viento, el aire para enfriar el interior de mi casa, así puedo vivir con calor. Soy una mujer y un hombre y mi derecho a mi cuerpo, para aprender y compartir lo que sé con los demás, no fue entregado de buena gana, sino que me lo quitaron. Quiero aire y agua limpia para refrescarme mientras descanso. Tengo derecho a beber agua fresca limpia, la mantendré a la sombra y la recogeré con todos los demás. Vivo con el desierto, es mi hogar, no seré expulsado de él sino que me moveré como siempre lo he hecho. Quiero un lugar fuera del sol con sombra para comprar y vender mis godos, trabajar y pensar. Soy poeta y me inventaré una canción y la cantaré en un teatro con aire nocturno sobre mi cabeza.

Cita proyectada en la sala de la exposición A contracorriente de la Casa Árabe, Marzo 2021.

Hassan Fathy 1960

TRADICIÓN Y CULTURA

(Fin de la pobreza; Hambre cero; Ciudades y comunidades sostenibles)

Hassan promueve el derecho a viviendas dignas y accesibles a todos los ciudadanos, con el uso de un material local, adobe, y recurriendo a la artesanía popular, otorgándole importancia y respeto. Se reinterpretan espacios tradicionales, cuidando la cultura y costumbres, dotándolos de las infraestructuras necesarias para el abastecimiento. Cohesiona el tejido social e integra la sociedad en la cultura y tradición mediante la construcción, además de reforzar la producción y consumo local.

PAPEL DE LA MUJER EN LA SOCIEDAD

(Igualdad de género; Educación de calidad; Trabajo decente y Crecimiento económico)

El mercado para la mujer es una posibilidad de sentirse parte de la sociedad y del pueblo, pudiendo abandonar el aislamiento y disfrutar de la libertad y relacionarse con otras mujeres compartiendo e intercambiando opiniones durante todo el día.

Se crea un centro de mujeres en el que serán instituidas sobre la higiene y cuidado de los niños. Contaban con aulas de trabajo donde se realizaban diversas actividades, creando un clima íntimo donde se permite estar en contacto con otras mujeres.

CONFORT Y HOGAR

(Salud y bienestar; Acción por el clima)

El horno tiene un papel protagonista en la vida cotidiana de ésta cultura. Hassan diseña un sistema de calefacción y horno tradicional basado en uno austriaco Kachelofe que se adecúa a la climatología del lugar; consiste en una cocina permanente durante todo el año, en invierno se enciende el juego interior, calentando así el interior, y en verano, se encendería el fuego exterior. Es un sistema de estufa con

dos particiones, que retiene el aire caliente antes de salir al exterior, cuando este calor es constante, se puede cerrar la puerta y mantener la radiación de calor al interior.

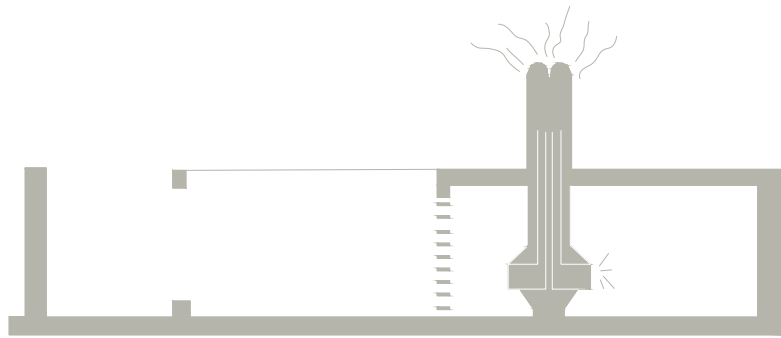


Fig 34: Sección del horno con doble función, vivienda Murad Greiss
Fuente: Elaboración propia

VIDA EN COMUNIDAD

(Hambre cero; Trabajo decente y crecimiento económico; Paz, justicia y comunidades sólidas)

La vivienda se organizaba en torno a patios semipúblicos, proporcionando acceso a la calle asegurando así las condiciones de higiene y ventilación necesarias. Las familias que viven en casas contiguas, aunque pertenezcan a diferentes estatus, siguen un estilo de vida comunitario.

Es una organización socioeconómica, estructurada en bandanas³, en la que comparten su forma de vida, tradición y cada miembro tiene una función, incluso celebran eventos de manera conjunta, donde el patio es la unidad principal, común y estructural.



Fig 35: Sección de viviendas con patio interior, Sahn, como elemento jerarquizado
Fuente: Elaboración propia

3. Bandanas: grupo de personas con relación estrecha y consta de diez a quince familiar con un patriarca y organización social jerárquica

INTEGRACIÓN E INCLUSIÓN SOCIAL

(Fin de la pobreza; Trabajo decente y crecimiento económico; Reducción de las desigualdades)

En Nueva Gouna se puede apreciar la importancia que se le concede a los edificios públicos y sociales como colegios, mercados o escuelas de artesanía, los cuales a parte de formar parte de la economía, promovían la reducción de la desigualdad social mediante el flujo de personas con funciones y clases sociales diferentes, mezclando turistas con comerciantes, clientes e incluyendo a campesinos en el ritmo de vida urbano

ADOBE COMO ESPERANZA PARA LA RECONSTRUCCIÓN

(Fin de la pobreza; Salud y bienestar; Energía asequible y no contaminante; Acción por el clima, Trabajo decente y crecimiento económico)

Interesado en mejorar la calidad de vida de los campesinos de los pueblos próximos al delta del río Talkha decidió con el adobe como aliado rehabilitar las oscuras, sucias e inaccesibles viviendas que los propios aldeanos tuvieron que autoconstruir.

Recupera esta técnica de construcción humilde y tradicional que permite la reconstrucción rural mediante métodos sencillos, mano de obra local y con un material más barato que otros como la madera u hormigón, ya que cubrir una habitación de 3mx4m en hormigón costaría 4 veces más y en madera hasta el quintuple más, además de la rapidez de ejecución, un día y medio sería suficiente para abovearla con adobe.

ACCESIBILIDAD, SALUD E HIGIENE

(Salud y bienestar; Educación de calidad, Agua limpia y saneamiento; Energía asequible y no contaminante; Ciudades y comunidades sostenibles)

En Nueva Gourna,, se suministra agua desde recipientes de grandes dimensiones acristalados en el techo para poder drenar el agua residual. Se abasteció cada barrio con una bomba, encontrándose esta dentro de un espacio abovedado y contaba con una zanja subterránea para evitar desbordes.

Fathy estudia también a las mujeres lavando para poder proyectar un prototipo de lavabo, se basaba en un hoyo de planta cuadrada poco profundo con un soporte circular en el centro y un asiento cerca de este. El desagüe estaba en la esquina y evita que el agua residual transcurriese sin rumbo por la calle.



Fig 36: Bombas de aguas publicas

Fig x: Prototipo de lavabo en Nueva Gourna

Fuente: Elaboración propia

Los espacios encargados de asegurar la higiene y sanidad son: el centro social (higiene para mujeres), el hamman (baños de vapor que paliaban las enfermedades provocadas por falta de transpiración) y el dispensario (sanidad)

Para descontaminar los canales, imprescindibles para la vida de los aldeanos, Fathy proyectó un lago artificial, que podría situarse en el lugar de extracción de tierra para fabricar los bloques de tierra, dando función a este espacio.

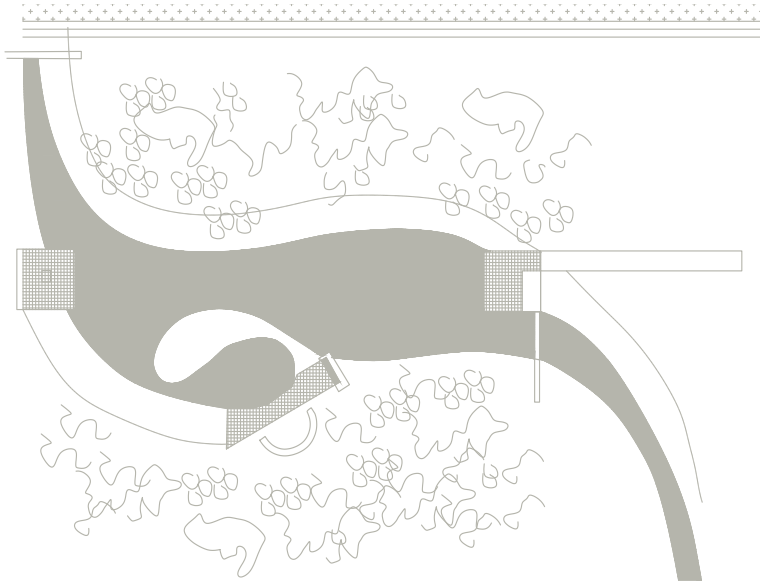


Fig 37: Lago artificial de Nueva Gourna
Fuente: Elaboración propia

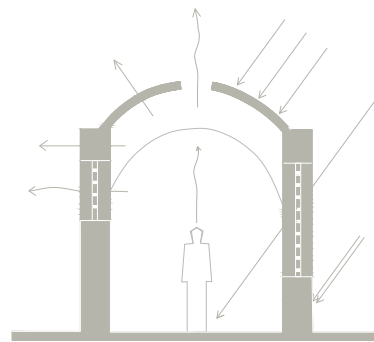
ESTRATÉGIAS CONSTRUCTIVAS Y MEDIDAS PASIVAS

(Salud y bienestar; Acción por el clima; Energía asequible y no contaminante; Ciudades y comunidades sostenibles)

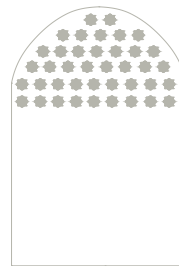
Los argumentos más convincentes y clarividentes de Fathy giran en torno al empleo de la energía y el clima; más tarde señalaría el dato de que «en Estados Unidos tienen los edificios de armazón de hormigón y vidrio y en Kuwait tenemos lo mismo, olvidando que el cristal es transparente y deja pasar los rayos ultravioletas, y que una lámina de cristal de 3x3 metros en una habitación, si se expone a los rayos del sol deja pasar 2.000 kilocalorías por hora, lo que exige dos toneladas de refrigeración por hora»

Con el control de métodos de energía pasiva Fathy, consigue fortalecer la resiliencia frente al cambio climático, mediante la mejora de métodos, sistemas y técnicas constructivas con tierra.

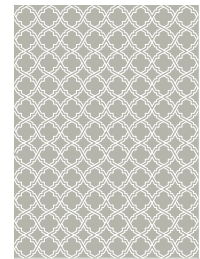
Propone el aprovechamiento de los recursos naturales y condiciones del lugar como el clima, intentando apaciguar el calor y proporcionar un enfriamiento adecuado, para ello es necesario dominar la orientación, viento, sol y humedad:



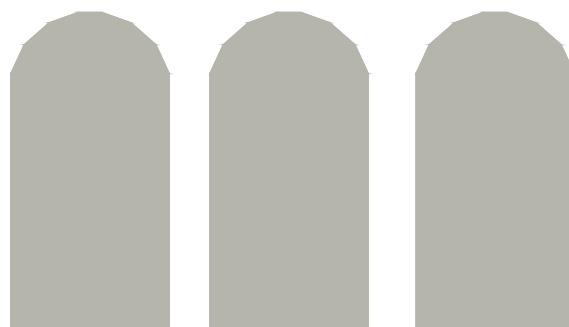
Perdidas y ganancias de calor por inercia térmica, aberturas y ventilación



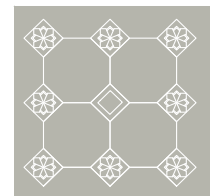
CLAUSTRUM
Aberturas en la parte superior, entre otras distribuye el aire de manera uniforme



MASHRABIYA
Ademas de controlar la luz y el flujo de aire, reduce la temperatura ,proporciona intimidad



MAAQ'AD
Galerías arqueadas que proporcionan sombra y recorrido



FUENTES
Situadas en el centro de los patios para proporcionar frescor a las estancias internas

Fig 38: Estrategias pasivas a través de elementos arquitectónicos en Egipto.
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: PRESENTE

Comprender nuestro pasado, para desarrollar el presente y proyectar un futuro

MATERIAL SOSTENIBLE

Material Km 0

Material para una arquitectura bioclimática

Material para una arquitectura circular

TESTIMONIOS

Pioneros

Viviendas

Edificios públicos

EJEMPLOS:

Anna Heringer

ANEXO I:

TROPICAL- TEMPLADO SECO CONTINENTAL

MATERIAL SOSTENIBLE

MATERIAL Km 0

FILOSOFÍA KM 0

¿Cuántos kilómetros ha recorrido la comida que ingerimos antes de llegar a nuestro estómago?

Se trata de una filosofía que promueve el consumo de productos locales. Este movimiento internacional, Slow Food tiene su origen Italia, con el objetivo de luchar contra la estandarización del gusto en la gastronomía, defendiendo la tradición gastronómica regional, con sus propios productos y métodos de cultivación.

Poco después, nace el concepto Cocina Km 0, aquella concienciada por el respeto al cultivo y el medioambiente, persigue la sostenibilidad desde la gastronomía, desarrollando una economía basada en la producción, proceso y distribución de alimentos locales, reduciendo el gasto de transporte.

ARQUITECTURA Km 0

Derivada de este concepto, surge como aquella que apuesta por materiales y técnicas propias del lugar del proyecto. De esta manera, los materiales se podrían manufacturar y comercializar en la zona de producción, asegurando una buena integración y respeto en el entorno, e impulsando la economía local. Así mismo, se ahorra el mismo tiempo en el proceso del transporte del producto y la contaminación derivada de este transporte. David Morris afirma en 2007 que “producir y comprar localmente empodera a la comunidad, mientras que la distancia la empobrece”. Al hilo de los objetivos de Slow Food, lo que se persigue es un material constructivo de calidad, respetuoso con el planeta, producido de forma limpia y natural, que pueda recompensar al trabajador y que aúne lo mejor de la tradición constructiva.

Los criterios necesarios para considerar un producto gastronómico Km 0, y por extensión, un material constructivo Km 0 serían que el

productor manufacture el producto a menos de 100 kilómetros de manera sostenible y que, el constructor o el promotor, usen al menos un 40% de materiales locales en la intervención.

En el caso de la tierra, estos criterios son compatibles con sus características y la posibilidad de extraer tierra en cualquier del mundo es infinita.

ANÁLISIS DE LA ENERGIA ASOCIADA AL TRANSPORTE

En la energía incorporada de un material constructivo se incluye toda aquella que ha sido necesaria en los distintos procesos de ejecución de la obra. Es decir, desde la extracción de materias primas, hasta su procesado y manufactura, incluyendo la asociada al transporte, tanto del material como de los equipos y maquinarias necesarios.

En la tabla 1 se recoge el coste energético específico del transporte de mercancías en España, incluidos consumos directos e indirectos y operaciones necesarias para que la producción del transporte se lleve a cabo.

Tabla 1. Coste energético específico del transporte de mercancías en España.

Transporte por carretera	0,46 Wh/kg/km
Transporte por ferrocarril (ancho español, en el ancho europeo sería superior)	0,43 Wh/kg/km

Tabla 2. Energía incorporada de distintos materiales de construcción.
 Fuente: Vazquez Espi Mariano 2001, Informes de la Construcción, Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. (12-24) Recuperado de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/amvaz.html>

Material	Energía incorporada (kWh/kg)
Acero	11
Aluminio	44-60
Áridos	0,04
Asfalto (tela)	3
Cal	1,5
Cemento	2
Cobre	25
Hormigón	0.7
Ladrillo cerámico	1.25
Madera	1,25
Bloque de tierra compactada	0,02-0,4
Plástico	20-40
Porcelana	7,5
Teja cerámica	4,4
Vidrio	5,3

Se deberá tener en cuenta, que estos datos son para un radio de 100 km. Si, por ejemplo, se tratasen de perfiles metálicos exportados de un territorio más extenso, como la Unión Europea, y la distancia aumenta, con medias de 2000 km, el coste de transporte sería un 80% del total imputado; por tanto hablaríamos de una energía incorporada del 20 kWh/kg en vez de los 11 kWh/kg originales.

Realizamos un análisis comparativo entre la energía necesaria para construir, relacionado con el transporte, de dos materiales. El hormigón como uno de los materiales más usados actualmente en el sector de la construcción y la tierra objeto de estudio.

Para el primero, es necesario contemplar, como mínimo, los siguientes condicionantes en el proceso de producción del hormigón, suponiendo que la distancia recorrida es menor a 100 km¹:

¹ Para que un producto sea considerado Kmo debe cumplir que producirse y consumirse en un radio cercano, que no supere los 100 km, y considerarlo de esta manera, producto local. Según datos extraídos: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/958897/materiales-a-0-km-preservando-el-medio-ambiente-y-las-culturas-locales>

Entrada de materias primas (áridos gruesos, grava y gravilla), petróleo utilizado en el transporte directo, transporte indirecto (traslado de las materias primas en la planta hormigonera) y energía eléctrica para el funcionamiento de la planta.

Salidas del producto final obtenido y emisiones de CO₂. Las salidas consideradas corresponden principalmente al producto final obtenido: el hormigón, pero también a las emisiones de CO₂. Se debe tener en cuenta el aumento de la parte proporcional de emisiones de CO₂ si el camión vuelve vacío ²

A continuación, en la tabla 3 se muestra el resumen de energías consumidas por actividad mensual por el transporte asociado a un uso de construcción

Tabla 3. Energía consumida

Fuente: Revista Hábitat Sustentable Vol. 4, N°. 2. Dic, 2014; ISSN 0719-0700/ pags. 16-25

Energía aportada por transporte directo	434.380,28 Wh/h mensual -
Energía aportada por transporte indirecto	383.741,39 Wh/hmensual-

De los cuales, el consumo de combustible anual por transporte indirecto, de forma aproximada, de las materias primas necesarias para la formación del hormigón queda reflejado en la tabla 4.

Tabla 4. Energía consumida

Fuente: Revista Hábitat Sustentable Vol. 4, N°. 2. Dic, 2014; ISSN 0719-0700/ pags. 16-25

Cemento	25 m3 de petróleo
Arena	40 m3 de petróleo
Grava	150 m3 de petróleo
Gravilla	275 m3 de petróleo
Aditivos	10 m3 de petróleo

² Para el cálculo de los rendimientos de camiones y condicionantes de retorno, Según PAS 2050, la huella de carbono de un producto aumenta si el camión regresa con carga o sin ella a su lugar de origen.

Sin embargo, la tierra como material Km 0, es capaz de reducir considerablemente este derroche de energía y contaminación gracias a su naturaleza.

Por ejemplo para desarrollar una obra mediante técnicas de mampostería, como bloques compactos de tierra BTC estabilizado (véase capítulo II) , la energía incorporada por la tierra puede sobrestimarse mediante 10Wh/kg, a los que se le pueden añadir como imputación del transporte del producto final hasta 100 km de distancia (en caso muy desfavorable, puesto que lo que se pretenderá es el uso de la tierra como material local) de 44 Wh/kg, con un resultado final, por lo que tendría una energía incorporada del 0,4 kWh/kg.

Como decimos, ésta puede ser mejorable, reduciendo la distancia de transporte, y limitando la estabilización con cemento a un 5% en vez de un 14%, perfectamente factible, pudiendo usar otros estabilizantes de propiedades mecánicas comparables (Guinea, 1986), y usando maquinarias accionadas de manera manual o por fuentes energéticas limpias, definiendo un total de 0,1 kWh/kg

En conclusión, para cualquier construcción futura sostenible, se debe contemplar el uso de materiales disponibles localmente, siendo la tierra el más adaptable a este escenario.

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

En la vida de un edificio se considerarán las siguientes etapas:

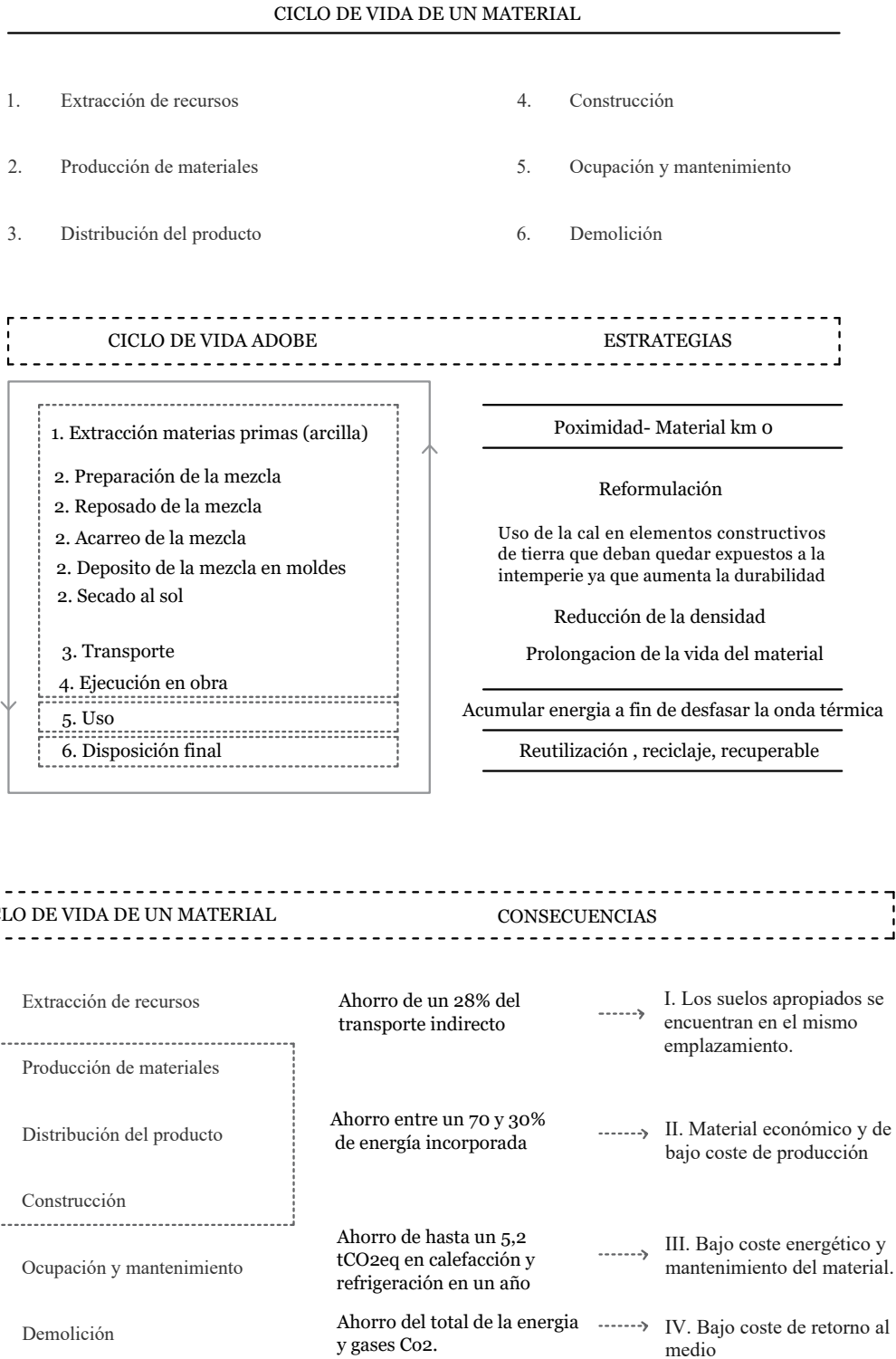
1. Extracción de recursos
2. Producción de materiales
3. Distribución del producto
4. Construcción
5. Ocupación y mantenimiento
6. Demolición

Todas estas etapas generan en su proceso emisiones atmosféricas, energías residuales y residuos sólidos. Se escoge la tierra como estrategia respecto a otros materiales para reducir estos índices y parámetros como medida de preocupación medioambiental. Un concepto relacionado sería el de la Energía embebida, que es el total de la energía consumida durante todas las etapas del ciclo de vida de un edificio. Junto a este se suele relacionar el de la Huella de Carbono, la cual hace referencia al total de los Gases de Efecto Invernadero emitidos en los procesos anteriores.

Lo habitual es que en una vida útil de 50 años, la fase de construcción suponga un 60% de las emisiones de CO₂ estipuladas para toda su vida útil, sin tener en cuenta la demolición de éste.

La tierra como material constructivo reduciría este impacto según los datos que veremos a continuación; el hecho de la posibilidad de reintroducir el material en su ciclo natural al final de su vida útil erradica las emisiones de CO₂ extra aportadas en la fase de demolición de cualquier otro edificio.

Fig 35: Esquema del ciclo del adobe, estrategias para el ahorro y sus consecuencias
 Fuente: Elaboración propia



I. El material se encuentra en el mismo emplazamiento, por ello el coste de extracción es insignificante en comparación con materiales industriales. En el caso de que el suelo del emplazamiento no sea idóneo, puede estabilizarse con materiales naturales como cal, yeso o paja. Incluso si este, tiene que ser transportado desde otro lugar, es mucho más barato transportar tierra que cualquier otro.

II. El precio de producción es muy competitivo, según los datos afirmados por el arquitecto Barbeta en el año XXXX, un precio orientativo sería de aproximadamente 360 euros el metro cúbico de tierra, un total de 1 euro por pieza de bloque de BTC.

La mano de obra no tiene por qué ser estrictamente cualificada y este material permite la autoconstrucción.

III. La energía de ejecución del edificio solo sería entre un 15-35% de la energía total que se necesita en el funcionamiento de un edificio durante toda su vida útil (de 40 a 14 GJ/m² en 50 años), y el mantenimiento del material (6,5 GJ/m²) puede llegar a igualar el coste inicial. La tierra, gracias a sus características físicas y técnicas, puede crear condiciones climáticas interiores que contribuyen a un ahorro energético a lo largo de toda la vida útil del edificio. Además, esto puede complementarse con estrategias de medidas pasivas en su diseño, que se desarrollaran en el siguiente apartado.

IV. Es importante que los principales desechos puedan ser reutilizados como materia prima, reduciendo los vertidos y los costes y emisiones del transporte de los desechos generados. La tierra puede integrarse totalmente en la naturaleza una vez derruido el edificio, por tanto ser considerada el único material capaz de reciclarse una infinidad de veces tras deshacerse en agua. La repercusión de la estructura (entre un 40-80%) en el cómputo de la energía incorporada en la construcción es un sólido argumento para apoyar la rehabilitación o reutilización de estructuras preexistentes, ahorrando así hasta un 60% de la energía actualmente utilizada en el proceso constructivo

MATERIAL PARA UN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

“La arquitectura bioclimática es aquella arquitectura que tiene en cuenta el clima y las condiciones del entorno para ayudar a conseguir el confort higrotérmico interior y exterior. Involucra y juega exclusivamente con el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos (los que son considerados sistemas de apoyo).”

-Garzón, B., 2007.

Se trata de aplicar la lógica, la ciencia y la experiencia para conseguir un buen clima interior de la vivienda. Lograr en todos los sentidos constructivos un gasto cero de recursos para el planeta, desde el inicio de su vida útil hasta el final, conseguir que su creación, mantenimiento y destrucción sea sostenible.

Cuanto menos recursos, tanto materiales como energéticos requiera la arquitectura, menor será el impacto en la tierra y mayor será la duración del ser humano en ella.

Desde aquí se hace una llamada a los arquitectos y escuelas de arquitectura para apoyar el diseño bioclimático, contribuir al medio ambiente es algo muy necesario en el tiempo presente y paliar el malgasto de cantidades tan elevadas de energía que en la mayoría de casos son totalmente innecesarias con un buen planteamiento y diseño inicial, pues se puede alcanzar más de un 60% de ahorro energético³ con respecto a una vivienda convencional.

Debe de ser un cambio simultáneo tanto en la arquitectura como en la sociedad, y debe ser rápido y relacionarlo con parte del presente y no del futuro.

³ Según los datos extraídos de Garzón, B., 2007; Minguet, J. M., 2012; Serra, R., 2009

MEDIDAS Y ESTRATEGIAS PASIVAS COMPATIBLES CON LA CONSTRUCCIÓN DE TIERRA ADAPTADAS A LOS DIFERENTES TIPOS DE CLIMA (A-B-C).

Tras el recorrido histórico, arqueológico y vernáculo del capítulo anterior, extraemos las estrategias usadas por nuestros antecesores con las que aprovechaban todos recursos que nos proporciona nuestro planeta de forma natural, y que nos servirán de ejemplo para aplicar a la arquitectura del presente.

CLIMA A TEMPLADO

Serán aconsejables las aberturas al sur para aprovechar la radiación en invierno siempre que se proteja en el verano mediante elementos constructivos y aislamientos. Se recomienda que estos aislamientos se coloquen por la parte externa que con la inclusión de la masa térmica de la tierra cruda se facilite la absorción del calor. En zonas húmedas se evitará la orientación este y oeste por el exceso de radiación en verano y se facilitará la entrada de sol en épocas frías con aberturas a sur suficientemente protegidas. Se debe facilitar una ventilación natural continuada.

CLIMA A TROPICAL

Resulta necesaria la protección ante la radiación directa y garantizar una ventilación tanto diurna como nocturna. Para favorecer la circulación del aire se recomiendan construcciones separadas del terreno y que la forma del edificio no cree barreras al paso de los vientos suaves. Una forma abierta y dispersa facilitará la ventilación, al igual que retranqueos controlados en fachadas. Serán más favorables técnicas constructivas mixtas o de entramados en lugar de mampostería, ya que la inercia térmica no será un factor determinante por la poca diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Las grandes alturas permiten la estratificación del aire caliente y son favorables los colores claros y superficies rugosas. Se aconseja una ordenación de manzanas de forma lineal, facilitando la ventilación cruzada.

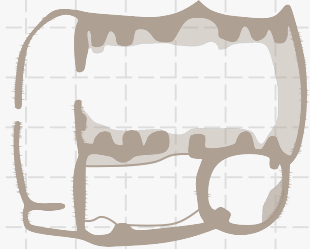
TROPICAL-TEMPLADO: Medidas pasivas (A)



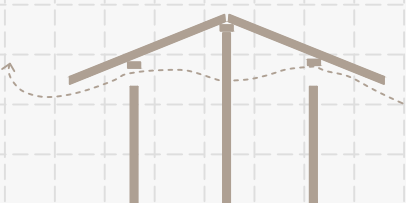
Uso de técnicas constructivas mixtas, como el bahareque, en lugar de estructuras pesadas se opta por otras mas livianas compuestas por elementos de madera o bambú y relleno de tierra.



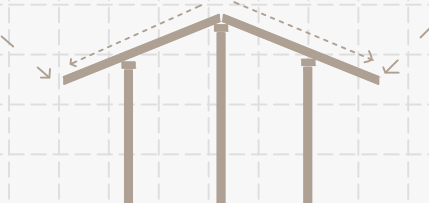
Planeamiento de la ciudad en bloques aislados para favorecer mediante la implantación del edificio, la ventilación cruzada.



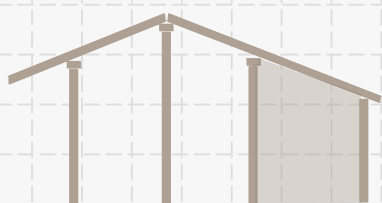
Formación e integración del mobiliario en la estructura de tierra para evitar elementos superfluos frente al viento y proporcionar espacios diáfanos



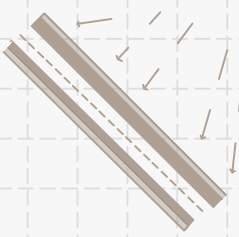
Huecos en las fachadas de sotavento (<10% sup interior) y aperturas generalmente en zonas altas para incrementar la ventilación controlando la humedad.



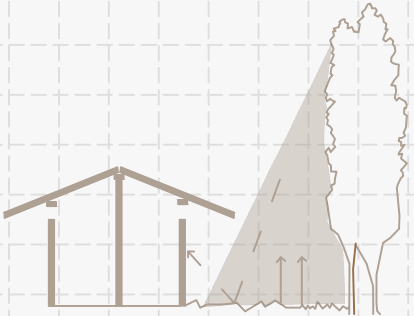
Cubiertas inclinadas para favorecer la evacuación de aguas pluviales. Aleros necesarios para cubrir y proteger las fachadas expuestas.



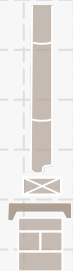
Cubiertas inclinadas y opacas ante la radiación solar y no acumular demasiado calor. Elemento del porche como generador de sombra.



Enlucidos de arcilla en cubierta. La capa exterior transpirable es fundamental para la salud de los edificios de barro. Enlucidos de cal y finalmente encalado (masillas de cal diluida de consistencia similar a la pintura)



La vegetación funciona como elemento de control térmico, proporcionando sombra y minimizando los efectos del calor. Capa de hierbas y plantas que cubre el suelo reduce las temperaturas absorbiendo parte de la insolación y enfriándose a través de la evaporación.

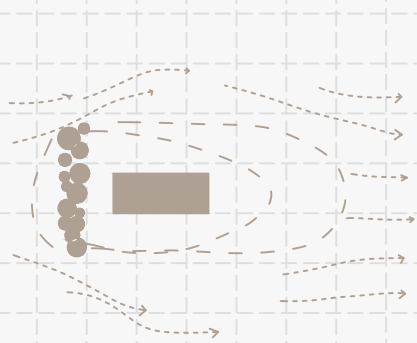


Proporcionar buenos detalles de goteo, en especial en el encuentro del muro con cimentación, para evitar humedades en el material

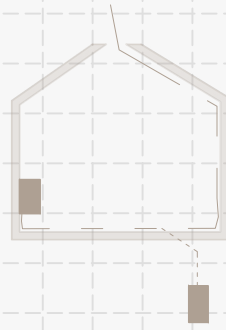
CLIMA B CONTINENTAL

Construcciones compactas herméticas y agrupadas para protegerse entre ellas mutuamente. Evitar las fachadas expuestas al viento. Se recomiendan orientaciones sur y protegidas del norte. Para lograr mayor inercia térmica es favorable un buen grado de asentamiento en el terreno. Se debe aprovechar la radiación solar pero controlando las pérdidas energéticas de una posible excesiva permeabilidad en fachada. Cuanto más compartimentado este la planta, más fácil será lograr un control de la temperatura interior. Se deberá cuidar la sombra que generan unos edificios sobre otros en la planificación urbanística.

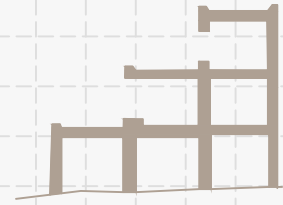
CONTINENTAL: Medidas pasivas (B)



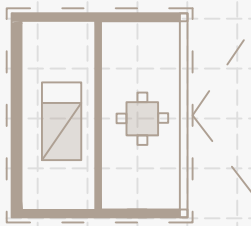
La masa verde cuando permite un cierto grado del paso de aire causa menos turbulencia que un elemento sólido, como resultado, un área de protección total del viento buena.



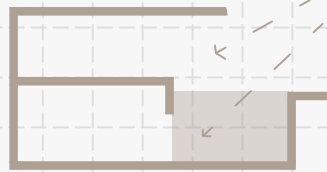
Uso de la geotermia o humo del hogar para conducir el calor por suelo y paredes bajas, para posteriormente evacuarlo al exterior.



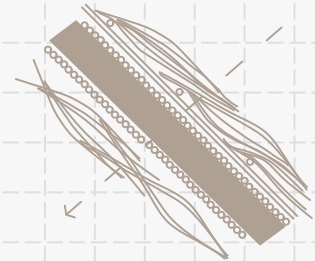
Para un mismo volumen edificado, un edificio muy compacto tendrá menos superficie en contacto con el exterior. De esta forma, su demanda energética será menor y sus pérdidas también serán menores.



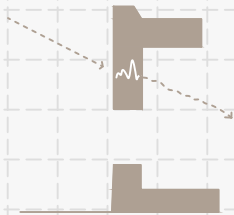
Organizar la planta para que los usos diurnos se beneficien de la radiación solar de manera pasiva



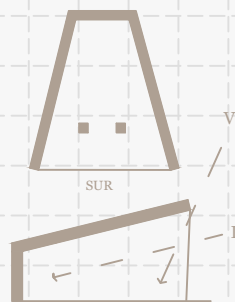
Aperturas o amplios patios que faciliten la captación de luz en todas las estancias, incluso a las más bajas, como ejemplo tenemos el patio inglés



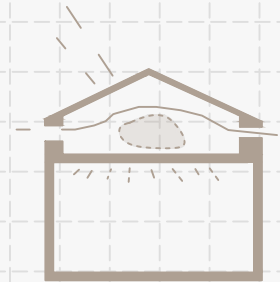
Materiales en cubierta con buena capacidad aislante, como puede ser la paja o hierba por dentro y fuera sobre revocos de arcilla.



Uso de la Inercia térmica, gruesos muros adobe o tapial capaces de almacenar calor lentamente durante el día, por lo que el interior permanece fresco. Al llegar la noche, la transmisión de energía se invierte y es el muro el que cede el calor acumulado, calentando el interior.



Geometrías cuya fachada de exposición máxima esté orientada al sur, que permiten captar más energía solar en invierno (I), pero controlándola en verano (V).

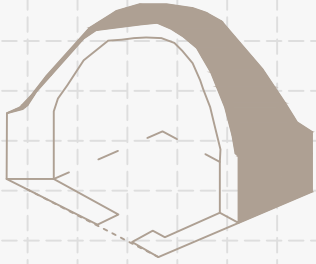


Este espacio colchón dispone de unos huecos enfrentados que permiten ventilar la cubierta o no, de manera que funciona como una cubierta reversible captadora en invierno y como una ventilada en verano.

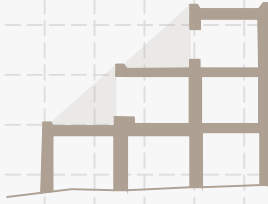
CLIMA C SECO

Es conveniente una ubicación que se aleje de la radiación solar y vientos cálidos, como en bosques, valles o zonas cercanas a masas de agua. Cuanta menos superficie quede expuesta mejor, con construcciones compactas e incluso semienterradas. Será recomendable colores claros para reflejar la luz. El adobe por su gran inercia térmica es idóneo para ralentizar la entrada de calor al interior. Los patios con láminas de agua facilitan almacenar aire fresco durante la noche. Huecos pequeños y protegidos con elementos regulables son recomendables para cerrarlos en las horas más calurosas y abrirlos durante la noche. Una vegetación adecuada hará aumentar la humedad, que ubicadas en patios interiores ayudaran a bajar las temperaturas.

SECO : Medidas pasivas (C)



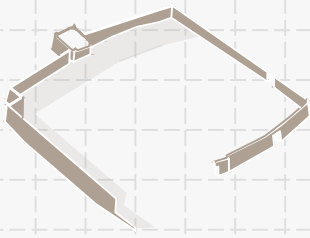
Cubiertas abovedadas en lugar de planas por tener menos superficie expuesta al sol y lograr ambientes frescos en el interior.



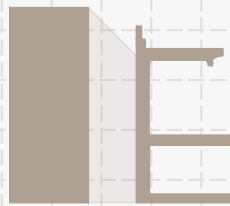
Compacidad urbana. Medianeras como elemento de protección ante la radiación solar. Sistema de terrazas contiguas generando espacios en sombra.



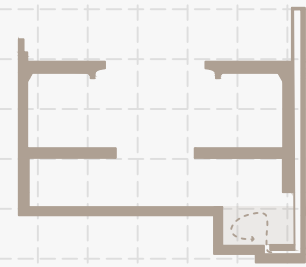
Patios centrales en bloques de vivienda como elemento principal sobre el que se vuelca la vida, permitiendo el uso de las estancias más bajas.



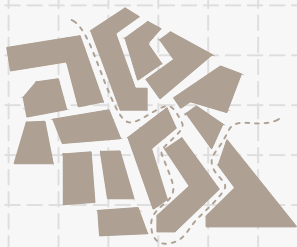
Elementos urbanos generadores de sombra, como murallas o muros altos.



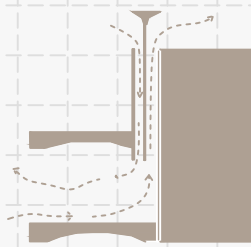
Proximidad entre viviendas para proteger los muros expuestos al sol mediante las sombras generadas entre fachada y fachada.



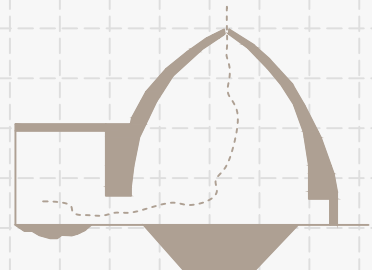
Espacios soterrados, conectados con captadores de viento, para estancias frescas durante el verano



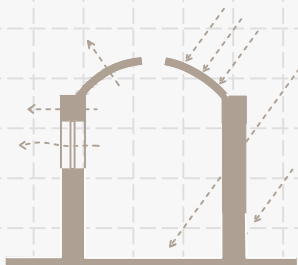
Bloques encerrados en sí mismos y con disposición urbana a tres bolillo para suavizar la circulación de venticas.



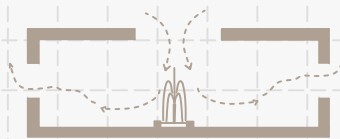
Captadores de viento en cubierta, conectados con espacios interiores que permiten la circulación del aire fresco. Una buena ubicación es entre medianeras.



Fresqueras para almacenar productos fríos, conectados a espacios que aseguran su enfriamiento interno permitiendo la evacuación del aire caliente a través de una cupula.



Proyección de fachadas para las ganancias y pérdidas de calor. La fachada norte es la más fría que repartirá de manera uniforme la luz, mientras que la sur será la más expuesta, y los muros de la este se enfrían rápido durante la noche, ubicación ideal para las habitaciones



Ventilación cruzada en los patios entre fachadas de gradientes térmicos diferentes. Uso de láminas de agua para humidificar el ambiente.



Muros ciegos o con pequeñas aperturas para ralentizar la transmisión de calor al interior.

PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS

_TEMPERATURA:

Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera. Para la temperatura interior medida en °C se considera la temperatura del aire y la radiante de los muros.

_GRADOS DÍA:

unidad que se utiliza para medir el nivel del rigor invernal en una localidad, y que relaciona la temperatura media exterior durante la época fría del año con una cierta temperatura de confort para calefacción en del grado de rigurosidad climática de un sitio, distinguiendo entre grados día de calefacción y grados día de enfriamiento. En el Anexo I, se distinguen según el tipo de clima A-B-C las mínimas en invierno que ayudara a la hora de plantear estrategias pasivas.

_RADIACIÓN SOLAR:

Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Depende de la inclinación con la que el Sol llega a la superficie terrestre. Datos que dependen de la localización geográfica. Es importante a la hora de considerar cómo, cuándo y cuánto se quiere aprovechar la radiación del sol.

Está relacionada con el asoleamiento, trayectoria solar que recibe el edificio, se recomienda por tanto a la hora de proyectar conocer la carta solar del lugar de estudio.

_HUMEDAD

Cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Influye en la sensación térmica y será mayor si se encuentra cerca de masas de agua. El aire al aumentar su temperatura puede contener más cantidad de agua y esto se entiende como humedad relativa. En climas donde esta humedad es alta y las temperaturas son bajas se pueden dar condensaciones en los elementos constructivos.

_VIENTOS PREDOMINANTES:

vientos que soplan predominantemente desde una sola dirección general sobre un punto particular en la superficie de la Tierra. Depende de su velocidad dirección y frecuencia se adaptara el proyecto para aprovecharlos o amortiguarlos. Se recomienda estudiar la Rosa de los vientos del lugar de proyecto.

_NUBOSIDAD:

Presencia de nubes en la atmósfera. Es interesante conocerlo ya que está relacionado con la cantidad y calidad de iluminación natural

_PRECIPITACIONES:

es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre Son determinantes a la hora de diseñar la cubierta y envolvente de los edificios, y están íntimamente relacionadas con la velocidad y dirección del viento. En el Anexo I, según el clima A-B-C se establece una aproximación de su valor en l/m².

_TOPOGRAFÍA:

La forma del territorio, los valles, pendientes o masas de agua influyen en la radiación del lugar, en sus temperaturas y en las sombras arrojadas. Además de la exposición que tendrá frente al viento y precipitaciones

_VEGETACIÓN:

Es buena estrategia incluir en el proyecto la vegetación y aprovecharse de sus ventajas como la creación de sombra, absorción de luz, disminución de asoleamiento y aumento de la humedad por evapotranspiración.

ESTRATEGIA_DISEÑO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Como se estudiará en el siguiente apartado en profundidad, tras realizar un análisis de las características climáticas del emplazamiento, las primeras decisiones que se tomaran en proyecto estarán relacionadas con la orientación, factor de forma y zonificación de espacios. Las primeras consideraciones de la envolvente de un edificio de tierra se relacionarán con los factores anteriores además de la ubicación de las ventanas en fachada y características de la cubierta.

_CUBIERTAS:

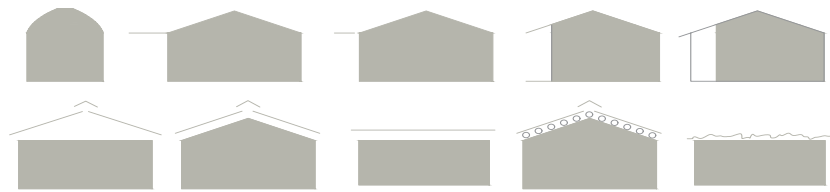


Fig 36: Esquema explicativo de los sistemas pasivos en cubierta
Fuente: Elaboración propia

I_ En lugares cálidos y secos es recomendable disminuir la superficie expuesta a la radiación solar al máximo, una cubierta plana o en extensión no es tan recomendable como una abovedada para conseguir ambientes frescos interiores y que no se acumule el calor en ésta.

II_ Los aleros⁴ son una buena solución para proteger las fachadas expuestas o bien de fuertes lluvias y fuertes vendavales en el Clima A Tropical, o de la radiación solar, generando sombra a los muros de fachada.

III_ Los soportales son espacios de transición situados en la entrada, que resguarda también del sol y viento actuando además como colchón térmico entre el exterior e interior ya que protege y amortigua

⁴ Para el dimensionado y orientación de todos estos elementos se recurrirá a la geometría solar y orientación.

los huecos y accesos. Estos elementos son necesarios normalmente en sitios cálidos, por tanto su mejor orientación será hacia el sur.

IV_ Una variante para un clima que, en verano quiera limitar el aporte solar y sin embargo en invierno, quiera permitir la entrada de luz . Y, para evitar el sobrecalentamiento de la fachada, el alero deja una junta de separación para permitir la ventilación.

V_ Las galerías con vuelo acristaladas, son otra opción para crear un espacio habitable intermedio y un muro con cierta inercia. Cumple dos funciones a la vez, proteger el interior de los fenómenos climáticos y, se crea un efecto invernadero para los meses más fríos, y en verano es recomendable incorporar sistemas de protección como cortinas o persianas

VI_ Cubiertas con acabados de teja de arcilla. Presentan una buena adaptación a estructuras ligeras de soporte de madera, bajo peso, gran durabilidad y buen comportamiento frente a las amplitudes térmicas.

VII_ Cubiertas ventiladas. Concebidas para evitar el sobrecalentamiento. La cámara de aire proporciona ventilación y no se transmite el calor hacia el interior. En las localidades con condiciones de verano muy extremas se recomienda el revoco y pintura clara de los elementos de tierra de cubierta.

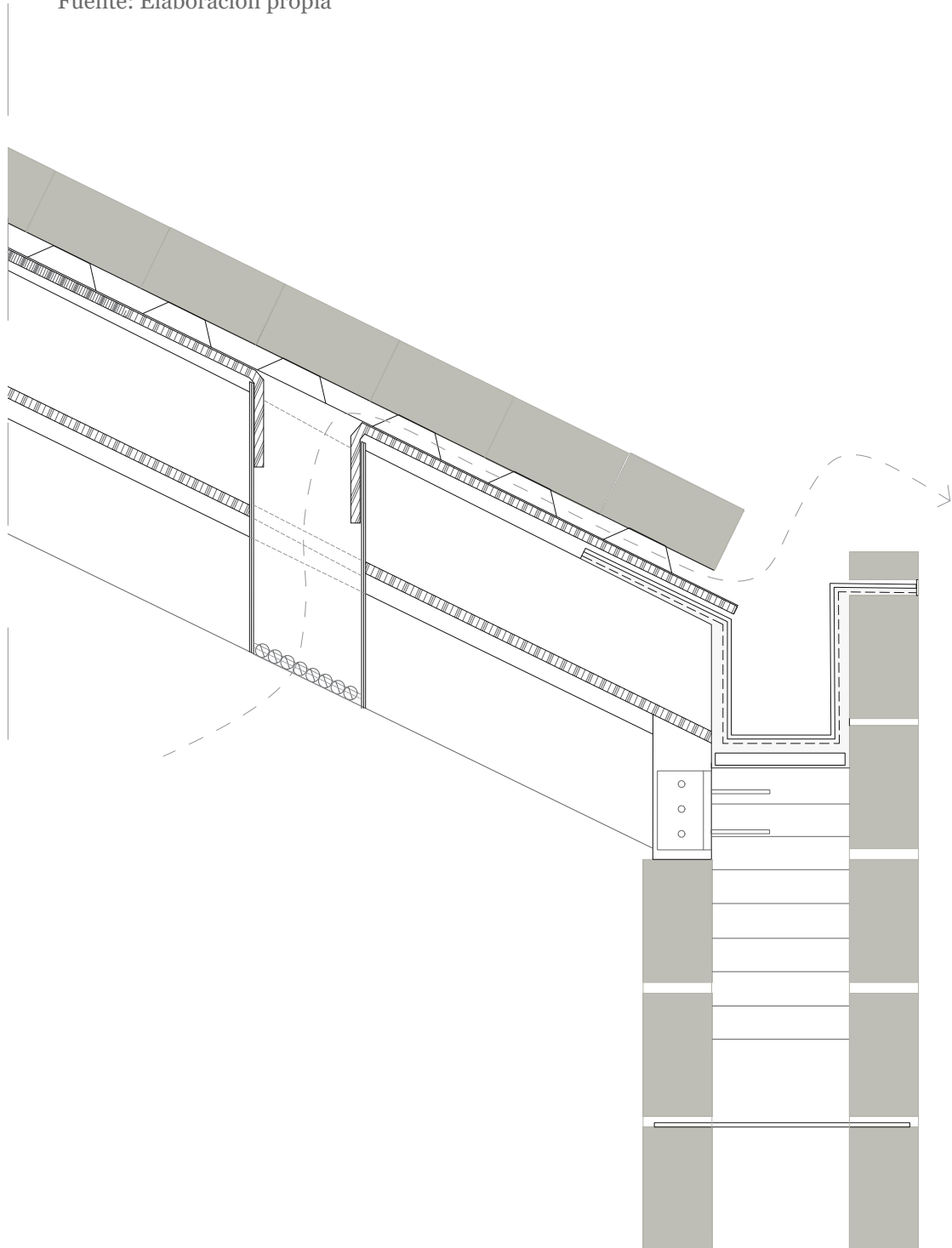
VIII_ Cubierta con desván y aberturas practicables. El desván funciona como colchón térmico, acumulando el calor en invierno. Se recomienda que el tiro de la chimenea atraviese el espacio del desván para calentarlo y que este calor pueda volver a distribuirse hacia el interior. Además se plantean aberturas en lados opuestos para que en verano se produzca una ventilación cruzada.

IX_ Cubierta captadora con conductos. Se sitúan tuberías bajo el acabado de la cubierta, por ejemplo paneles de tierra alivianada con gran capacidad de almacenamiento de calor. Así el calor absorbido por la capa exterior y el generado en las tuberías impiden que en climas fríos se creen diferenciales de temperaturas entre el cerramiento y el interior de la vivienda.

X_ Cubiertas verdes. Sistemas constructivos que combinan la inercia térmica de la cubierta con refrigeración evaporativa. Habrá que prestar especial atención a su comportamiento con la tierra, evitando fugas o daños estructurales, siendo necesario un buen impermeabilizante continuo.

IX_ Cubiertas verdes. Sistemas constructivos que combinan la inercia térmica de la cubierta con refrigeración evaporativa. Habrá que prestar especial atención a su comportamiento con la tierra, evitando fugas o daños estructurales, siendo necesario un buen impermeabilizante continuo.D

Fig 37: Hueco en cubierta doble ventilada con rejilla para extracción del aire con posibilidad de cierre hermético.
Fuente: Elaboración propia



_MUROS



Fig 38: Esquema explicativo de los sistemas pasivos en fachada
Fuente: Elaboración propia

I_ Muros de inercia. La tierra cruda tiene una gran capacidad de aislamiento por su alta inercia, se acumula la energía en la propia masa del edificio. Se reduce el consumo de instalaciones térmicas y aporta además propiedades acústicas o higrotérmicas.

II_ A la solución anterior se le puede complementar con una cámara de aire ventilada. Hay compuertas en la parte superior e inferior de la parte externa, en invierno se mantienen cerradas funcionando como aislante y en verano se abren para permitir una ventilación natural por convección.

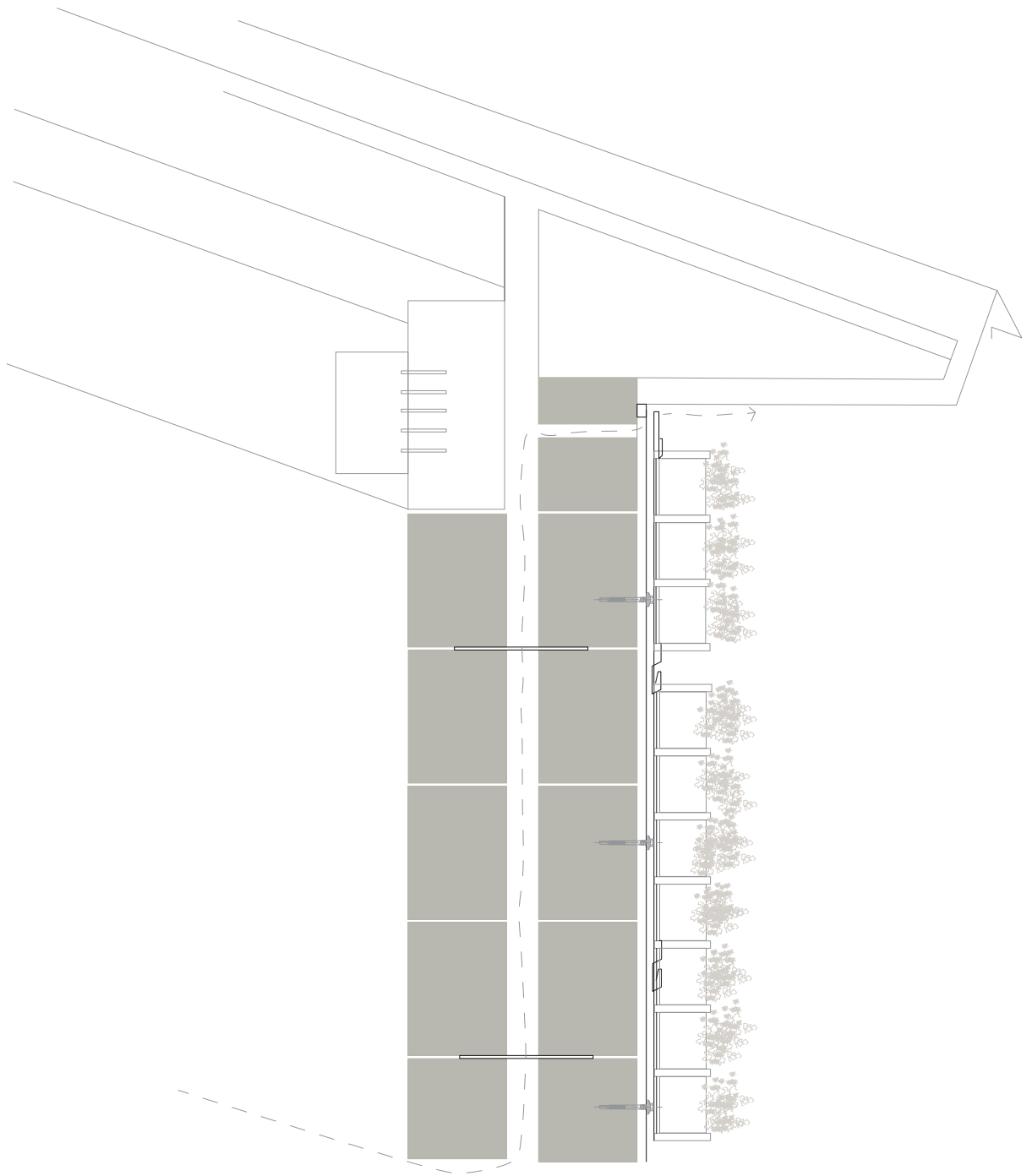
III_ Invernaderos adosados. Se tratan de espacios parcialmente acristalados adosados a las fachadas de los edificios, que están comunicados con espacios interiores. Son cristales practicables, para permitir la ventilación. El muro de tapial o adobe al tener gran masa térmica absorbe la radiación solar del invernadero y lo transmite hacia el interior en los meses más fríos. Para climas suaves, donde este sistema es necesario sobre todo en invierno, se puede disponer de toldos, celosías o persianas .

IV_ Muro trombe. Se trata de un cerramiento acristalado vertical, dejando un espacio de aproximadamente 0,8m entre el muro de tierra cruda y el acristalamiento. Gran parte de la radiación emitida pasa al interior del edificio, ya que el cerramiento acristalado es poco transparente a la radiación infrarroja que tiene mayor longitud de onda.

Este muro puede estar ventilado cuando existen huecos de comunicación con el interior y el exterior del espacio acristalado y permite la ventilación natural (o en caso necesario por cuestiones climáticas , ventilación forzada). Se conoce como no ventilado cuando es totalmente estanco. Puede disponer de elementos de sombreados como toldos, aleros o lamas inclinadas orientables.

V_Pared vegetal. Se interpone entre la irradiación solar y el cerramiento y disminuye la entrada de calor hacia el interior. En climas cálidos, las plantas proporcionan sombra y refrigeran a las viviendas debido a su evotranspiración, reduce la temperatura del adobe y a su vez reduce el sobrecalentamiento. Con temperaturas bajas, las plantas proporcionan aislamiento mediante la capa de aire que existe entre la planta y muro, reduciendo la convección en la superficie de la pared.

Fig 39: Muro de adobe con gran inercia térmica y doble cámara de aire ventilada.
Se incorpora una modulación vegetal.
Fuente: Elaboración propia



_MORTEROS + PINTURAS

Existen morteros de revestimiento, de revoco y enlucido transpirable al vapor de agua e impermeable a la lluvia que establece el equilibrio higrométrico adecuado entre el interior y el exterior. Tienen resistencia a compresión de 28 días, una reacción al fuego clase A1 y el color es similar al de la tierra natural.

De las mismas características existen modelos de mortero de unión hechos a base únicamente de materias primas naturales. Así mismo, hay pinturas fabricadas a partir de componentes naturales de tierra, sin ingredientes tóxicos, ni pigmentos artificiales ya que es la propia arcilla la que aporta el color a la mezcla. Gracias al proceso natural, la cal absorbe el CO₂ del ambiente, purificándolo, es decir, todos estos productos, que son externos a la materia prima principal, pueden conseguirse a través de elementos naturales reuniendo todas las características sostenibles expuestas en este capítulo.

ESTRATEGIA_CALENTAMIENTO PASIVO

La composición térmica de la tierra depende de los elementos que la componen y del sistema constructivo utilizado.

TABLA 5 Conductividad térmica de la tierra. Fuente: Neila González, F. Javier. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. España, 2004.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (Wm °K)
Bloque de adobe	0,45-0,80
Tapial	0,70
Bloques de tierra comprimida	0,75-1

_GANANCIAS SOLARES DIRECTAS :

Las estrategias de calentamiento se basaran en primero, captar energía solar para transformarla en calor, conservar ese calor dentro de los recintos y para ello será necesario un buen aislamiento del exterior, después se deberá almacenar ese calor. El adobe por su parte contribuye con su masa térmica a almacenar el calor durante el día y ralentiza su emisión hasta la tarde-noche. Por ultimo este calor tiene que distribuirse hasta todos los recintos del edificio

La radiación debe controlarse para que no se genere un sobrecalentamiento excesivo, es necesario combinar esta estrategia con otras de ventilación natural algún sistema de calefacción que aporta a mantener una temperatura constante en climas con nubosidad permanente.

_GANANCIAS SOLARES INDIRECTAS:

Todos los muros exteriores excepto el orientado hacia el norte captan radiación solar indirecta y el aprovechamiento de calor dependerá del comportamiento térmico del cerramiento en nuestro caso, de la tierra cruda. En el cerramiento se transfiere energía de forma dinámica, se produce un retraso y a la vez un amortiguamiento de

la onda térmica que va desde el exterior al interior de la vivienda. Cuando sube la temperatura exterior, también lo hace la del bloque de adobe de cerramiento, que por un lado, se transfiere un flujo de calor hacia el interior y a su vez, se acumula parte de la energía calorífica, que cuando no puede admitir más, lo trasmite a la capa más fría del interior, y así sucesivamente, se va transmitiendo cada vez menos calor y por lo tanto se amortigua y se desfasa la temperatura exterior hacia los espacios del interior.

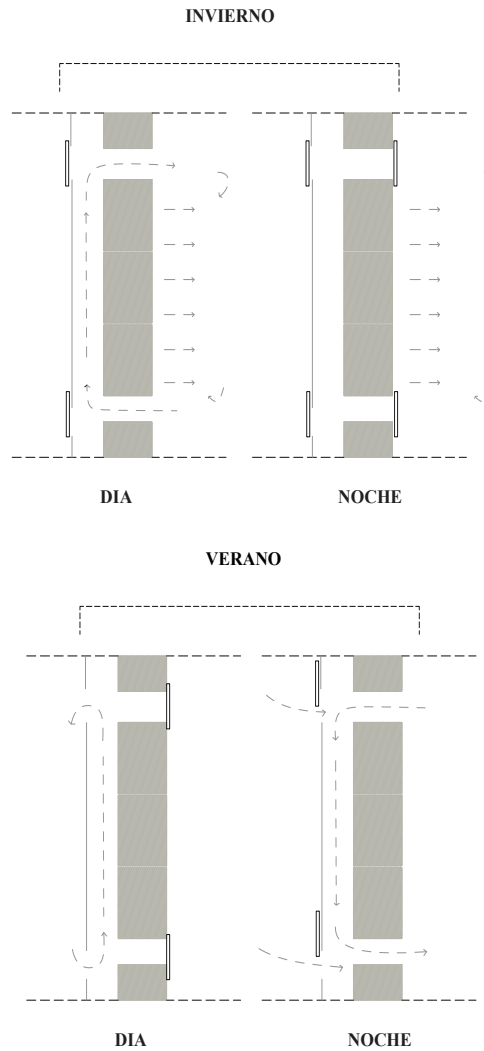
Si comparamos el valor de desfase y amortiguamiento entre un ladrillo hueco doble y un bloque de adobe para el cerramiento de una vivienda, según datos extraídos de Yañez (2008) y M. A. Gálvez en Maldonado, 2002:

Para 40 cm de adobe el desfase sería de 10 horas y un amortiguamiento del 10% en comparación con 9 cm de ladrillo hueco doble cuyo desfase es de 3,3 h y amortigua la temperatura un 78%.

El desfase que se produce en el adobe es el que más se aproxima al óptimo (12h. Aunque a pesar de su gran capacidad acumulativa de energía, un muro de adobe devuelve al exterior un 90% de la energía térmica acumulada. Para mejorar esto sería necesario un diseño de elementos que ayuden a almacenar este calor.

Como ejemplo, encontramos elementos diseñados para esta función, que regulan la transmisión del calor entre el exterior e interior según la necesidad. En el apartado anterior estudiábamos muros trombe, galerías acristaladas y espacios a modo de invernaderos.

Fig 40: Esquema explicativo del muro trombe
Fuente: Elaboración propia



ESTRATEGIA_ENFRIAMIENTO PASIVO

Podemos dividir las estrategias de refrigeración pasiva en tres:

_ENFRIAMIENTO POR ALTA MASA TÉRMICA:

Los muros de adobe ya hemos visto que amortiguan la onda térmica y retarda la entrada al interior de la vivienda en 10h, lo que adecúa la temperatura interior.

En climas cálidos C, en el Capítulo 1, encontramos recursos como torres de viento con aberturas según la dirección de viento, cuya función es captar este para transmitirlo a estancias inferiores con las que están conectadas.

ENFRIAMIENTO POR VENTILACIÓN:

En caso de que las temperaturas sean muy elevadas será conveniente una ventilación nocturna para disipar el calor que entra al edificio ralentizado provocado por el cerramiento de tierra.

I. Ventilación cruzada: se da entre dos huecos opuestos mediante entre loas que se producen movimientos de aire cuando se abren. El flujo arrastra el aire a mayor temperatura y lo cambia por otro de menor, procedente del exterior. Funciona por diferencia de presión, estableciendo como distancia máxima para esta ventilación la de 5 veces la altura libre.

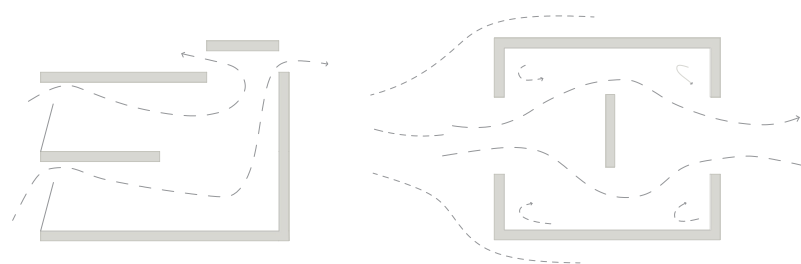
II. Ventilación por efecto convectivo: a medida que el aire se calienta pesa menos y sube, y este es reemplazado por el aire que ingresa a menor temperatura procedente del exterior, por chimeneas superiores. Esto solo funciona si el aire exterior está a menos temperatura que el del interior.

ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

“La estrategia de aprovechar el potencial de enfriamiento que tiene el agua evaporada ha sido utilizada en países de climas cálidos y secos durante siglos. A nivel general, se puede lograr una reducción de la temperatura de entre 10°C a 12°C cuando el aire es relativamente seco, con una menor efectividad cuando el aire es más húmedo” (Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010).

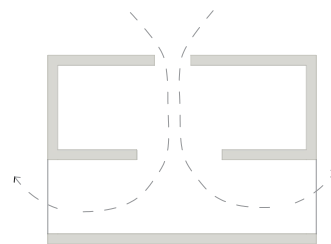
El aire caliente exterior entra por un elemento vertical, expuesta al agua, y a medida que, el agua se evapora en el interior, la tempera-

tura del aire va descendiendo y la humedad va aumentando, el aire frío va ingresando en los recintos por este movimiento descendente. Se podrá incrementar con elementos la humedad al inicio de la torre como tinajas o depósitos de agua, o pantallas de bambú sobre las que se arroja agua. Esta estrategia funciona mejor cuando el aire puede circular libremente sin obstáculos como muros, por ello las plantas libres serán las que mejor funcionan.



E_CONVECCIÓN

**E_VENTILACIÓN
CRUZADA**



E_EVAPORATIVO

Fig 41: Esquema explicativo tipos de refrigeración pasiva
Fuente: Elaboración propia

MATERIAL PARA UNA ARQUITECTURA CIRCULAR

ECONOMÍA CIRCULAR.

Se trata de un modelo productivo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar los productos existentes tantas veces como sea posible. Esto implica reducir los residuos al mínimo, de manera que cuando un producto llega al final de su vida útil, los materiales permanecen dentro de la economía, pudiendo ser usados de nuevo creando un valor añadido.

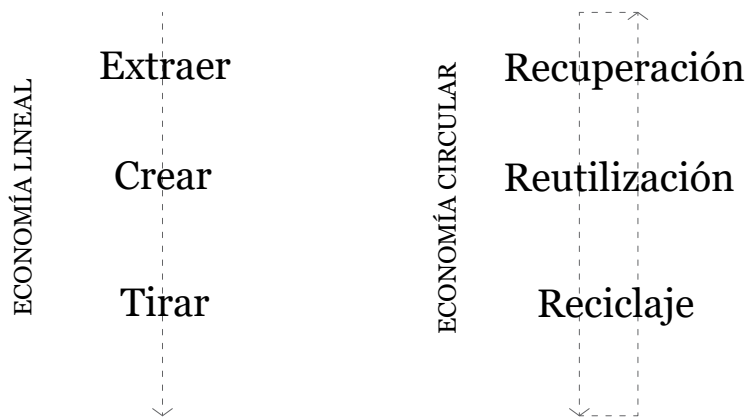


Fig 42: Diferencia entre la economía lineal y la circular
Fuente: Elaboración propia

ARQUITECTURA CIRCULAR.

Aquella que busca edificar a partir de materiales desechados, reciclados o reconvertidos dándoles un uso distinto y una nueva finalidad al terminar su vida útil.

Podemos definir que esta arquitectura construye teniendo en cuenta la futura reutilización de la obra. Para ello es necesario proyectar pensando en todo el ciclo de vida del edificio incluyendo la última etapa: demolición de la misma.

Este paso de una economía lineal a otra retornable sería capaz de cambiar el paradigma urbano, en el que solo hará falta reutilizar o rehabilitar, siendo la obra nueva la rareza y no la regla. Se converti-

rán así las ciudades al final de su vida útil, en fuentes sostenibles de materiales para proyectos futuros.

“La idea de que los edificios de bajo consumo energético son respetuosos con el medio ambiente y de que, a través de la construcción de más edificios de este tipo, cumpliremos las promesas hechas en la Cumbre de Río de reducir las emisiones de CO₂ para el 2005 en un 25% de las existentes en 1990 es, naturalmente, una estupidez. Un nuevo edificio nunca ahorra energía, sino que genera nuevas necesidades energéticas, y la calificación de nuevo suelo para urbanizar es fundamentalmente antiecológica.”

-Gunter Moewes 1997

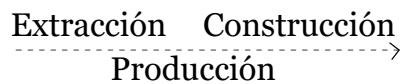
DE LA CUNA A LA CUNA.

CRADLE TO GATE: análisis que estudia únicamente la extracción, transporte y producción de productos.

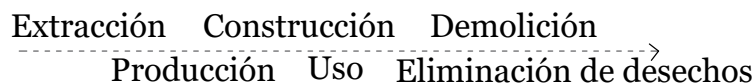
CRADLE TO GAVE: relacionado con el Análisis del Ciclo de Vida, examinando las etapas anteriormente explicadas, desde la extracción de materias primas hasta la gestión de los desechos tras su vida útil.

CRADLE TO CRADLE: en este caso se analizaran todas las etapas del caso anterior pero incluyendo en la última etapa la reutilización de los residuos como materia prima que reiniciara el ciclo. La teoría se presentó en 2002 en el libro Cradle to cradle “rehacer la forma en que hacemos las cosas” del químico alemán Michael Braugart y el arquitecto William McDonough quienes afirman “que ningún bien de consumo debería crearse si al final de su vida útil se convierte en basura inservible y contaminante.”

CRADLE TO GATE



CRADLE TO GAVE



CRADLE TO CRADLE

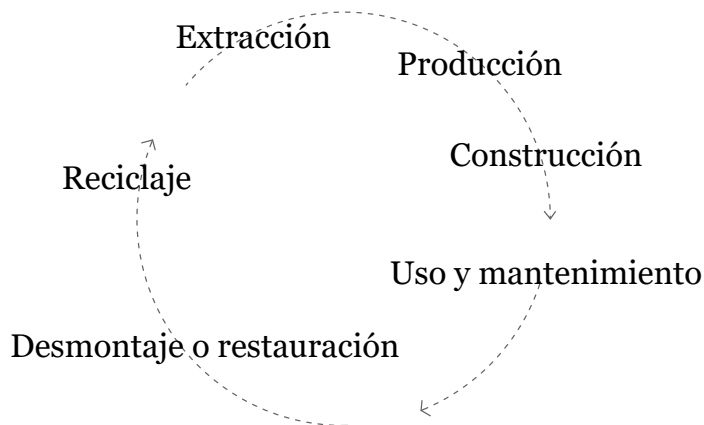


Fig 43: Esquema comparativo entre Cradle to Cradle y otros sistemas tradicionales
Fuente: Elaboración propia

Los principios de Cradle to Cradle pueden resumirse en el uso de materiales saludables, reutilización del material, uso de energías renovables, cuidar la administración del agua y legitimidad social, esta última hace referencia a celebrar la gente lo local y el sistema natural. El Objetivo de este proceso es el de conseguir y adoptar un modelo existente en la naturaleza para erradicar la producción del residuos, es decir propone no solo destruir un poco menos sino, usando como símil el ciclo de vida de los plantas y animales, cuando estos se en-

cuentran al final de su ciclo de vida, servirán de alimento a la tierra y se da comienzo a otro ciclo. Podríamos decir que propone empezar a usar materiales y procesos parecidos a los de la naturaleza en la que “la basura sirve de alimento.”

¿QUÉ SIGNIFICA CONSTRUIR CON TIERRA CON ESTE MÉTODO?

Este método llevado al ámbito constructivo debe partir de la idea de concebir los edificios como árboles, seres vivos que crean un micro entorno en sí mismos, que cobijan, generan un buen confort térmico y producen más energía de la que consumen mientras que depuran las aguas que ellos mismos producen.

Los edificios deben plantearse desde un diseño ecológicamente efectivo para alcanzar estos resultados. Es preciso hacer un inciso sobre la diferencia entre un edificio eficiente y efectivo. El eficiente es aquel que intenta minimizar su uso de energía, y el efectivo es el que además de ser eficiente energéticamente, se diseña a partir de elementos inmersos en ciclos biológicos que permiten al edificio integrarse en su entorno, clima, luz y aire.

La tierra se adaptaría perfectamente a todos estos condicionantes. Es un material upcycling, biodegradable, que puede ser reutilizado en otras obras y por último, puede desintegrarse y devolverse al suelo dónde pertenece, cómo ocurrió en el proyecto El Encuentro en Bogotá realizado por Araukia Arquitectura, en el cual una fuga saturó los muros de adobe, estos se deshicieron y sus escombros fueron enterrados de nuevo en el jardín de la casa, actuando como fertilizante y como consecuencia el pasto creció con mayor fervor, cumpliendo con el ciclo y dejando una huella nula.

Fig 44: Tierra como material upcycling
Fuente: Elaboración propia

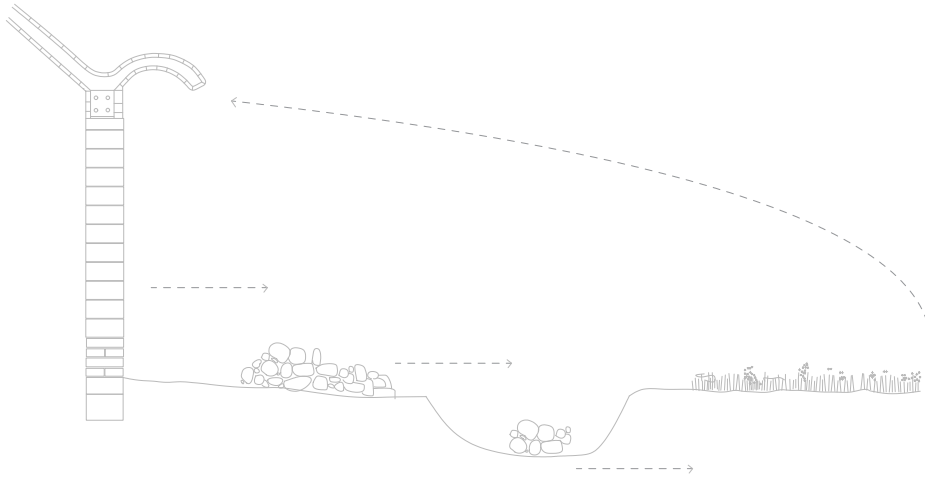


Fig 45: Fotografía. Proyecto El Encuentro, Bogotá 1998 por Hernando Baraya
Fuente: <http://www.araukariaarquitectura.cl/proyectos> Consulta realizada el 19-05-2021



A la hora de aplicar este material bajo esta teoría, habría que añadir otra R a las 3 tradicionales Reducir, Reutilizar y Reciclar, relacionada con la importancia que tiene el diseño previo del material y las técnicas para permitir su recuperación y post-consumo. Por tanto, se trataría de 4R, Repensar, Reducir, Reutilizar y Reciclar que gracias a la tierra se podría conseguir el cero desperdicio.

CERO DESPERDICIO EN LA ARQUITECTURA:
 REPENSAR, REDUCIR, REUTILIZAR Y RECICLAR.
 DISEÑO CIRCULAR Y TIERRA

4R	ESTRATEGIAS
REPENSAR	DECISIONES ACERTADAS CUESTIÓN DE DISEÑO SOSTENIBLE. FACTOR DE FORMA
REDUCIR	REDIMENSIONAR FACILITAR LA INTEGRACIÓN DE LA BIOSFERA EN EL ECOSISTEMA URBANO: GESTIÓN DEL AGUA
REUTILIZAR	FLEXIBILIDAD. ARQUITECTURA MODULAR Y PREFABRICADA CON TIERRA.
RECICLAR	CERRAR EL CICLO: DESMONTAJE Y REUTILIZACIÓN (DFD)

Fig 46: Relación entre 4R y estrategias arquitectónicas
 Fuente: Elaboración propia

1_ REPENSAR:

Se relaciona con cambiar la forma en que pensamos a la hora de proyectar. Con la tierra como nuevo material constructivo se rompen paradigmas, es capaz de incorporar nuevas soluciones y reconsiderar los precedentes. Es un material que permite su recuperación y post-consumo, su práctica es sostenible por sus características intrínsecas, y nos invita a conocer sus limitaciones de diseño para finalmente investigar y tomar decisiones más acertadas e informadas. Se trata de pensar en toda la vida del edificio, en este caso, escoger un material como la tierra y reflexionar antes de llevar a cabo su ejecución

*¿Cómo envejece? ¿Cada cuánto será necesario un mantenimiento?
 ¿Cuál es su mejor destino después de su vida útil? ¿Cómo puedo sacar el máximo provecho a sus ventajas?*

ESTRATEGIA_ DIMENSIONADO

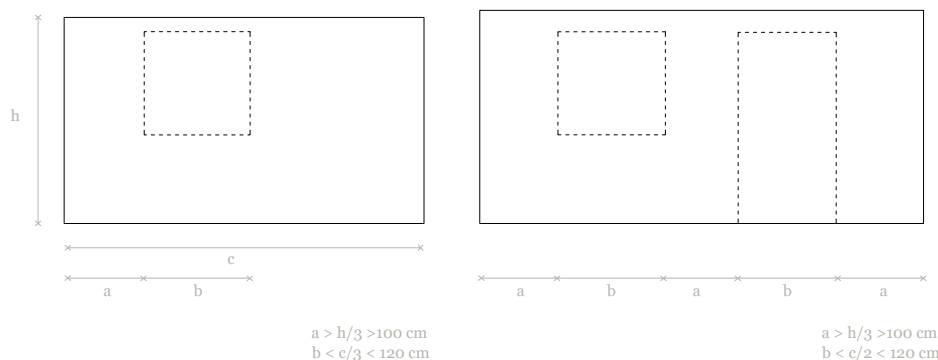
TABLA 6 Diseño de elementos de tierra. Fuente: datos extraídos de CRATerre. 2016

DISEÑO ÓPTIMO PARA MUROS DE TIERRA				
ESBELTEZA DEL MURO DE TIERRA				
Espesor del muro (m)	0.30	0.35	0.40	0.45
Altura del muro (1 altura)	2.75/3	3/4	3/5	3/5.5
Altura del muro (+2 alturas)	4/5	4/6	5/6.7	5/7.3
MÁXIMA LUZ RECOMENDADA				
Muro sin aberturas	9	10.75	12	13.75
Una o más aberturas que se extienden no más de 1.4m del centro de la pared	7.3	8.5	9.75	11

Para un buen comportamiento estructural, habrá que atender a cuestiones como respetar la distancia mínima entre esquina y hueco, no menos de 1m; cuidar la relación hueco/ macizo para no generar esfuerzos de flexión que el muro de tierra no pueda soportar.

La forma ideal sería parabólica para que se continúe el trabajo a compresión, en caso de aberturas rectangulares serán necesarios dinteles o llevar la abertura hasta el zuncho.

Fig 47: Dimensión de huecos en muros de tierra
Fuente: Elaboración propia



ESTRATEGIA _FACTOR DE FORMA.

La superficie de la envolvente y el volumen de un edificio son determinantes para el aprovechamiento climático. El factor de forma es el factor que relaciona forma y volumen a través del cociente entre la superficie que envuelve y el volumen.

Un edificio óptimo será que reduzca la superficie de pérdidas mientras conserva el mismo volumen de almacenaje de calor. Los factores recomendados para climas fríos serán entre 0,5 y 0,8 sin embargo en los más cálidos se establecen entorno al 1,2.

Otro concepto relevante es el de la compacidad del edificio, el valor inverso del factor de forma y relacionado con la existencia de puentes térmicos. Cuanto más compacto sea el edificio se reduce la probabilidad de puentes térmicos aunque será más difícil conseguir una ventilación e iluminación natural, **Clima B**.

Por tanto, esta condición será buena para la construcción de muros de tierra en climas fríos, se cierran las superficies para mantener en equilibrio la vida en el interior. La tierra no deja de ser un material enraizado con su naturaleza y podemos establecer un paralelismo con ella para entender su comportamiento.

Las hojas de los árboles en zonas templadas del **Clima A**, presentan una forma abierta para captar la máxima luz solar posible, en las tropicales **Clima A** el clima favorece el desarrollo vegetal y las plantas crecen de forma libre. En este caso, debido a la humedad elevada, será necesario la descomposición para favorecer la ventilación cruzada. Por otro lado en zonas cálidas secas, **Clima C**, las plantas se adaptan al entorno y reducen su superficie de hojas y ramas, que traducido al ámbito de la arquitectura podemos reconocerlo en las soluciones abovedadas para reducir la extensión de la cubierta expuesta o en reducir la distancia entre edificios para generar sombra sobre muros colindantes, como podemos ver en las obras estudiadas

en el *Capítulo 2*.

Concluimos que cuando el clima es favorable, la forma puede permitirse ser más fluida e integrada con el entorno equilibrándose con el medio. Pero, en todo caso, será necesario además, minimizar el impacto sobre el suelo para reducir la impermeabilización de este.

Ver Recomendaciones de diseño Capítulo 2 : Pasado

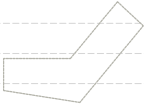



FACTOR DE FORMA (A-B-C)			
A			
	CLIMA TEMPLADO	PROPORCIÓN EN PLANTA: ÓPTIMO 1:1,6 ACEPTABLE 1:2,4	FACTOR DE FORMA : ÓPTIMO 0,6-0,8 ACEPTABLE 0,8-1
			
TROPICAL			
		PROPORCIÓN EN PLANTA: ÓPTIMO 1:1,7 ACEPTABLE 1:3	FACTOR DE FORMA : ÓPTIMO 0,4 ACEPTABLE <0,5
			 ⌚
B			
	CLIMA CONTINENTAL	PROPORCIÓN EN PLANTA: ÓPTIMO 1:1,1 ACEPTABLE 1:1,3	FACTOR DE FORMA : ÓPTIMO 0,2-0,3 ACEPTABLE <0,5
			 ⌚
C			
	CLIMA CÁLIDO	PROPORCIÓN EN PLANTA: ÓPTIMO 1:1,3 ACEPTABLE 1:1,6	
			 ⌚

Fig 48: Factor de forma y compacidad.
Fuente: Elaboración propia

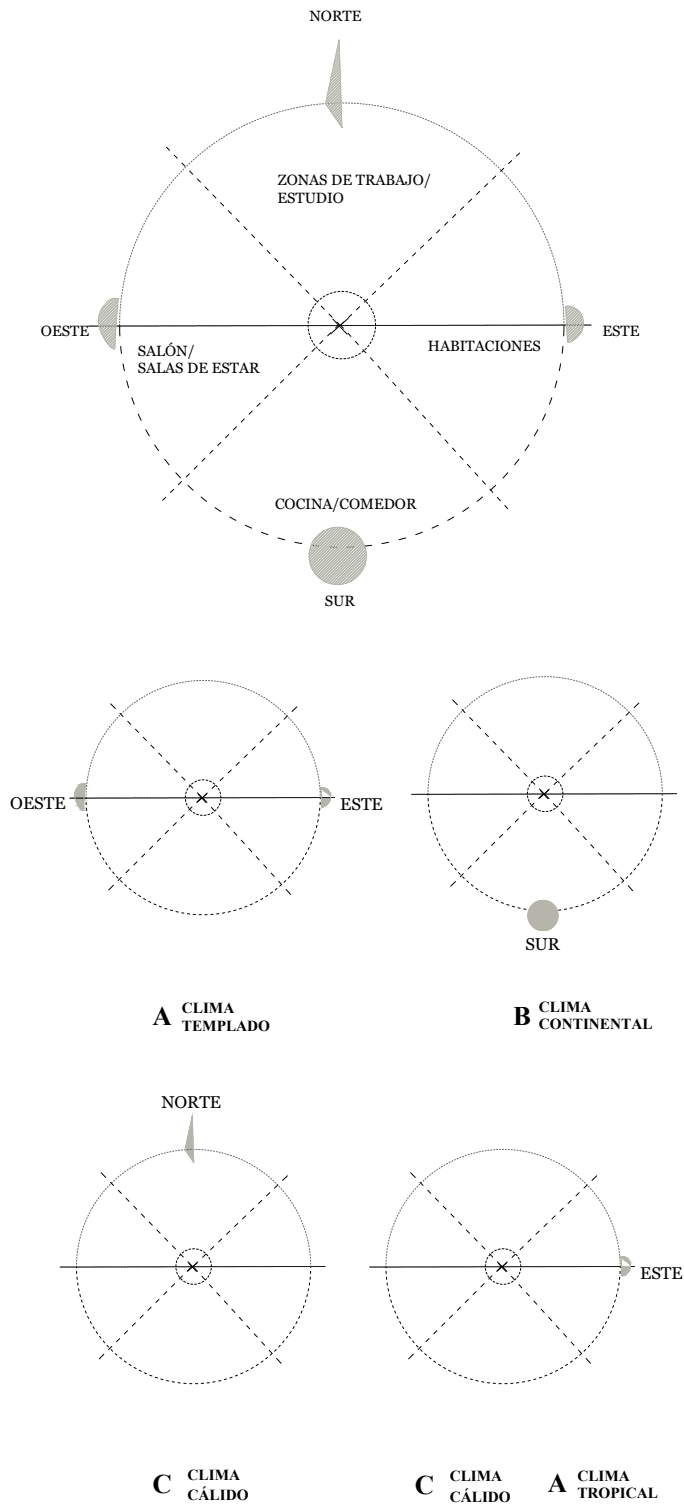
ESTRATEGIA _ORIENTACIÓN

La orientación Sur es ideal para las casas en clima continental B, ya que recibe la radiación solar durante todo el año, será necesario el uso de aislamientos térmicos para no dejar escapar el calor.

La orientación Norte no es muy recomendable en viviendas con clima Templado A o continental B ya que solo recibe luz durante la mañana y tardes en viviendas, sin embargo, será la mejor orientación para una casa ubicada en climas cálidos. Al igual que la orientación Este, donde el sol se limita por las mañanas, será ideal para evitar acumulación de calor durante el día. Aun así, se podrá controlar la radiación con elementos constructivos verticales a modo de parasol.

Sin embargo, será la orientación Oeste la que se deberá evitar en climas calurosos, donde el sol empieza a incidir desde el mediodía hasta el amanecer por lo que siempre permanecerá caliente el interior, debido a la gran inercia térmica que caracteriza a los muros de tierra, pero será idónea para climas más templados o fríos.

Fig 49: Orientación como medida bioclimática. Zonificación de estancias
 Fuente: Elaboración propia



2_REDUCIR

El concepto de reducir puede aplicarse de diferentes formas. Reducir la superficie de intervención a la simplemente necesaria, redimensionar la estructura y reducirla hasta la óptima o reducir los materiales, en el caso con la tierra se reduce la generación de desechos, ya que se opta por un sistema de construcción en seco, la extracción del material en el lugar de emplazamiento y el coste de transporte es mínimo. Siguiendo este hilo, también reducir puede significar el generar, a través del material y de la construcción un buen acondicionamiento interior y eliminar la necesidad de enfriamiento o calefacción.

La tierra es un interesante aliado para implementar los principios de la economía circular en la manera de construir y reconstruir ciudades, con ella podemos reducir los residuos de construcción y demolición casi al completo en una obra de edificación.

ESTRATEGIA_INTEGRACIÓN DE LA BIOSFERA EN LA CIUDAD

Dentro de la filosofía de la cuna a la cuna (cradle to cradle) , existen dos sistemas que posibilitan la existencia de nuestras ciudades: Biosfera y Tecnosfera. La primera se refiere al metabolismo biológico, sistemas que funcionan solos porque siguen la lógica de la naturaleza, por ejemplo, un bloque de adobe o un muro de tapial se puede considerar un metabolismo biológico, pues requiere poca ayuda por nuestra parte, tan solo en la ejecución y el producto obtenido es sostenible sobre todo si todo su ciclo de vida se desarrolla en el lugar del emplazamiento.

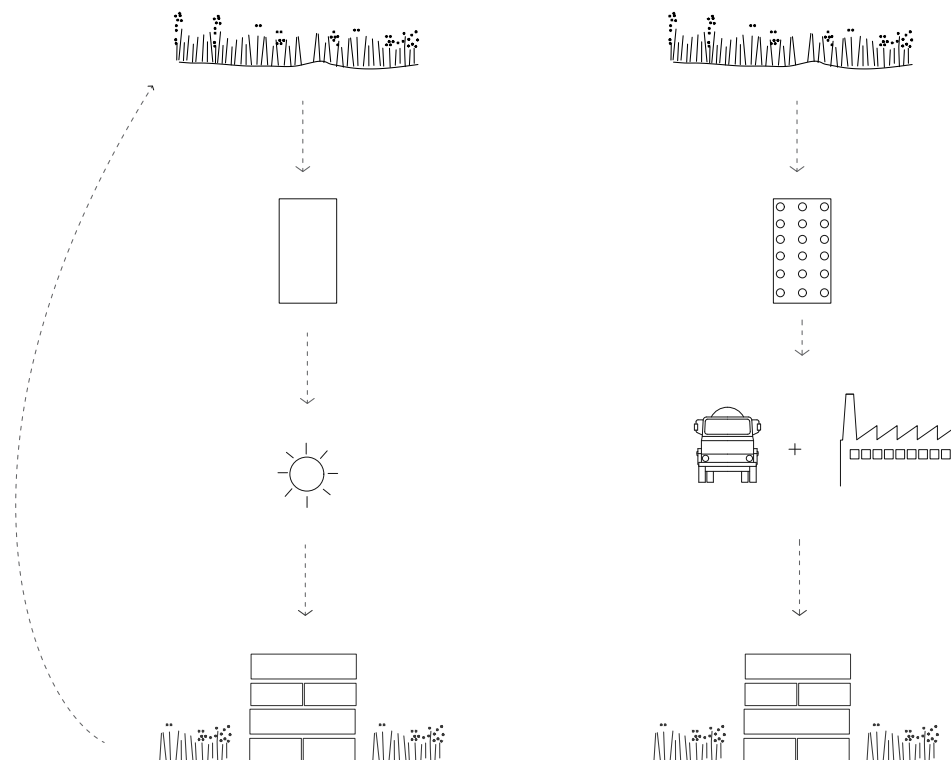
Sin embargo, la Tecnosfera se relaciona con todos los procesos de la industria, aunque estos partan de una materia prima natural, como el ladrillo cocido, aunque se crea a partir de la tierra, requiere de grandes hornos industriales para acabar su formación. Al ser pro-

ductos procesados, la biosfera no puede reasimilarlos. En este caso la única vía sostenible para cerrar su ciclo de vida sería reutilizarlos o reciclarlos.

De esta manera, debemos optar por materiales 100% biosfera, como la tierra cruda, evitar los 100% tecnosfera y será aceptable la hibridación entre ambas, siempre y cuando el equilibrio se acerque más al desarrollo de la primera y, se planifique previamente su final de vida por el camino del reciclaje o reutilización, así pues, se reducirá la contaminación en el planeta y se crearán entornos saludables

Reducir materiales tecnológicos frente a los naturales, será positivo a escala de producto y desde luego, lo será a escala del edificio y de ciudad.

Fig 50: Esquema comparativo entre la tierra cruda y tierra cocida, biosfera y tecnosfera
Fuente: Elaboración propia



ESTRATEGIA_GESTIÓN DEL AGUA

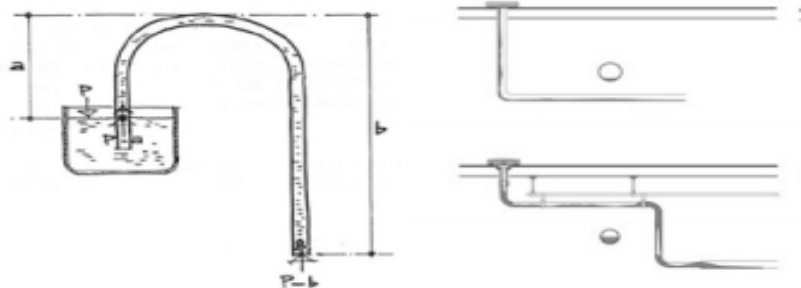
El agua es un bien preciado que debemos conservar y cuidar. Desde el sector de la construcción generamos el 30% del consumo de agua, tal y como ha sido definido por *Informe de posicionamiento de GBCe Sobre Economía Circular*

Los edificios deberán optimizar el uso del agua, para ello se puede optar por *Sistema Sostenible de recogida de aguas usadas*⁵. Este sistema consiste en recoger mediante bajantes y redes horizontales específicas para según qué tipo de agua: una para aguas negras (procedentes de inodoros, fregaderos, lavadoras, lavavajillas...) otra para grises (procedentes de duchas y lavabos) y una tercera para aguas pluviales.

El sistema de recogida de estas aguas también puede diseñarse teniendo en cuenta la filosofía 2c2 presentada, usando un sistema de recogida a tubería llena de aguas pluviales, un tubo lleno de líquido cuyo funcionamiento se basa en la diferencia de peso de este. Las ventajas que ofrece respecto al sistema convencional es *reducir* el número de sumideros debido a que tiene más capacidad para evacuar (las aguas discurren más lento), la *reducción* del número de bajantes, *reducción* de su diámetro y reducción de pendiente de la red horizontal ya que no funcionan por gravedad.

Fig 51: Esquema explicativo del sistema de recogida de aguas pluviales a tubería llena

Fuente: Geberit

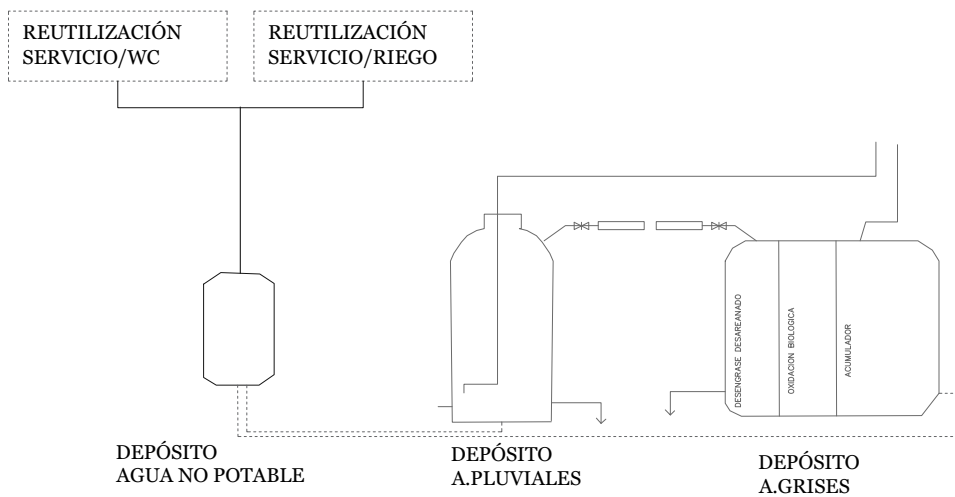


⁵ Denominación propuesta para recogidas de agua de forma independientes por Jorge Gallego en De residuo a Recurso. Hacia una evacuación de aguas más sostenible.

Esta instalación puede finalizar o en el tratamiento de las aguas grises, mediante un depósito de aguas grises, en la que se producirá una depuración en tres fases previa a su reutilización, y/o, en el tratamiento de aguas pluviales, a través de un depósito acumulador accesible y con filtrado previo.

Existen multitud de aplicaciones diarias que no requieren de un agua de calidad como la potable y para las cuales las aguas grises tratadas son una alternativa eficaz y adecuada: Cisternas de inodoro, riego, limpieza, etc. Aplicando la tecnología conveniente, se puede reducir un 40% el consumo de agua apta para el consumo humano de nuestros edificios.

Fig 52: Esquema explicativo de la reutilización de aguas grises y pluviales
Fuente: Elaboración propia



3_REUTILIZAR

Con la reutilización nos referimos tanto a volver a usar materiales como piezas o bloques de tierra que estén en buen estado o, en caso de presentarse en ruinas será su materia prima la que se use de nuevo y comience su ciclo de producción.

Reutilizar también se puede interpretar como un cambio de uso de propósito, antes de comenzar una nueva construcción, debemos tener en consideración la estructura existente. En el Capítulo 2, se observa como en muchas aldeas de Mali, era costumbre que, cuando los miembros de una vivienda fallecían, usaban los restos de la vivienda vacía para generar otra destinada a jóvenes familias.

Para ello es necesario desde el inicio, desde el Repensar, un diseño flexible para todas las etapas de su vida útil, un proyecto que posibilite diferentes usos, como puede ser el ejemplo de la planta libre o trabajar a través de módulos inteligentes.

ESTRATEGIA_FAVORECER LA MODULACIÓN Y PREFABRICACIÓN

Es habitual que un edificio de tierra se demuela no por la obsolescencia de su estructura o envolvente sino, por cambios relacionados con su planeamiento urbanístico o, con un cambio de uso y explotación. Esto se produce porque la mayoría de los sistemas constructivos dominantes por los cuales, se ejecutan los muros de tierra, son rígidos y por lo tanto, resulta complicado o económicamente un gran desembolso (ni que decir tiene, el coste ambiental) readaptarlo para su nueva finalidad.

Como se viene proponiendo en este Capítulo, programar desde la inteligencia del diseño la arquitectura con tierra, para alargar su vida útil y adaptarla a las nuevas necesidades actuales. Reducir el coste de

mantenimiento y alargar su vida está íntimamente relacionado con una inversión inicial en la calidad constructiva, se trata de una arquitectura de ensamblable tal y como defiende el movimiento Open Building ⁶

Una primera propuesta, sería un sistema modular, ya que por definición se trata de una forma de concebir la construcción que integra directamente su reparación y actualización que por tanto abaratan el coste de mantenimiento, y presenta una mayor capacidad de adaptación a las posibles necesidades de uso futuras, lo que a su vez elonga la vida útil del edificio.

Se propone un prototipo de modulación en planta para muros de tierra, según lo estudiando anteriormente atendiendo a técnicas constructivas, cuestiones de diseño bioclimáticas y aplicando las medidas pasivas de las que podemos sacar ventaja con este material.

Módulo_X tiene dimensiones 4x4.

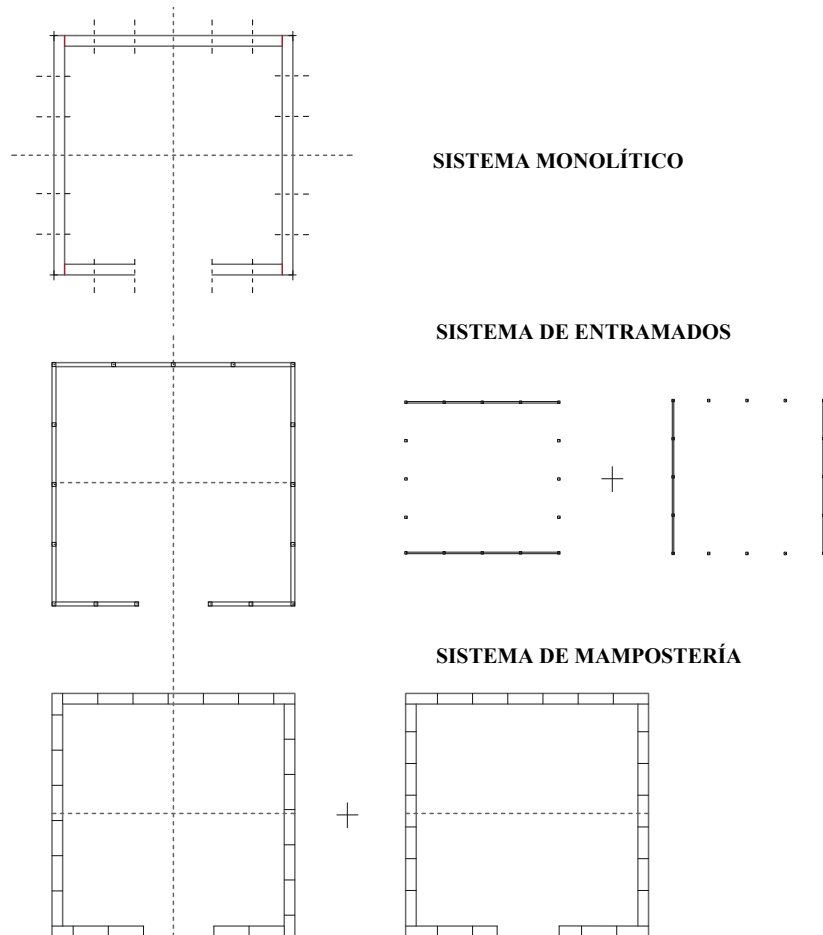
Los 4 m de longitud se dividen en 5 partiendo desde el centro, de manera que resultan tramos de 0,51 en esquina (a ser posible este tramo si es en fachada se recomendará que se mantenga ciego) 0,61 aceptables para la apertura de huecos y 0,96 centrales idóneos para grandes huecos como puertas.

Esta forma es adaptable a prácticamente todos los usos de una vivienda, reúne las condiciones parasísmicas necesarias, es económica en ejecución y tiempo y su geometría permite multiplicarse tantas veces y de tantas maneras como se desee en cada proyecto. Además, es favorable ante posibles crecimientos o reducciones futuras.

Puede desarrollarse según las tres técnicas estudiadas en el Capítulo 2, pueden levantarse muros de tapial, al tratarse de dimensiones reducidas, podrá verterse la tierra en el encofrado y apisonarla de una tacada y que el secado se realice de manera homogénea.

⁶ Movimiento Open Building es aquel que aboga por un enfoque de construcción abierta y defienden que los edificios no son artefactos estáticos y que reconocen y debe hacerse explícito que tanto la estabilidad como el cambio son realidades en el entorno construido contemporáneo.

Fig 53: Esquema Módulo_X según las diferentes técnicas constructivas
 Fuente: Elaboración propia

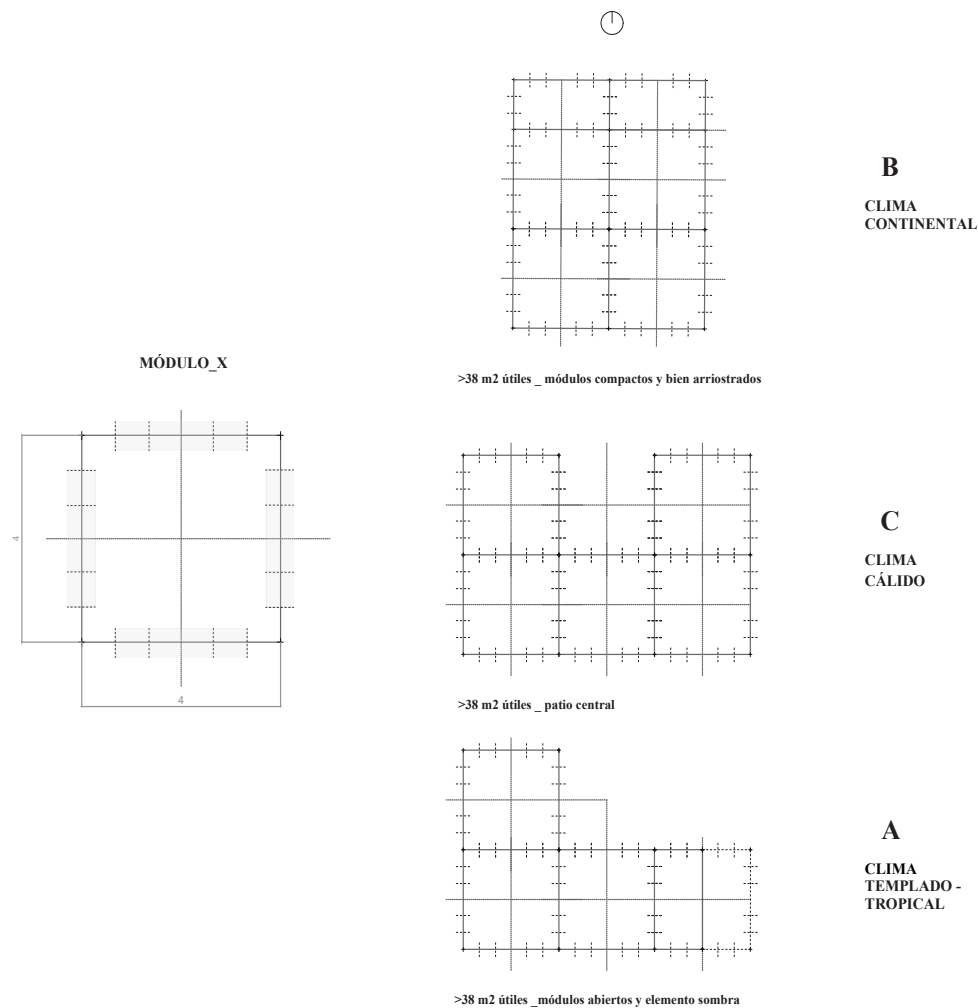


Por otro lado, admite una estructura mixta, un esqueleto formado por varas de bambú o madera, colocándose primero las verticales cada metro, después de dispondrán las horizontales cada 8-10 cm formando un entramado estructural que al alcanzar los 50cm se rellenará con el mortero de barro. Estas varas horizontales se instalan y amarran a las verticales primero de izquierda a derecha en la misma dirección y luego se amarran con las varas en la otra dirección. Y, por último la técnica de mampostería se podrá llevar a cabo mediante bloques de adobe tradicionales de 60x30 cm o 40x20 cm y espesores de 40 cm.

Para optimizar tanto tiempo, como ejecución, como mano de obra, se puede optar por dimensiones mayores como los adobones, formados a partir de moldes desmontables y reutilizables, normalmente de tierra alivianada con paja de 50x60x30 cm. Se producen bajo techo y es recomendable hacerlo cerca del muro para que sea más fácil transportarlo y colocarlo ya que su peso puede variar entre los 10-25 kg.

El módulo se puede repetir hasta conseguir la forma más eficiente según el tipo de clima conveniente. Se formulan tres opciones correspondientes a los climas A-B-C estudiados. La condición principal es que se superen los 38 m2 mínimos necesarios para una vivienda.

Fig 54: Esquema Módulo_X según las condiciones climáticas
Fuente: Elaboración propia



Una segunda propuesta, complementaria a la modulación, sería la prefabricación de paneles de tierra, se trataría de elementos que vienen ya pre-construidos y se ensamblan en obra, reduciendo el desecho de material, de tiempos de ejecución y de mano de obra necesaria para llevarlo a cabo.

Actualmente hay poca demanda de la tierra como material para la construcción en las zonas más industrializadas, por lo que existe cierta carencia en este campo. Aun así, vemos algunos ejemplos de prefabricación de elementos de tierra.

PREFABRICACIÓN_ TAPIAL:

Esta técnica vinculada a la producción in situ, pero la producción mecanizada permitiría reducir y optimizar los tiempos de ejecución, añadir mejoras relacionadas con el control de la calidad de ejecución, dosificaciones de agua y tierra o acabados (colores o texturas). Al realizarlo bajo techo, se controlan mejor los tiempos de secado. Es más flexible en cuanto al dimensionado de piezas y se podría incluso, integrar dentro de los muros instalaciones.

La desventaja es que supone un sobre coste en comparación con la producción in situ y, exige condiciones específicas de empaquetado, almacenaje, carga, descarga y traslado mucho más cuidadosos. Como ya hemos visto, se debe buscar en todo caso una reducción de las distancias de transporte para reducir las emisiones contaminantes que este genera.

El problema podría quedar resuelto si se aumenta la demanda y se justificaría el acercamiento de talleres a la zona de emplazamiento del proyecto. Incluso, se podría estudiar la viabilidad de montar talleres temporales directamente en el lugar de construcción y aprovechar la materia prima local.

PREFABRICACIÓN_ ADOBE:

_Superadobe

Desarrollado por el iraní Nader Khalili, es una técnica de construcción a base de sacos de arena biodegradables y alambre. Usado primordialmente en campamentos de refugiados de clima seco.

La forma característica es en bóveda por aproximación de hiladas. Su comportamiento es bueno ante acciones sísmicas y se aplican revocos interiores y exteriores para impermeabilizar los muros.

La desventaja es la limitación de diseño, proyección y durabilidad pero increíblemente útil para paliar emergencias sociales de manera rápida y eficaz.

_Bloque prefabricado

Los productos que ofrece Fetdeterra pionera en nuestro país en este sistema, son innovadores con un control absoluto sobre el curado y calidad. Asegura una geometría constante y regular. El mortero de unión que proponen entre bloques se fabrica con la propia tierra que una vez seco, el muro queda totalmente homogéneo en textura y color.

Las dimensiones que ellos trabajan son 4: 20x10x12 cm (con un peso de 4,5 kg); 100x8x15 cm (con un peso de 26 kg) 100x15x20 cm (con un peso de 60 kg) y de 100x40x15 (con un peso de 125 kg)

Industrialización_ paneles de tierra alivianada

Consiste en rellenar moldes de estructura de madera con tierra. Estos bastidores tienen dimensiones moduladas y es conveniente que lleven una triangulación interna para evitar deformaciones. Estos paneles se unirán a la estructura auxiliar vertical y horizontal, es decir, estos paneles son el acabado para una técnica constructiva mixta o de entramados.

Los espesores de estos paneles oscilan entre los 15 cm y de dimensiones de 30x60 cm hasta 63x100 cm con densidades de 800-1000 kg/m² .

7 Según los datos extraídos del autor Gernot Minke en su libro Manual de construcción en tierra, Montevideo, 1994, Editorial Nordam