



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN









A mis padres, por su fe incondicional.  
A Nuria, por su apoyo insustituible.  
A Alba, por su sonrisa diaria.

*“Construir con tierra, es replantear a la vez globalmente y localmente el empleo de los recursos de nuestro planeta asociando tierra, agua y sol en un verdadero desafío técnico, cultural, social, económico y medioambiental”*

CRATerre, manifiesto para construir con tierra cruda

# ÍNDICE

0.- Prefacio	0
1.- Introducción	1
1.1- Qué es la arquitectura de tierra	1
1.2- Historia de la arquitectura de tierra. Sus inicios.	8
1.3- Tipologías tradicionales	11
_Introducción	11
_Tipologías	13
<i>Técnica de tapial</i>	13
<i>Técnica de adobe</i>	16
<i>Técnica de cob</i>	17
2.- Estado actual	
2.1- Mirar al pasado para encontrar el futuro	20
_Desarrollo técnico	20
_Actualidad de la A.T. en España: Cuestionarios y entrevistas	25
_Arquitectura de Tierra contemporánea	30
2.2- Arquitectura de Tierra: problemas de su uso y conservación	35
_Introducción	35
_Problemas de uso y conservación	35
<i>Uso</i>	36
<i>Conservación</i>	40
2.3.- Normativa reguladora	49
<i>UNE 41410 y CTE</i>	49
<i>Otras normas</i>	51
3.- Metodología	55
3.1- Proceso del estudio	55
<i>Tipo de muestra a ensayar</i>	55
<i>Obtención de la tierra</i>	56
<i>Análisis previo</i>	58
<i>Construcción de las muestras</i>	61
<i>Programación de los ensayos</i>	66
<i>Ensayos</i>	68
4.- Conclusiones	86
Comentario final	92
5.- Nuevas líneas de investigación	93
Análisis comparativo de diferentes materiales	94
Anejo I	96
Anejos II	98
Bibliografía	101









## o.-PREFACIO

A pesar de los años de “evolución” (constructiva) en los que se ha invertido millones en la investigación, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y materiales que han copado mercados y se han aplicado en todo tipo de viviendas, los problemas en las viviendas no han desaparecido del escenario cotidiano: humedades, ruidos, grietas, olores, frío en invierno, excesivo calor en verano... todo tipo de patologías de diferente índole y gravedad continúan apareciendo en las construcciones más modernizadas.

Si bien es innegable las prestaciones de estos productos frente a otros más desfasados, la huella de carbono que supone su producción, el coste energético en su obtención y transporte, los resultados de su análisis de ciclo de vida y la huella ecológica que supone su industrialización, junto con la actual tendencia hacia una construcción más armónica, con sentido, quizá bioclimática, en la que se empleen los sistemas indirectos para amortizar al máximo los elementos naturales como la vegetación, el viento, el agua, la sombra, el sol, orientación, etc, hacen que quizá sea este el momento de definir la arquitectura de tierra como una opción constructiva más a considerar en el momento de proyectar e invertir en una nueva construcción, incluso para la autoconstrucción.

En esta investigación se ha pretendido trazar una hoja de ruta para el desarrollo de un estudio de las limitaciones constructivas que ofrece la arquitectura de tierra en la península, tomando como modelo muestras de tierra escogidas

en Valencia y Alicante. Sin embargo en el proceso de investigación hemos detectado cierta controversia en cuanto a la conveniencia o no de crear una normalización y regular su uso. Diferentes expertos nos ofrecen de primera mano visiones muy diferentes, todas ciertas y todas válidas, pero que coinciden en un punto en común: la arquitectura de tierra es necesaria en la actualidad.

Se localizó y se analizó la única regulación específica para construcción con tierra, la Norma UNE 41410: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Esta define una serie de condiciones para los BTC (adobes), sin embargo no lo define para el tapial ni el adobe. En definitiva se trata de encontrar el equilibrio perdido con la naturaleza. Abandonar la tendencia humana de dominar el entorno. Convertir al hombre “invasor” de la naturaleza en un hombre que convive con ella y se adaptan a partes iguales. Por ello, uno de los motivos de esta investigación será promover la arquitectura de tierra de nueva planta incluso en autoconstrucción, demostrar sus beneficios, estudiar la conveniencia o no de su regularización y trazar una línea de estudio de sus limitaciones en la Península.

Por tanto establecemos varios propósitos en este proyecto:

-Determinar la necesidad de potenciar la construcción y autoconstrucción en tierra con fines ecológicos.

-Analizar la normativa actual reguladora de arquitectura de tierra en España.

-Plantear la necesidad de creación de una Normativa específica sobre obra nueva en tierra que se incluya en el CTE, favoreciendo la autoconstrucción.

-Plantear un estudio de las limitaciones de la arquitectura de tierra en diferentes regiones de España partiendo de una metodología de trabajo practicada en Valencia y Alicante.

-Comparativa de propiedades entre dos muestras recogidas en diferentes zonas geográficas a través de ensayos de campo y de laboratorio.

Segunda foto ganadora del concurso de fotografía celebrado en Lima el pasado 28 de enero de 2015. Esta imagen fue sin lugar a dudas la más polémica. Con más de 60 comentarios, logró encender el debate sobre el crecimiento inmobiliario y su relación con los monumentos de la ciudad. Su autor, sin intención de marcar una posición determinada, dejó en claro lo que pasaba: una estructura moderna (la nueva Clínica Delgado) se había levantado avasalladoramente frente a la huaca Pucllana en Miraflores, Perú.

Alguien escribió en los comentarios: "No veo armonía, veo resistencia. No veo coherencia, veo imposición", y de ese modo parecía resumir la posición de una buena parte de los comentarios. La duda y la pregunta sigue siendo: ¿Es ese un modelo ideal de desarrollo? ¿Existen otras opciones en armonía con el entorno y con un contexto fiel a la naturaleza?.

Autor. Diego Álvarez / "Milenaria Modernidad"



# 1.-INTRODUCCIÓN

## 1.1.- QUÉ ES LA ARQUITECTURA DE TIERRA

### Definición

Se define como arquitectura de tierra al método de construcción llevado a cabo mediante el empleo de la tierra cruda como materia prima para su ejecución. Su uso en la construcción puede ser total o puede ser combinado con otros productos, también naturales o artificiales, siendo siempre la tierra el material predominante. Sin embargo el término clásico de arquitectura de tierra se refiere a la construcción con materiales naturales.

En casi todos los climas cálido-secos del planeta la tierra ha sido utilizada como material puro de construcción, estando disponible en cualquier lugar y de forma abundante. Sus ventajas, que se enumerarán más adelante, son múltiples. Aunque las casas más primitivas fueron las que se edificaron con tierra cruda, estas técnicas no son objeto del pasado. Hoy en día todavía un tercio de la población mundial vive en casas de tierra y en países en vías de desarrollo esto representa más de la mitad. En aquellos lugares donde estas técnicas son tradicionales se mantienen así mientras en los países desarrollados

estos materiales reciben un nuevo impulso a través de experiencias e investigaciones sobre nuevas técnicas para utilizarlos de forma diferente.

Desde que Craterra retoma en los años 80 lo que podríamos llamar una actualización de las técnicas de construcción con tierra, se han producido muchas innovaciones tecnológicas y arquitectónicas entre las cuales destacan por ejemplo las del artista austríaco **Martin Rauch**<sup>1</sup> y las del Arquitecto **Ronald Rael**<sup>2</sup> con su obra Earth Architecture. En ambos casos los autores nos ofrecen una visión de la otra cara de la arquitectura contemporánea en la que ésta se integra en el medio a través de las técnicas tradicionales que describen con numerosos ejemplos vivientes y que sirven como modelo a cualquier interesado en la temática.

La arquitectura de tierra es un método de construcción muy extendido en el mundo. Existen gran variedad de construcciones hechas con tierra alrededor del planeta, por lo tanto no es de extrañar que en cada región existan diferen-



Figura . Fachada oeste de la Casa Rauch.  
Fuente. Lehm Tonerde .Loam claim earth. website.



*Ref.1. Martin Rauch (Berna, 1965) es considerado en Europa como uno de los pioneros de la actualización técnica y artística de los sistemas constructivos tradicionales con tierra cruda. Su obra comprende edificaciones, diseños interiores e intervenciones paisajísticas en Austria, Alemania, Reino Unido y Suiza, incluyendo proyectos con Herzog & Meuron y Schneider + Schumacher. Su "Capilla de la Reconciliación" en Berlín es la primera estructura portante de tapial realizada en Alemania desde hace más de un siglo.*



*Ref.2. Ronald Rael, Ronald Rael es Profesor Asociado de Arquitectura de la Universidad de California, Berkeley, con un nombramiento conjunto en los departamentos de Arquitectura y la práctica del arte. Antes de unirse a la facultad en Berkeley fue el co-director de Charles E. Daniel Center de la Universidad de Clemson para creación de Investigación y Estudios Urbanos en Génova, Italia. Ha sido miembro de la Facultad de Diseño en el Instituto de Arquitectura del Sur de California en Los Ángeles, profesor asistente en la Universidad de Arizona, e instructor Senior en la Universidad de Colorado en Boulder. Obtuvo su Maestría en Arquitectura en la Universidad de Columbia en la ciudad de Nueva York, donde fue el destinatario de la William Kinne Memorial Fellowship. Él es el autor de Arquitectura de Tierra (Princeton Architectural Press, 2008) - una historia de la construcción con tierra en la era moderna para ejemplificar nuevos usos creativos del material más antiguo edificio en el planeta.*

### Ref.3. Radón

El radón está presente tanto en el aire exterior como en el interior. Normalmente se encuentra en muy bajos niveles en el aire exterior y en el agua potable proveniente de ríos y lagos. Puede encontrarse a niveles más elevados en el aire dentro de ciertas casas y edificios, así como en fuentes de agua subterránea, como la proveniente de los pozos.

El gas radón que es emitido por el suelo o las piedras, puede entrar a los edificios a través de grietas en el piso o las paredes, los empalmes en las construcciones o los espacios que quedan en los cimientos alrededor de las tuberías, varillas o bombas. Los niveles más elevados de radón por lo general se encuentran en el sótano o espacio subterráneo. Las fuentes de estos niveles de radón se encuentran más aproximadas más a la tierra o piedras. Por consiguiente, las personas que pasan mucho tiempo en los sótanos de sus casas o lugares de trabajo tienen un riesgo mayor de exposición a este gas.

La exposición al radón también puede surgir de algunos materiales de construcción si son fabricados con sustancias que contienen radón. Casi cualquier material de construcción hecho de sustancias naturales, incluyendo concreto y yeso, puede que emita algún nivel de radón. Estos niveles son muy bajos en la mayoría de los casos, pero en algunas ocasiones puede que estos materiales contribuyan considerablemente con la exposición al radón.

American Cancer Society *Otros agentes cancerígenos, radón*. [Citado el: 10 de junio de 2015.] Disponible en Web: <http://www.cancer.org/espanol/cancer/queesloque-causaelcancer/otrosagentescancerigenos/radon-carcinogeno>



Fase de ejecución de cerámico de adobe en la BOX BOX HOUSE de Ronald Rael y Virginia San Fratello y su posterior revoco con barro fino. Fuente. Base de datos de arquitectura de tierra. [eartharchitecture.org](http://eartharchitecture.org)



En los sistemas constructivos y materiales utilizados, ya que las necesidades constructivas en unas zonas geográficas no son las mismas que en otras. Tal es así, que en casi todos los climas cálido-secos y templados del mundo, la tierra ha sido el material de construcción predominante.

Si bien es cierto que los antiguos romanos y griegos utilizaban un arcaico hormigón natural (Opus Caementicium) para algunas de sus construcciones, es cierto también que su uso era escaso (en comparación con la totalidad de la construcción), llegando incluso a desaparecer junto con la caída del imperio romano. La investigación por este producto no se reactivó hasta el siglo XVII y no es hasta 1845 cuando se obtiene el primer hormigón considerado moderno. Por lo tanto podemos afirmar sin lugar a dudas que, junto con la piedra, la tierra ha sido el material más utilizado a nivel mundial, tanto en cantidad como en antigüedad.

### La tierra como material de construcción

El desconocimiento y la inercia hacia materiales más novedosos han provocado que el uso de la tierra como material de construcción quede relegado popularmente a un nivel prácticamente ancestral, anticuado, obsoleto, y, lo más preocupante, relegado a una posición generalizada en la que no ofrece las calidades de confort que hoy día aportan las nuevas construcciones. Sin embargo la tierra cruda presenta una serie de cualidades positivas que no deberían ser pasadas por alto y que no puede lograr otros materiales.

El análisis de sus propiedades como material de construcción se han desarrollado en numerosos documentos y estudios al alcance de cualquier lector interesado, por tanto me limitaré a mencionarlos sin profundizar:

-Es un material inocuo.

No contiene ninguna sustancia tóxica, siempre que provenga de un suelo que no haya padecido contaminación. No emite materiales volátiles y sus emisiones de radón<sup>3</sup> son 10 veces menores que en el cemento.

#### -Ciclo de vida cerrado.

Si en el proceso de construcción no se mezcla la tierra con algún producto artificial (por ejemplo, cemento), sería posible integrar totalmente el material en la naturaleza una vez se decidiera derribar el edificio.

#### -Fácil de obtener localmente.

Prácticamente cualquier tipo de tierra es útil para construir, o bien se puede escoger una técnica u otra en función de la tierra disponible. También se pueden hacer mezclas con otro material cercano o con algún aditivo que estabilice la mezcla (cal, yeso, paja...).

#### -La construcción con tierra cruda es sencilla y con poco gasto energético.

No requiere un gran transporte de materiales o una cocción a alta temperatura. Es por ello que se considera un material de muy baja energía incorporada. Sin embargo sí es necesario un mayor esfuerzo e implicación de los constructores.

#### -Su obtención es respetuosa.

Si se extrae del propio emplazamiento, provoca un impacto poco mayor que el que ya supone realizar la propia construcción. No lleva asociados problemas como la deforestación o la minería extractiva que implican otros materiales constructivos.

#### -Excelentes propiedades térmicas.

La tierra tiene una gran capacidad de almacenar el calor y cederlo posterior-

mente (cualidad conocida como inercia térmica). Así, permite atenuar los cambios de temperatura externos, creando un ambiente interior agradable. Sobre todo resulta adecuada en climas áridos con oscilaciones extremas de temperatura entre el día y la noche pero, si se incluye un aislamiento adecuado, también es idónea en climas más suaves.

**-Propiedades de aislamiento acústico.**

Los muros de tierra transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se convierten en una eficaz barrera contra los ruidos indeseados.

**-La tierra es un material inerte**

No se incendia, pudre, o recibe ataques de insectos. Esto es así porque se evita el uso de las capas superiores de suelo, con gran cantidad de material orgánico.

**-Es un material por naturaleza transpirable.**

Los muros de tierra permiten la regulación natural de la humedad del interior de la casa, de modo que se evitan las condensaciones.

**-Económicamente asequible.**

Es un recurso barato (o prácticamente gratuito) que a menudo ya se encuentra en el lugar donde se levantará la casa.

**-Absorbe contaminantes**

La capacidad de absorción de los materiales de tierra no sólo sirve como un tampón eficaz para la humedad en el aire, sino que también contribuye en un grado limitado, pero medible, a la absorción de contaminantes y olores.

**-Preserva la madera y otros elementos naturales.**

**-Mejora la calidad del aire interior**

La tierra regula la humedad del aire y almacena calor.

**-Es un material saludable**

No emite materiales volátiles, sus emisiones de radón son 10 veces menores que en el cemento.

**-Amortiguador de frecuencias**

Además las pruebas de laboratorio han demostrado que los materiales de construcción de tierra que tengan un espesor suficiente ( $\geq 24$  cm) son capaces de amortiguar las ondas de alta frecuencia (por ejemplo las que se utilizan para las telecomunicaciones de telefonía móvil) mucho mejor que otros materiales de construcción. Muestra de ello son los ensayos realizados por Pauli Moldan y expuesto en el libro de **Gernot Minke**<sup>4</sup> "Manual de Construcción en tierra".

Sin embargo el material tierra no es perfecto así que en contrapartida presenta al mismo tiempo una serie de carencias que tampoco podemos ignorar:

**-Es un material no estandarizado**

El tipo de tierra, por tanto su composición y calidad, no será igual en cada región.

**-Se contrae al secarse**

La evaporación del agua utilizada para activar la capacidad aglomerante de la tierra durante su amasado y para poder ser manipulado, puede provocar fisuras.

**-No es impermeable**

La tierra volverá a la tierra si no se trata convenientemente contra el agua y los agentes atmosféricos.



**Ref. 4. Gernot Minke.**

Desde 1972 hasta 2011 ejerce como docente en la Universidad de Kassel y director del Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales de la Universidad de Kassel el cual se dedica a la investigación de tecnologías alternativas, construcciones ecológicas, viviendas de bajo costo, construcción con materiales naturales, construcción con tierra y autoconstrucción. Allí concentró su trabajo en la construcción ecológica y en el diseño de bajo costo, y desarrolló técnicas que puso en práctica y divulgó en más de cien talleres y capacitaciones en Europa, la India y en casi toda América.

Ha llevado a cabo más de 50 proyectos de investigación y desarrollo en el campo de construcciones ecológicas, viviendas de bajo costo, construcciones en tierra, fardos de paja, bambú y techos verdes. Ha sido invitado como ponente a más de 60 conferencias internacionales y orientado numerosas charlas, cursos y talleres en diversos países del mundo.

MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra*. Uruguay, Fin de siglo, 1994.

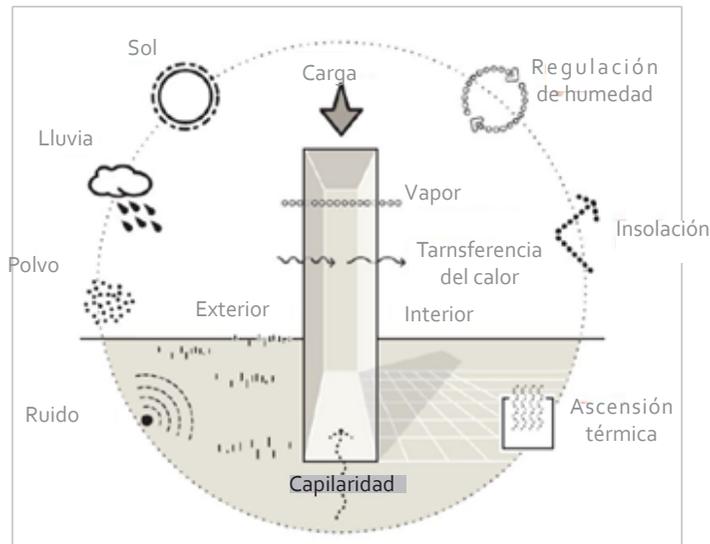
*"Los muros con los que se obtienen mayores rendimientos y menor coste de Mano de obra, son los muros de hormigón armado a dos caras, ya que éste método constructivo está muy industrializado, cuenta con unos encofrados industrializados con los que se obtienen muy buenos rendimientos, a los que hay que añadir la ventaja de los medios auxiliares disponibles para la puesta en obra del hormigón de planta mediante grúa o mediante bombeo.*

*Es por estos motivos por los que los muros de tapia son ideales para zonas menos desarrolladas con mucha disponibilidad de mano de obra pero con menores recursos.*

*Las materias primas de la construcción del muro de tapia son la tierra, la madera y el agua, materiales que están disponibles en prácticamente todos los rincones del planeta, Se trata de desarrollar una arquitectura sostenible para estas zonas más desfavorecidas."*

**Ignacio Fernández Fernández**  
Arquitecto Técnico y Máster en Edificación

FERNÁNDEZ, I.2014. *Intervención en Tapia del S.XXI*. J. LLINARES MILLÁN, director. Trabajo final de máster, UPV.



Fuente: Fabio Gatti. *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo y las técnicas contemporáneas en tierra.*

#### -Mantenimiento

Por su vulnerabilidad al agua precisa de un mantenimiento regular, tanto para proteger como para reparar posibles daños.

#### -Mano de obra

Su elaboración requiere gran cantidad de mano de obra especializada, incluso cuando se trata de medios no mecanizados. La mano de obra se traduce en coste, y si la mano de obra es propia puede resultar económico, sin embargo si se contratara una cuadrilla para su ejecución con procedimiento tradicional, el coste de mano de obra incrementaría considerablemente. El coste material de un muro de tapia, por ejemplo, es muy escaso, sin embargo es la mano de obra lo que lo encarece incluso por encima del hormigón o el ladrillo. El coste estimado de levantamiento de un m<sup>3</sup> de tapias calicostradas con técnicas modernas es de 837.05 €, mientras que uno de hormigón con las mismas proporciones tendría un coste aproximado de 196.07 €<sup>5</sup>.

En países en vías de desarrollo, esta técnica prevalece porque generalmente se trata de sistemas de autoconstrucción y mano de obra más económica. Sin embargo en lugares como los Estados Unidos o Australia se utilizan sistemas de encofrado más sofisticados que, combinados con una compactación mediante la utilización de **pisones eléctricos o neumáticos**<sup>6</sup>, reducen los costos de mano de obra significativamente, pero los aumenta en cuanto a la herramienta. En el segundo cuarto del siglo XX se utilizaron pisones neumáticos en Alemania, Francia y Australia con satisfactorio resultado. Estos tienen una acción similar a la de un martillo. Han existido diferentes modelos provenientes de distintas casas comerciales. Generalmente las características que lo definen son la altura de elevación y la frecuencia de golpeo por minuto, sin embargo

también es importante el peso del aparato para su maniobrabilidad. Su presión de trabajo se encuentra alrededor de los 6 bares y tienen un flujo de aire entre 0.4 y 0.9 m<sup>3</sup>/min. Debido a su alto costo, a la infraestructura y a la energía necesaria para operarlos son solo utilizados en obras de gran escala.

Según estudios, la mano de obra en las técnicas tradicionales de barro apisonado, ejecutadas a mano, incluyendo la preparación, el transporte y la construcción, son de 20 a 30 h/m<sup>3</sup>. Optimizando el sistema de encofrados y utilizando los compactadores eléctricos de vibración la mano de obra se disminuye hasta 10h/m<sup>3</sup>. Con técnicas altamente mecanizadas se puede llegar a 2h/m<sup>3</sup>.<sup>7</sup>

#### -Falta de aceptación en países desarrollados

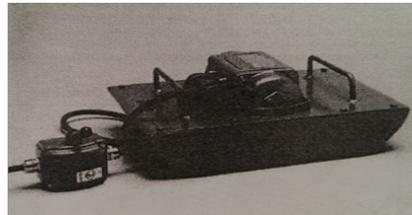
Ya se ha comentado con anterioridad el prejuicio que existe hacia esta técnica. En una era en la que impera la superficialidad, es fácilmente comprensible la tendencia a fijarse en los acabados y la apariencia visual de las superficies expuestas. Sin embargo construcciones existentes contemporáneas demuestran que tales prejuicios no tienen base cuando se trata de una obra especializada, técnica, estudiada y correctamente ejecutada.

En los últimos tiempos se ha desarrollado I+D de la arquitectura de tierra. Mietsra de ello son los diferentes productos que han salido al mercado como el BTC, el bloque Aislante de Cañaño, el BTC+algas+lana, el panel Laytec, el panel radiante WEM, el CANNAPANEL, el sistema HIPOCAUST, la tapia prefabricada, etc, así como el desarrollo de técnicas constructivas anti sismicas.

Las tapias prefabricadas pueden suponer una ventaja económica en cuanto a mano



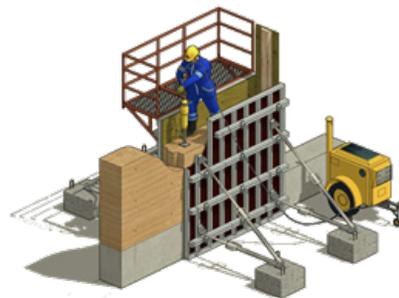
Ref.6. Compactadores neumáticos (Atlas-Copco)



Ref.6. Compactador eléctrico por vibración (Firma Heusser)



Ref.6. AA.VV. CONCEJALIA DE EDUCACIÓN. Creas Construcción sostenible. Pozuelo de Alarcón. Everest. 2013



Ref.6. Arquitectos sen Froteiras, Proxecto coñecemento da realidade[PCR]]Programa ASFE |ASIAPRODI

de obra y tiempos, ya que la tapia llega ejecutada a la obra, sin embargo tanto los tiempos como los costes pueden verse multiplicados en situaciones de trayectos largos, puesto que con las vibraciones del vehículo de transporte durante un periodo largo de tiempo pueden disgregar la tapia y debilitarla, debiendo ser devueltos a fábrica y aumentando los costes económicos, de tiempo y sobretodo aumentando las emisiones en una nueva producción y transportes.

En el documento Paredes de tapial y su industrialización, de A. Von Mag y M. Rauch, se explica que :

"Una de las dificultades que presenta el tapial es su transporte, dado que la falta de ductilidad del material exige condiciones de empaquetado, almacenaje, carga, descarga y traslado mas cuidadosos de las que por ejemplo necesitan las piezas prefabricadas de hormigón armado.

Aun así la práctica ha demostrado que este aspecto no es un problema. Piezas prefabricadas de hasta 7.000 kg fueron transportadas a largas distancias, superiores a los 800 km.

Es nuestro sistema económico los costes de transporte son, en comparación con los de producción, muy bajos económicamente, aspecto este que puede justificar enviar piezas prefabricadas a 1000 km de distancia.

El transporte de materiales a grandes distancias plantea grandes dudas ecológicas, aunque se trata de una práctica habitual en gran parte de los materiales que se utilizan habitualmente en edificación. En el caso del tapial, el transporte que da compensado, en relación a otros materiales convencionales, como el ladrillo o el hormigón armado, porque el primero tiene un balance de emisiones de

CO<sub>2</sub> mucho más bajo.

Aun así, esta es una variable que quedaría resuelta con aumentos importantes de la demanda que justificasen económicamente la aproximación del taller de producción al lugar de ejecución de la obra.

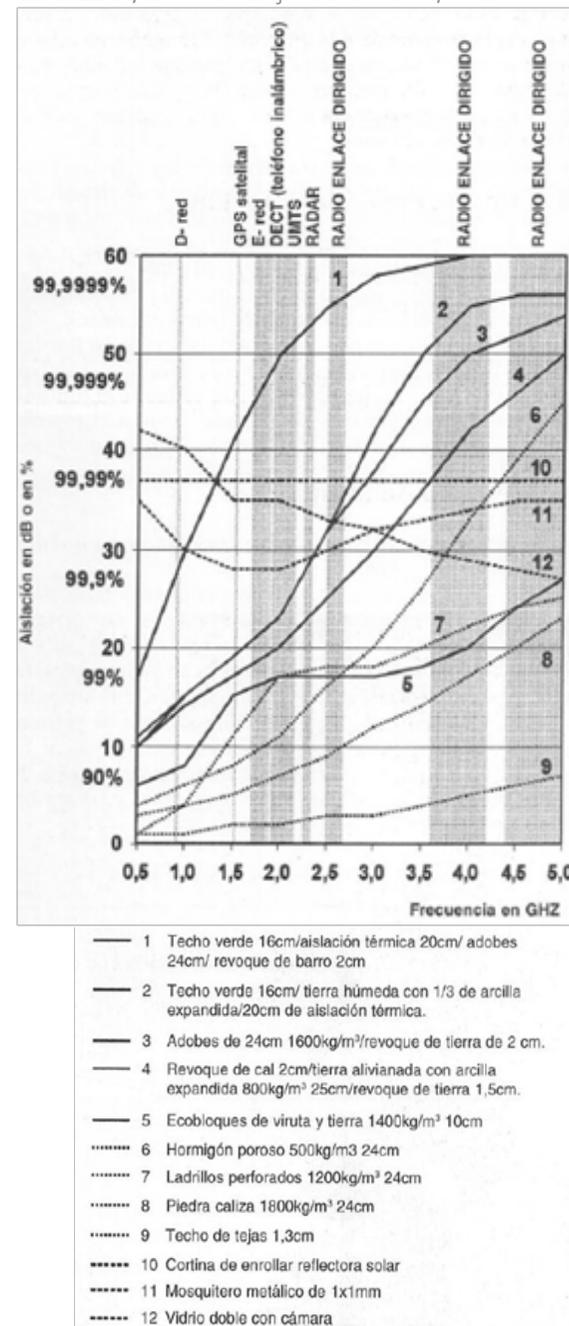
Para la ejecución de volúmenes de proyecto grandes en tapial prensado tiene también sentido la construcción de un taller temporal de prefabricación directamente en el lugar de construcción. De este modo puede, además, aprovecharse la materia prima local necesaria en la producción del tapial.

Sería interesante un estudio acerca de la ventaja económica que supondría su uso en función de la distancia a recorrer y la huella ecológica que supone su construcción y transporte, a fin de establecer unas limitaciones de rentabilidad económica-huella de carbono-devoluciones a fábrica.

El tapial no solo tiene buenas características térmicas e higrométricas, sino que además detenta un excepcional y hasta el momento no superado balance energético. El tapial se encuentra en cualquier parte del mundo y es 100% reciclable y no genera problemas de deposición. El tapial no tiene fecha de caducidad.

Puede ser reactivado con el simple añadido de agua. Nos debería quedar claro que la construcción en tapial no tiene nada de experimental, sino al contrario, que tiene que ver con métodos probados y con posibilidades de aplicación en las más variadas condiciones."

Ref.5. Consultar en anexo I: costes por m<sup>3</sup> FERNÁNDEZ, I. 2014. *Intervención en Tapia del S.XXI*. J. LLINARES MILLÁN, director. Trabajo final de máster, UPV.



Ref.7 MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra*. HF resistencia a la transmisión bajo MyL-standard 285 de ondas polarizadas verticales.



MAG, V. y RAUCH, M. 2011. Paredes de tapial y su industrialización.  
Informes de la construcción vol 63, 523, 35-40



Casa Posada Moreno in La Aldea, La Estrella, Medellín, Colombia

Maestro Constructor: Orlando Hernández, Fundación Tierra Viva.  
Técnicas de construcción implementadas: tapia pisada, bloque de tierra comprimido y bahareque. Recubrimientos en tierras naturales.



Shibam, Yemen



Qasr Al-Häjj. Tripoli. Lybia



Ait-Ben-Adou. Marruecos

## 1.2.- HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA:

### Referentes e inicios

Casi desde el inicio de la historia de las civilizaciones, el hombre ha utilizado la tierra arcillosa para construir. Es un principio inmediato, que fue adoptado en el momento que el hombre decidió asentarse permanente en un territorio. No siempre se disponía de madera o de piedra de fácil talla para la construcción seca. He aquí la necesidad de utilizar un aglomerante que fuera capaz de unir piedras informes y de diversidad de tamaños o de proporcionar, de algún modo, mayor solidez y resistencia a las construcciones vegetales.

Ya fuera por repeler las posibles agresiones del entorno, simplemente cobijarse o ambas al mismo tiempo, el hombre tuvo que enfrentarse a una evolución técnica que venía exigida por unas nuevas necesidades que hasta ese momento nunca había conocido.

Las construcciones en tierra fueron las primeras soluciones de abrigo que el hombre llevó a cabo a partir del momento en que desarrolló su actividad de forma sedentaria fuera de las grutas. Estas formas de construcción se constituyen, por tanto, en los saberes más antiguos

relacionados con la forma de dominación de un territorio.

La preservación en el uso de este material a través de la tradición oral a lo largo de la historia ha permitido su adaptación en el tiempo, de modo que en la actualidad forma parte del patrimonio cultural que identifica a los pueblos. Los procesos que conlleva la construcción en tierra, tales como horadar la tierra y mezclar fibras y materiales, han permitido adaptar estos sistemas constructivos a cada necesidad y extender su uso a lo largo del planeta sobre todo en los climas cálidos y templados. Su uso se ha asociado a diversas tipologías edificatorias, mostrando con ello su versatilidad y creando novedosas formas y lenguajes que caracterizan cada región.

Existen evidencias del uso de la arquitectura de tierra de hace más de 9000 años, en el Neolítico. Su origen se data en Mesopotamia, entre los ríos Tigris y Éufrates. Ya en ese periodo se logró una evolución en las técnicas constructivas tales que permitieron levantar edificios como la Torre de Babel y la Biblioteca de Ale-

jandría, así como muchos otros edificios de la propia Babilonia.

En el 3400 a.C. podemos encontrar restos de construcción en tierra, en una arquitectura de bóvedas y cúpulas, en (Persia), o en las murallas de Nínive (Siria), o en ciudades del prestigio en su época como Jericó, la ciudad más vieja del mundo (-2000 -1800 a.C.), de forma rectangular atravesada por una avenida de 26m. de ancho, en Irak con la gran torre de Tak-e-kesra del S.VI.a.C, con una bóveda de 26 m de luz y una altura de 30m respecto al suelo, construida sin ningún tipo de molde o cimbra.

Otras ciudades igualmente de gran importancia edificadas a partir de la tecnología de la tierra son: Pompeya, la Muralla de Chan Chan en Perú, la Gran Muralla China, que fue construida en tapial y revestida con mampostería y sillería, la pirámide del sol en Teotihuacán, el templo de Pueblo Isleta en Nuevo México, la Gran Mezquita de Djenné, así como ciudades enteras como las que se encuentran en los numerosos valles de Marruecos, en Shibam o Yemen, ciudad esta última conocida como la Manhattan del desierto por sus edificios de hasta 30 metros de altura construidos íntegramente en tierra. Incluso se han encontrado viviendas en el Turquestán ruso construidas en tierra y piedra que datan del 8000 a.C., Catal Huyuk y las ciudades subterráneas de Turquía y los hábitats troglodíticos de la Capadocia, construidos por la civilización Hitita del 2000a.C para resistir las invasiones bárbaras; y en el Yemen ciudades que aún perduran como Tarim, Shibam y Sanaa, lugares donde vale la pena detenerse en el análisis de las tecnologías que fueron empleadas en su construcción. Así pues su uso no se limita a la producción de viviendas. Se ha demostrado que en todas las zonas donde se ha desarrollado el uso constructivo de la tierra se ha utilizado para erigir todo tipo de construcciones como murallas, fortalezas y edificios públicos, religiosos y funerarios.

En la península Ibérica se han encontrado restos de esta arquitectura en yacimientos de poblados de la edad de bronce y en restos más tardíos de íberos y romanos. En España fueron finalmente los árabes quienes impulsaron y perfeccionaron la técnica durante cerca de ochocientos años.

Fernando Vegas junto con Camila Mileto y su equipo de investigación, pertenecientes al Instituto de Rehabilitación y Patrimonio de la UPV (IRP), han clasificado en cerca de 30 los tipos de tapia diferente que podemos encontrar en la Península Ibérica. Además de esto han desarrollado un mapa en el que se observan las zonas en las que la arquitectura de tierra está patente. Esto evidencia la viabilidad de esta construcción en nuestra región.

La tierra fue por tanto elegida como material de construcción en edificaciones de todo tipo, en las que su objetivo de durabilidad y resistencia queda significativamente demostrado por la perduración de muchas de un gran número de ellas. Sin embargo su existencia no se limita únicamente a estructuras primitivas y desfasadas. Hoy en día más de un tercio de la población mundial reside en viviendas edificadas en tierra. Por motivos de industrialización y desconocimiento de las propiedades positivas de su uso, su predominio se centra en los países en vías de desarrollo o considerados económicamente pobres, tal como sucede en casi toda África, regiones de Oriente Medio y zonas de América latina. Incluso en el continente asiático está extendido hoy en día su uso. Tal es así que entre China e India existen más de 50 millones de casas de tierra.

En los lugares en que la construcción de tierra es tradicional, ésta se mantiene y se estudia a fondo su preservación, como en países latinoamericanos, en especial Perú, que desarrolla en la actualidad los estudios más profundos en cuanto a preservación de patrimonio de



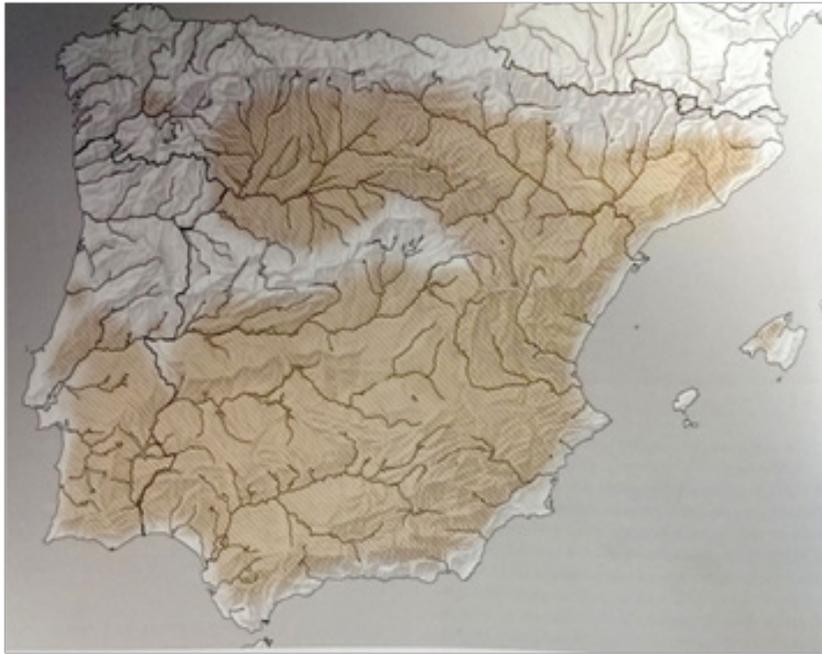
Ciudadela de Bam. Iran.



Catal Huyuk, Turquía

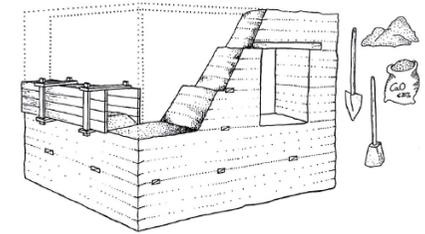


Mezquita Djene, Etiopía



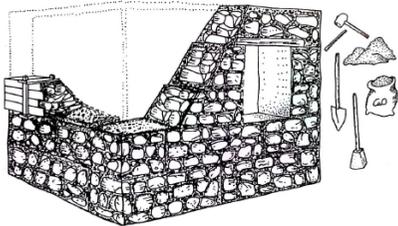
tierra ante el riesgo sísmico. Sin embargo en algunos países occidentales desarrollados también se investiga sobre las aplicaciones de este tipo de edificación y se ejecutan obras a nivel de construcciones plurifamiliares o de prefabricación. Sin embargo el desconocimiento de las propiedades comentadas en el punto 1.1, la idea popular de "lo moderno es mejor" inculcada desde nuestra infancia, la industrialización de los materiales modernos, así como la obvia tendencia hacia la mejora en calidades y menor mantenimiento que estos ofrecen, hacen que esta opción de construcción quede olvidada, y sin embargo estas estructuras forman parte del paisaje rural cotidiano en todos los países que en algún momento se beneficiaron de su uso, y nunca pasan inadvertidas para el espectador.

Mapa de distribución de construcciones en tapia en la península y ejemplos de tapia extraídos del libro de MILETO, C. y VEGAS, F. *La restauración de la tapia en la península ibérica. Criterio, técnicas, resultados y perspectivas*. ISBN 978-84-942233-3-4

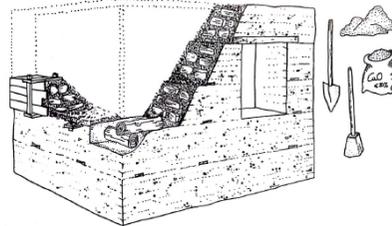


Tapia real

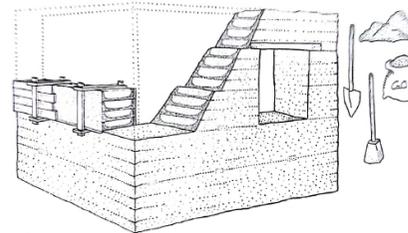
10



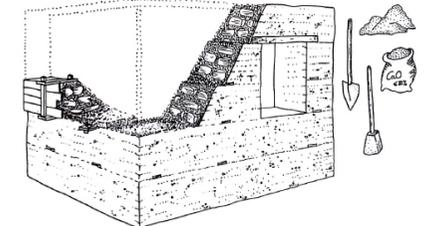
Tapia encofrada



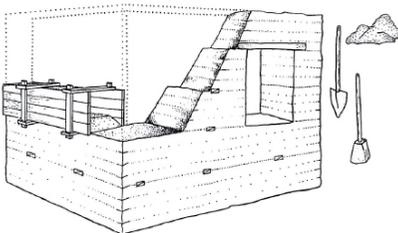
Tapia real con mampuestos tratada con madera



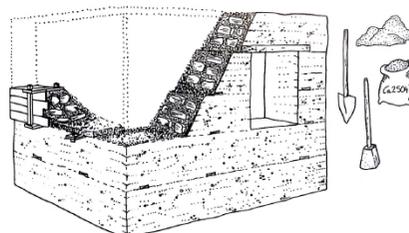
Tapia calicostrada con cuñas y tongada interior



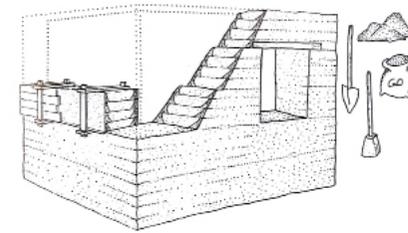
Tapia real con mampuestos



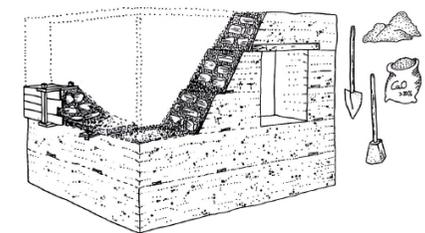
Tapia simple de tierra



Tapia de yeso



Tapia de calicostrado con cuñas



Tapia de hormigón de cal

## 1.3.- TIPOLOGÍAS TRADICIONALES

Introducción  
Técnica de tapial  
Técnica del adobe  
Técnica del cob

### INTRODUCCIÓN

Al igual que la arquitectura contemporánea, la arquitectura tradicional de tierra se ha desarrollado de diferente manera en función de numerosos condicionantes.

La historia, el clima, los materiales de los que disponían, la geografía y las costumbres y hábitos. La diferente proporción en la conjunción de estos factores han determinado la evolución de las técnicas constructivas en cada región. De este modo sucede, por ejemplo, que en zonas donde había necesidad de defensa es fácil encontrar edificaciones con gruesos muros y huecos altos, mientras que en zonas en las que este riesgo era inexistente se encuentran edificaciones más sencillas. Otro ejemplo a nombrar son zonas que disponían de variedad de materiales además de la tierra, donde era frecuente combinarlos con madera de diferentes tipos, pétreos de diferentes calidades, etc., para obtener diferentes características o mejoras, dando como resultado las llamadas técnicas Mixtas como veremos más adelante.

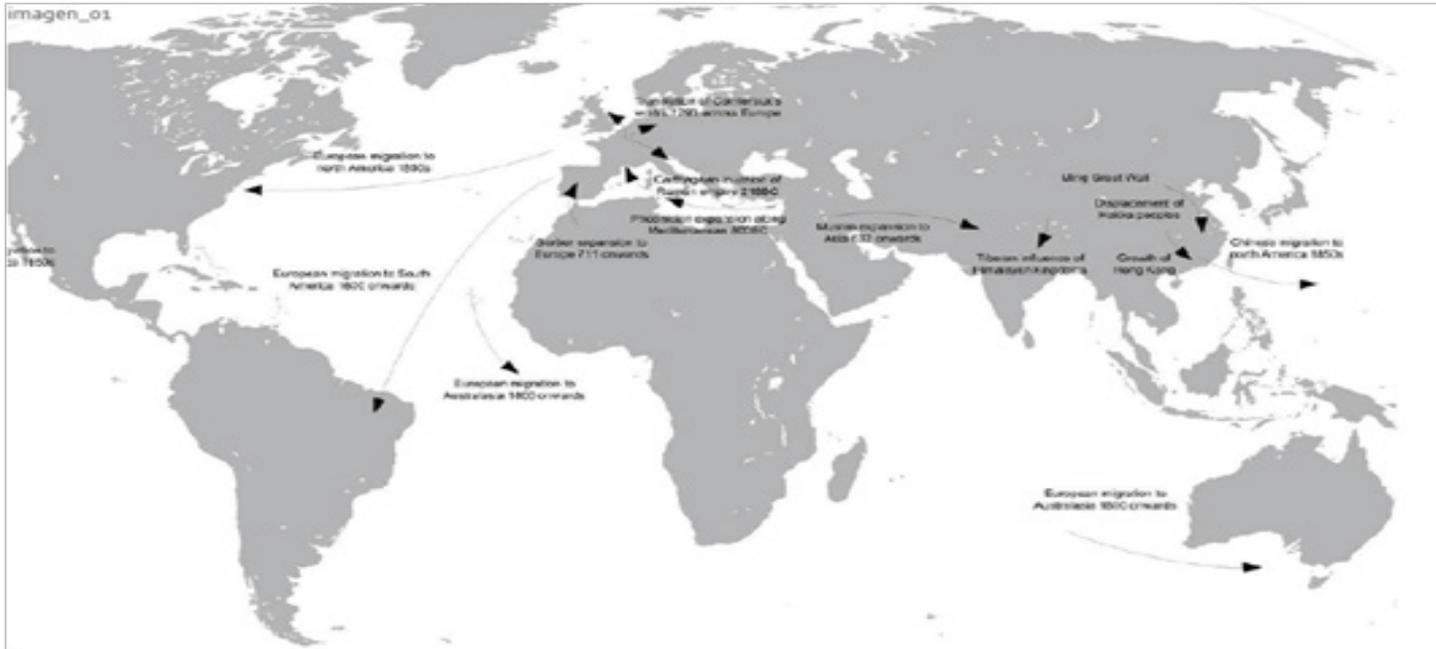
En el mapa siguiente se comprueba las zonas donde se encuentran en la actualidad restos de estructuras o estructuras completas de tierra:



Elementos influyentes en la construcción tradicional. Funeta: elaboración propia.



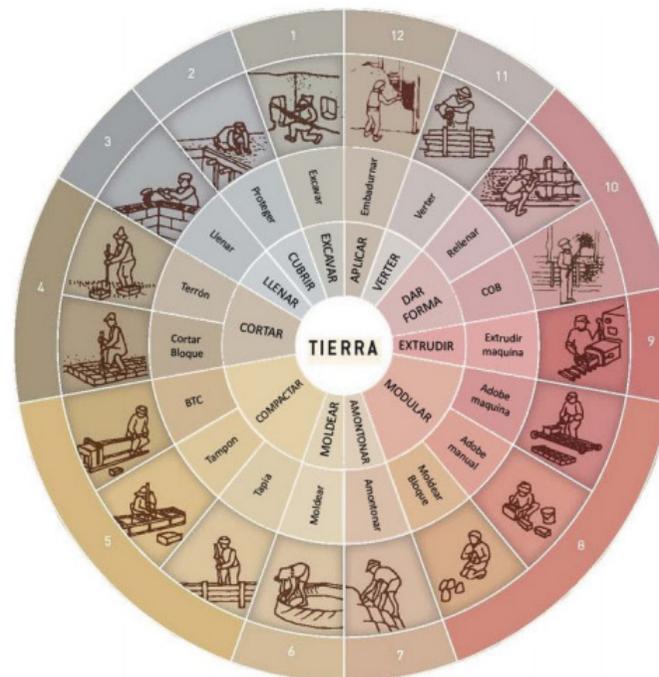
Distribución de la arquitectura de tierra en el mundo. Fuente CRATerre-ENSAG



Movimientos culturales de la arquitectura de tierra en el mundo. Fuente CRAterre-ENSAG

Las técnicas de construcción en tierra son muy variadas: doce métodos de construcción son presentados a continuación en la "rueda de las técnicas". Estas son clasificadas en función de la plasticidad del material tierra respecto a su aplicación en obra: seco, húmedo, plástico, viscoso o incluso líquido.

TECNICAS	PLASTICIDAD
1 EXCAVAR	SOLIDO Y/O SECO
2 CUBRIR	
3 LLENAR	
4 CORTAR	
5 COMPACTAR	HUMEDO
6 MOLDEAR	PLASTICO
7 AMONTONAR	
8 MODULAR	
9 EXTRUDIR	LIQUIDO
10 DAR FORMA	
11 VERTIR	
12 APLICAR	



Realizar una clasificación de todas estas variantes constructivas requiere un exhaustivo estudio propio de enmarcar en una línea de investigación diferente a la que se pretende en este proyecto. Sin embargo todas las diferentes variantes parten de un elemento común dentro de cada familia. Así pues nuestra clasificación tipológica se concretará en estos elementos base de los que partirán con la evolución todas las variantes, siendo estos la tapia, el adobe, el cob.

Las técnicas constructivas a través de las cuales la tierra se transforma en un elemento de construcción pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

I. Mediante la fabricación de pequeños elementos individuales (adobes, bloques, etc.) que se unen con mortero para conformar una obra de fábrica.

II. Trabajos en masa que conforman elementos monolíticos.

III. Como cerramiento complementario a una estructura previa levantada con otros materiales tales como bambú, madera, etc. En este caso tratamos con las técnicas mixtas, que son aquellas en las que la tierra adquiere un papel secundario no estructural.

### Tipología de Técnicas de Construcción tradicional con tierra

Existen numerosos documentos en los que se explica con todo detalle cada una de las diferentes técnicas de construcción con tierra, por tanto nos limitaremos a dar una pequeña descripción para establecer una base.

## TÉCNICA DE TAPIAL

### Definición

El sistema de tapial fue bien conocido en todos los continentes del mundo como técnica tradicional de construcción de muros.

Podemos definir brevemente la tapia como la pared o muro construido a base de bloques de tierra, húmeda y amasada o seca, compactada por medio de mazos dentro de un encofrado de madera llamado tapial. La unión de tapias en longitud y altura formará el muro tapial.

Según Corominas<sup>8</sup> la palabra tapia es prerromana, exclusiva de las lenguas Ibéricas y el occitano. Sostiene que es voz de origen onomatopéyico: "tap" intentaría reproducir el ruido que se hacía al apisonar la tierra. Históricamente, tapial es el tablero que sirve de encofrado y tapia es el propio material de tierra pisada.

En caso de que las tierras no ofrezcan una granulometría adecuada, podrán mejorarse por cribado, por adición o por mezclas homogéneas con otras tierras.

Las tierras del tapial deben ser arcillosas, grasas y húmedas. La prueba tradicional de la idoneidad de la tierra consistía en comprimirla entre las manos haciendo con ella una pella. Si la pella adquiría consistencia y no se deshacía al rodar, la tierra era apta para su uso. La consistencia se aumentaba artificialmente mediante la adición de paja bien trillada.

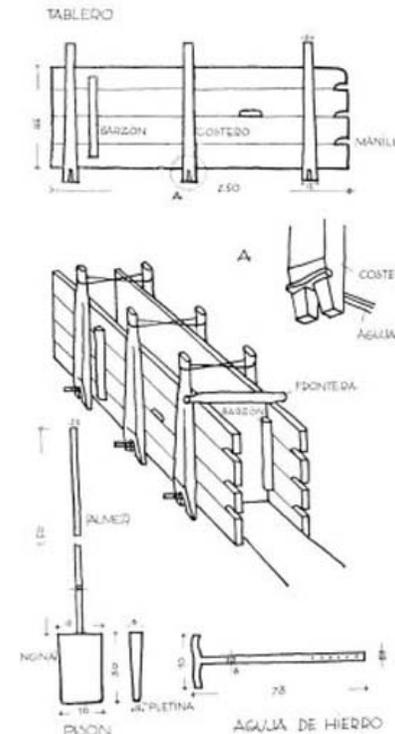
Existen una infinidad de fórmulas y de posibilidades combinatorias de los elementos que integran el tapial dependiendo del porcentaje existente en la mezcla de cada tipo de tierra que se encuentre en el lugar de excavación.

Esta técnica consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra seca o muy ligeramente húmeda, con un espesor de unos 10-15cm cada una de ellas, compactándolas con un pisón. El encofrado está compuesto por dos tableros paralelos separados, unidos por un travesaño. Existen numerosos tipos de muros de tapial. El arquitecto Fernando Vegas ha llegado a clasificar 47 tipos diferentes hasta el momento, como la tapia valenciana, la tapia calicastrada, la tapia con brencas, tapia mixta, etc. Esto es muy comprensible ya que se trata de una técnica muy extendida en todo el mundo y en cada zona se ha ido desarrollando de manera diferente.

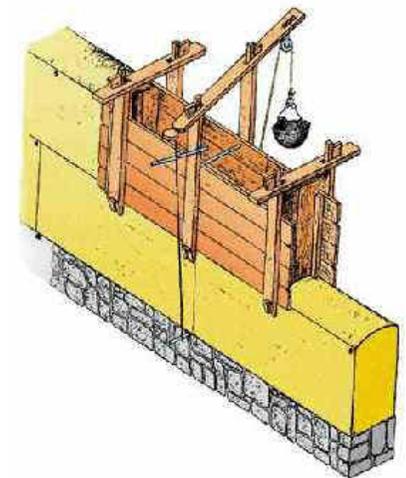
### Prestaciones técnicas

El muro de tapial trabaja como un muro de carga, teniendo una gran resistencia a compresión y ofreciendo con su anchura solidez y reducción de cargas térmicas. En los ensayos realizados por Gernot Minke<sup>9</sup> se ha calculado que el aislamiento térmico de un muro de 30cm de espesor es de 1.9 a 2.0 W/m<sup>2</sup> K. para alcanzar un valor de unos 0.5 W/m<sup>2</sup> K, requerido en muchos países europeos se requeriría un espesor de 1.6 a 1.8m, con las evidentes consecuencias desventajosas. Por este motivo, en zonas de climas fríos se debe utilizar ya sea un muro de mayor espesor de barro alivianado o utilizar un sistema de aislamiento térmico convencional adicional.

Su resistencia a compresión se hace evidente en las grandes construcciones levantadas a base de tapias. Sin embargo su resistencia se manifiesta también en la arquitectura militar, donde era el medio más eficiente de resistencia ante un ataque, ya que la masa de tierra trabajaba como un conjunto ante un impacto, absorbiendo toda la energía desprendida y resistiendo más que en los casos de sillería, donde cada elemento trabaja por separado en la mayoría de situaciones.



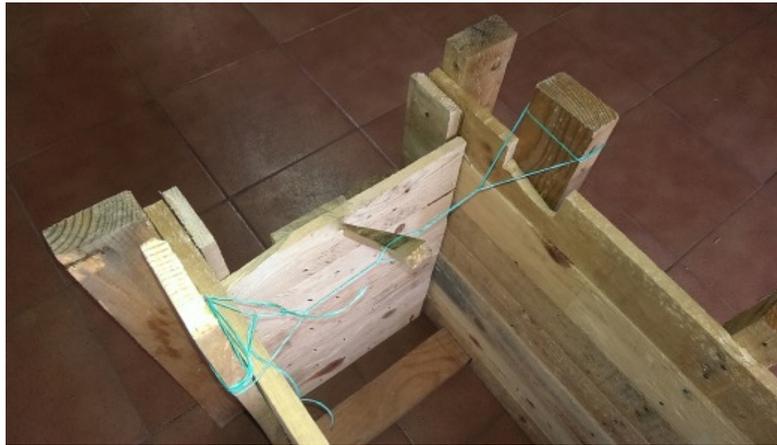
Partes de un tapial. Herramientas para su uso. Fuente: <http://www.artifexbalear.org/tapial>



Proceso de construcción de la segunda hilada de un tapial. Fuente: <http://www.artifexbalear.org/tapial>

Ref.8. COROMINAS, Joan (2000). *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana* (3ª edición). Madrid: Gredos

Ref.9. MINKE, Gernot (2000). Alemania. Ingeniero y estudioso de las técnicas tradicionales de tierra con gran bibliografía experimental en este campo.



Tapial de fabricación casera.  
Fuente: Elaboración propia

En base a los estudios de Minke, mecánicamente, el tapial tiene una resistencia a compresión aproximada de 1,5 Mpa (15 kg/cm<sup>2</sup>), pudiendo variar entre 10 y 22 kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto a la resistencia a la tracción es muy baja, entre 2 y 4 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la resistencia al corte de un tapial sin refuerzo llega a los 3'32 kg/cm<sup>2</sup>.

El tapial tiene un excelente comportamiento térmico, fresco en verano, cálido en invierno, y es un buen aislante acústico (reducción de unos 50-60 decibelios para un muro de 40 cm, para una frecuencia de 500 Hz. Es resistente al desgaste y punzonamiento, como se puede comprobar en las reformas de casas antiguas.

Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento. Sin embargo, tiene muy baja resistencia frente a esfuerzos cortantes y, por ello, mal comportamiento ante situaciones de posible cizallamiento, lo que propicia la aparición de fisuras y grietas verticales, especialmente en la proximidad de las esquinas o contrafuertes.

La densidad media de la tapia está en el entorno de 2 T/m<sup>3</sup>, en función de la mezcla adoptada, variando generalmente entre 1,8 y 2,1 T/m<sup>3</sup>.

Como resultado final de la aplicación de este sistema constructivo, obtenemos un material con unas propiedades bioclimáticas importantes ya que hacen "efecto botijo" o "vasija de barro" manteniendo una temperatura relativamente estable en su interior durante todo el año, tanto en verano con calor extremo, como en invierno con un frío intenso. Esto es debido a que los gruesos muros de tierra absorben el calor del sol durante el día, dificultando su acceso al interior de la vivienda, pero durante la noche que es cuando en estas zonas se alcanzan tem-

peraturas muy bajas el calor almacenado por el tapial pasa al interior de la vivienda, proporcionando la calidez suficiente para hacerla confortable.

### Encofrado: Tapial

Los encofrados constituyen la parte fundamental de los tapias, a ellos deben las tapias su forma, generalmente plana. Tradicionalmente consiste en dos tableros laterales formados por tablas horizontales de dos a cuatro centímetros de espesor con refuerzo en forma de costillas verticales, dos tableros a modo de tapas de fondo de características semejantes a las horizontales y que encajan en estas.

Variarán su anchura en función del grosor de muro deseado. Dos o tres travesaños horizontales llamados agujas pasarán por la parte inferior del encofrado soportando el peso de los tableros de madera y permitiendo el encaje de los costales o montantes (cuatro o seis) en unos huecos realizados previamente en forma de cuña. Éstos encajados en las agujas mediante cuñas y atirantados mediante una cuerda y una madera a modo de torniquete en la parte superior, tienen por objeto impedir que los tableros se abran a causa de la presión ejercida por la tierra al ser apisonada.

Esto origina una de las posibles improntas del tapial: una columna de oquedades grabadas sobre el paramento. Algunas veces esas barras que sirven para "grapar" las tablas se disponen en ambas caras del tapial, una cercana a cada extremo, esto da lugar a un tapial reversible; de esta manera la barra vertical tiene además otra función: la de sujetar la compuerta lateral del cajón.

### Partes del encofrado de tapia:

#### 1.- Cabeceros o frontera

Son los tableros laterales compuestos de tablas horizontales de dos a cuatro centímetros de espesor que tienen la

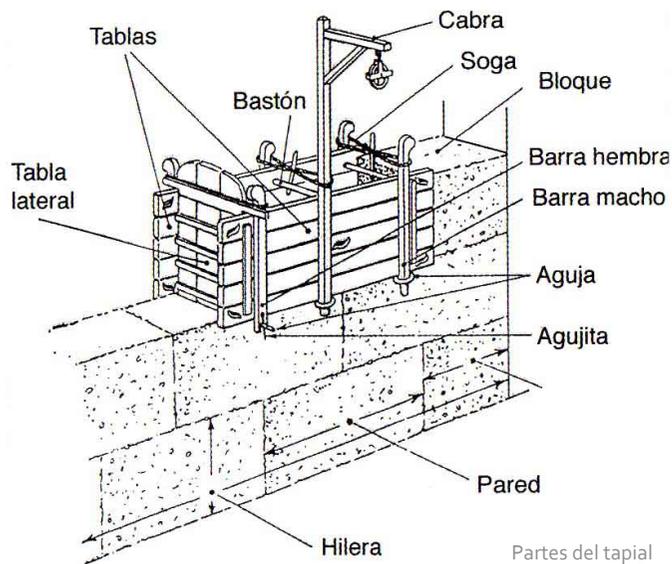
misma anchura que la del muro que se va a construir, se colocan cerrando el cajón por cada extremo. Normalmente, salvo en la primera hilada de una tapia, sólo será necesario cerrar con tablas uno de los extremos, puesto que el opuesto está limitado por el trozo de pared ya realizado. Se encajan en los costeros.

### 2.- Tablas

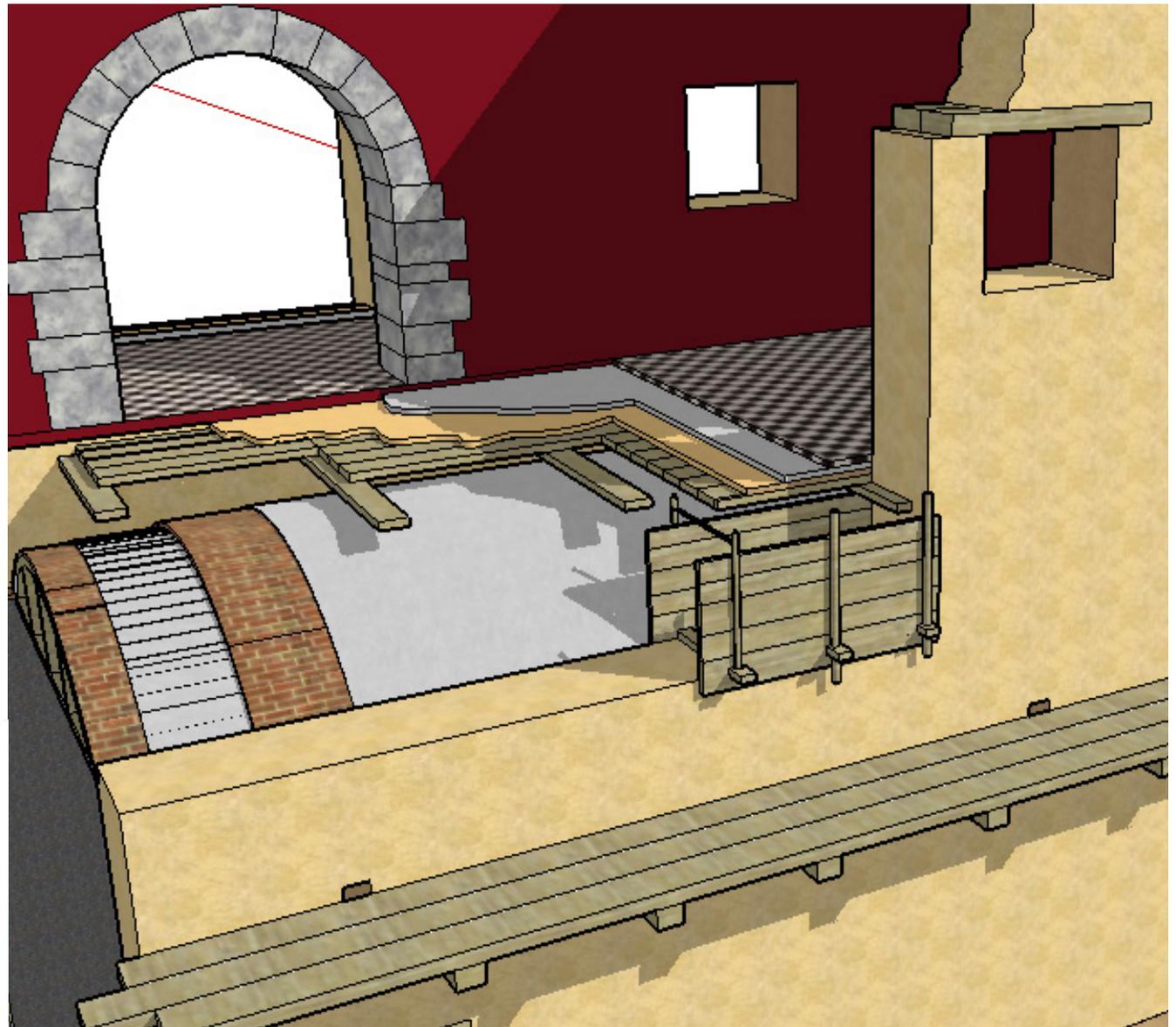
Son los tableros que le dan la longitud al tapial. Compuesto a base de tableros similares a los cabeceros, únicamente varían en la longitud. Consta de refuerzos laterales llamados costales a modo de costillas que en posición vertical impiden la abertura del conjunto por medio de la unión entre ellos por un tirante.

### 3.- Agujas

Son dos o tres travesaños de madera (en función de la longitud) que soportan el peso de las tapas y permiten el encaje de los costales en unos huecos acuñaos.



Partes del tapial  
Fuente: CRAterre.



Recreación del castillode Petrés Fuente: Elaboración propia.



Vivienda de dos plantas en ruina por colapso del frontal posterior debido a falta de mantenimiento. Se puede comprobar el efecto de la escorrentía en la base del muro y la pérdida de sección en diferentes puntos.

#### 4.- Costales

Son cuatro o seis maderas que encajados en las agujas, acuñados, y atirantados en la parte superior mediante una cuerda y una maderita a modo de torniquete, ejercen la presión necesaria para impedir que los costeros se abran por la presión ejercida por la tierra al ser prensada.

#### 5.- Codal

Es un travesaño de madera colocado entre las tablas de los costeros que impide que éstos se cierren.

#### 6.- Tirante

Madera + cuerda: Se anuda cada extremo de la cuerda en un costal en la parte superior de este y girando la madera se tensa el encofrado a modo de torniquete.

### TÉCNICA DE ADOBE

#### Definición

Los bloques de barro producidos a mano rellenando barro en moldes y secados al aire libre se denominan adobe. La construcción con adobe es muy similar al ladrillo actual. Cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual o mecánica se denominan bloques de suelo. Los ladrillos producidos mediante un extrusor en una ladrillera sin cocer se llaman ladrillos crudos. Los bloques más grandes se denominan adobones.

Para su elaboración se emplean unos moldes que confieren al bloque la forma deseada con las medidas estandarizadas. Estos moldes son de madera y en su interior se introduce el barro. Este barro puede tener consistencia pastosa o se puede emplear barro de consistencia menos pastosa lanzándolo contra el interior del molde.

El barro es un material muy pesado y una vez

seco no es muy resistente, por ello se hizo necesario utilizar recursos que paliaran estas deficiencias de su uso. Para conseguir piezas de adobe más ligeros se les añadieron fibras vegetales que, además, mejoran otras características de las piezas. La paja crea una malla que la estabiliza y se opone al agrietamiento que se produce durante el secado debido a la retracción sufrida por la pérdida de agua en el proceso. Otra ventaja del uso de fibras vegetales o paja es que se consigue un material más esponjoso y de menor densidad, con lo que sus propiedades aislantes, fundamentalmente térmicas, aumentan.

El adobe se puede emplear desde como elemento estructural hasta como medio de partición o cerramiento. Su reducido tamaño y su ligereza le confieren la capacidad de ser más manejable que el tapial, pudiendo llegar a ser utilizado como elemento de decoración haciendo diferentes mosaicos.

Las razones de su desarrollo pueden ser: el bajo coste, la facilidad de fabricación, la sencillez de su puesta en obra y su excelente comportamiento como aislante. En contra tiene su escasa capacidad resistente y la vulnerabilidad ante los agentes atmosféricos.

La utilización del adobe viene limitada por algunas características que se derivan principalmente de su naturaleza, dado el proceso de fabricación. Nos encontramos ante un material que procede del simple amasado de la arcilla y su posterior secado al sol, no hay cocción ni transformación de su naturaleza como la que se produce en los materiales cerámicos.

La falta de cocción supone el punto de partida y el condicionante más importante en el uso de los adobes: la vulnerabilidad al agua. Esta vulnerabilidad hace que el uso del adobe pueda estar limitado a zonas poco lluviosas y de baja humedad.



Construcción de muro con bloques de adobe de gan formato.

Fuente. Escuela de formación CRAterre, en Grenoble. Cesión de imagen por Salvador Tomás Marquez.

Una segunda característica es que los adobes pueden prepararse para construcciones concretas ya que pueden adoptar las medidas que se precisen, lo que facilita enormemente su puesta en obra.

### **Prestaciones técnicas del adobe**

El barro es un material con una baja o nula elasticidad. Las deformaciones por esfuerzos no se recuperan, y los esfuerzos necesarios para deformarla son muy bajos. Sin embargo, una vez construidas las paredes y cuando se ha tenido el cuidado de no sobrepasar las resistencias normales a los esfuerzos del adobe, toda la construcción marcha a la perfección. En los casos en los que se han tenido que hacer muros muy anchos para que los esfuerzos sean bajos trae ventajas adicionales: La poca conductividad térmica se encuentra mejorada por el espesor de las paredes, y la seguridad a daños por golpes externos a las paredes también aumenta; pues las paredes de adobe trabajan bien por su masividad.

Piezas de adobe sometidas a pruebas de laboratorio en condiciones normales han dado los siguientes resultados:<sup>10</sup>

- \_Densidad: 1500-1700 Kg/m<sup>3</sup>
- \_Resistencia a la compresión a los 28 días: 0.8 – 2 MN/m<sup>2</sup>, de 3 a 5 kg por cm<sup>2</sup>
- \_Resistencia a la tracción/flexión: buena
- \_Absorción de agua: 0-5%
- \_Resistencia al hielo: baja
- \_Exposición a la intemperie: reducida
- \_Coeficiente de conductividad: 0.46-0.81 w/m.K (4 veces más que el ladrillo)
- \_Retracción del secado: 0.2 – 1 mm/m
- \_Desfase diario: 10 – 12 h
- \_Resistencia al fuego: buena
- \_Paja más adecuada: La resultante de la trilla del centeno.

## **TÉCNICA DEL COB**

### **Historia**

El cob es un material de construcción muy antiguo (existe, junto con el adobe y el tapial, ya desde al menos inicios del neolítico — hace entre 10.000 a 8.000 años a.C.) utilizado en la prehistoria por algunas poblaciones humanas sedentarias. Las estructuras de tierra (cob o mismo material con diversos nombres) se pueden encontrar en zonas muy distantes entre sí, diversas culturas, y los más distintos climas. Actualmente en Reino Unido es frecuente ver casas y cottages de cob en el Devon, y el país de Cornwall. En el país de Gales (principalmente en el valle de Glamorgan y la Península de Gower. En la bahía de Donegal del Ulster (Irlanda del Norte) y ya dentro del actual territorio soberano de Irlanda en el sudoeste, especialmente en el Munster; también se encuentran muchas edificaciones de cob en el Finisterre de Bretaña en donde existen hogares aún habitados construidos hace 500 años.

Muchos antiguos edificios de tierra persisten actualmente en África, Medio Oriente y algunas zonas de los Estados Unidos (cob tipo británico en antiguas casas de Nueva Inglaterra y “cob” prehispánico, adobe y tapial en el Oeste, principalmente entre los taos del norte de Nuevo México).

En general, la construcción con tierra tipo cob es más propia de climas húmedos, mientras que la técnica del adobe y el tapial es característica de climas más secos y soleados. Esto se debe a las dificultades para secar los ladrillos o adobes en los climas más lluviosos.

### **Definición**

El cob es un material de construcción cuyos componentes son arcilla, arena, paja y barro



Ladrillo de adobe origen de Bétera  
Fuente. propia



Casa de cob de dos niveles de altura hecha por Kevin McCabe, East Devon.  
Construida mediante la técnica de cob, tiene cerca de 2 toneladas de mezcla de barro con paja.  
Extraída de [buildsomethingbeautiful.co.uk](http://buildsomethingbeautiful.co.uk)

Ref.10. EUDOMUS, DÍAZ, A. *Blog de permacultura, bioconstrucción y arquitectura sostenible*, [En línea] [Citado el: 20 de mayo de 2015.]  
Disponible en Web: <http://www.eudomus.com/>



18 Cimentación y arranque de muro de cob Fuente: Matéu Ortoneda, Instituto ecohabitar



Ejecución muro de cob. Fuente: Matéu Ortoneda, Instituto ecohabitar

común de tierra. En tal sentido el cob es muy semejante al adobe y al tapial, teniendo aproximadamente las mismas proporciones de materiales constituyentes. El proceso de fabricación del cob permite que las construcciones realizadas no requieran ser transformadas previamente en ladrillos, sino que, al igual que en el tapial, el conjunto se construye a partir de los cimientos, en muros de un solo bloque.

Según sus promotores, el cob es incombustible y resulta antisísmico; aunque lo innegable es que se trata de un material muy económico, ecológico, resistente a los agentes climáticos y, por su ductilidad, fácilmente trabajable y moldeable.

El cob, dada su ya indicada ductilidad, puede asimismo ser utilizado para crear formas artísticas, esculturales y está siendo reconsiderado desde fines del siglo XX e inicios del presente siglo XXI como un modo bastante natural y muy eficaz de edificación para viviendas.

#### **Prestaciones técnicas y aplicación**

Tal como se ha indicado en el punto anterior, el cob puede parecer muy semejante al adobe, sin embargo a diferencia del adobe, el cob no requiere de ladrillos o bloques premoldeados ni una posterior sillería en donde se asientan los ladrillos (ya que éstos en el cob no existen).

A su vez, la diferencia con el tapial es el proceso de compactado, que en el cob es más rústico, pues la mezcla se compacta en el suelo, mientras que en el tapial la tierra se encofra y se compacta "in situ" sobre el propio muro.

Tradicionalmente el cob es una mezcla de arcilla con paja y agua establecida sobre sólidos cimientos cavados (preferentemente sobre un suelo con subsuelo rocoso). Para homogeneizar y compactar tal mezcla se utilizaban bueyes que la pisoteaban (práctica denominada cobbing). Posteriormente, cuando la masa toma-

ba la suficiente consistencia y homogeneidad, los trabajadores iban alzando y modelando las paredes. La elevación de las paredes progresa según el tiempo de procesado que tuvo la mezcla (si está demasiado húmeda no sirve; si está demasiado seca tampoco: debe tener una consistencia moldeable aunque no delicuescente). Después del secado y suficiente consolidación de las paredes, el paso siguiente es el "ajuste" o precisado de tales paredes. En efecto, las paredes se ajustan a (relativamente) pocos elementos estructurales, como jambas y dinteles con las que se realizan las puertas, colocadas como estructurantes o elementos de consolidación, por medio de los cuales las paredes toman las formas definitivas.

En Gran Bretaña, con un clima muy húmedo, bastante ventoso, temperaturas casi nunca elevadas y poco sol, las paredes de las edificaciones antiguas en cob poseían grosores de entre más de 50 cm (aproximadamente unas 24 pulgadas = 60,96 cm)<sup>11</sup>, una vez construidas las paredes, las ventanas eran convenientemente excavadas (el vano o espacio vacío de las ventanas no debía ser demasiado grande, aunque sí convenía que estuviera orientado hacia los puntos más iluminados por el sol) dando a los hogares el aspecto interno abrigado que les es característico.

El material y espesor de estas paredes con alto valor de aislamiento térmico facilita que las temperaturas en los interiores se mantengan bastante estables: en verano o durante los días cálidos bastante frescas, y cálidas en los días fríos.

Llama la atención del cob que pese a los materiales con los que se compone, éste se mantenga perfectamente firme en climas muy húmedos y lluviosos.

Aunque no es indispensable, al cob se le suele dar un acabado con revoco o con cal, según

las costumbres tradicionales o los gustos personales. Se pueden realizar fácilmente relieves artísticos en las paredes, siempre y cuando es-



Vivienda de tierra actualmente en construcción con técnica de Cob.  
Fuente: Matéu Ortoneda

Ref. 11. Building With Cob, A Step by Step Guide (Construyendo con cob, guía etapa por etapa) por Adam Weismann y Katy Bryce. Publicado por Green Books ; 2006



## 2.-ESTADO ACTUAL

### 2.1.- MIRAR AL PASADO PARA ENCONTRAR EL FUTURO

#### Introducción

Desarrollo tecnológico: Huella de carbono y emisiones  
Actualidad de la Arquitectura de Tierra en España  
Arquitectura de tierra contemporánea



Estado del camino y el arroyo del Río de Abaixo de Segufe, en Seavia  
Fuente. La Voz de Galicia



Proceso de demolición de un edificio.  
Fuente. Diario El Levante

#### INTRODUCCIÓN

La tierra es el material de construcción natural más abundante e importante que existe en la mayor parte del planeta. Su obtención resulta tan accesible que en muchas ocasiones se extrae de la excavación de la cimentación de cualquier construcción, y es de tal importancia que en todas las construcciones está presente, ya sea como elemento en crudo en masa como elemento añadido en morteros. Su alta disponibilidad, sus ventajas naturales y la desarrollada técnica de utilización ofrecen una gran vía hacia el futuro para tanto aquellos países que han visto mermada su tasa de crecimiento tecnológico y económico pero que al mismo tiempo precisan la construcción de nuevas viviendas para una población que sigue en crecimiento, como para aquellos países de cualquier que desean colaborar con una construcción sostenible.

Grandes países industrializados que han aplicado un desmedido uso de la explotación de recursos naturales han originado desperdicios ambientales y han provocado un incremento del desempleo a causa de sus sistemas de

gestión industrializados. La tierra se perfila por tanto no como un retroceso, sino más bien como un avance hacia la búsqueda de un equilibrio entre la sostenibilidad medioambiental y el crecimiento demográfico. Un simple vistazo hacia atrás nos demuestra cómo era posible encontrar este equilibrio en el pasado y cómo lo puede ser en el futuro.

#### DESARROLLO TECNOLÓGICO: Huella de Carbono y emisiones

En pleno auge de la investigación y el desarrollo la construcción se ha subido al carro de la mejora y versatilidad de sus productos, favoreciendo el uso de nuevos materiales sintéticos para mejorar los niveles de confort en las viviendas, también es cierto que en la mayor parte de ellos su producción daña el medio ambiente durante su producción lo que supone unas altas cargas de emisiones al medio ambiente, CO<sub>2</sub>, aumentando la huella ecológica, y las mejoras que ofrecen no son en su mayoría las esperadas, ya sea por su calidad o por las técnicas de puesta en obra, para las que cada vez se pre-

cisa personal más preparado tanto a escala de dirección de obra como a nivel de ejecución. Muestra de ello son la cantidad de desperfectos fácilmente detectables en infinidad de viviendas que existen, convirtiendo la mayoría de veces la consecuente reparación en un trastorno por la complejidad que supone reparar un elemento que en muchos casos se encuentra en zonas de difícil acceso y en ocasiones obsoleto por la inexistencia en el mercado del producto dañado, debiendo ser sustituido por el producto que haya ocupado su lugar en la actualidad. Innumerables marcas, modelos, calidades, precios,... se trata de un mercado con un sinfín de productos de construcción realmente gigantesco y de composiciones prácticamente siempre desconocidas para el comprador (y el usuario), en donde únicamente los técnicos mejor preparados y documentados pueden llegar a conocer una pequeña parte del juego de combinación de materiales más adecuada para cada situación.

Lamentablemente existe una proporción muy pequeña de técnicos realmente preparados en este terreno, si bien se dejan asesorar por los comerciales de los productos más punteros, estos asesoramientos son absolutamente interesados y no siempre responderán del modo esperado, cosa que en parte tampoco suele importar al constructor y el único perjudicado es el usuario.

Según define la revista **Eco- inteligencia**:

*"La huella ecológica se define como el total de superficie ecológicamente productiva necesaria para producir los recursos consumidos por un ciudadano medio de una determinada comunidad humana, así como la necesaria para absorber los residuos que genera, independientemente de la localización de estas superficies."*

La producción de materiales sintéticos tiene un elevado coste a nivel energético y en emi-

siones de CO<sub>2</sub> al ambiente. Se entiende que su producción estará justificada siempre y cuando su eficiencia y eficacia reales generen un ahorro energético a lo largo de toda su vida útil superior al coste energético y contaminante de su producción. Sin embargo la realidad generalmente es otra.

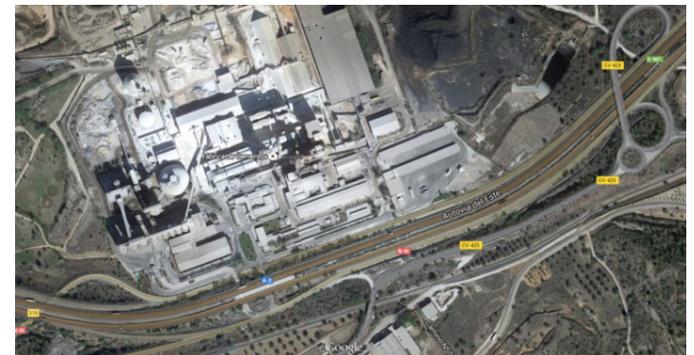
Como ya se ha dicho, el amplio abanico de materiales innovadores de construcción puede llegar a confundir tanto a técnicos como a usuarios y agentes de la construcción en su correcta elección en base a las necesidades, provocando en ocasiones que el remedio sea peor que la enfermedad y lejos de ser un elemento o conjunto de elementos que ayuden a tener climatizada la vivienda, con el ahorro energético correspondiente, produciendo el efecto contrario.

Pilar Valeró, a través de la revista Eco-Habitar, nos habla acerca de los aislantes naturales:

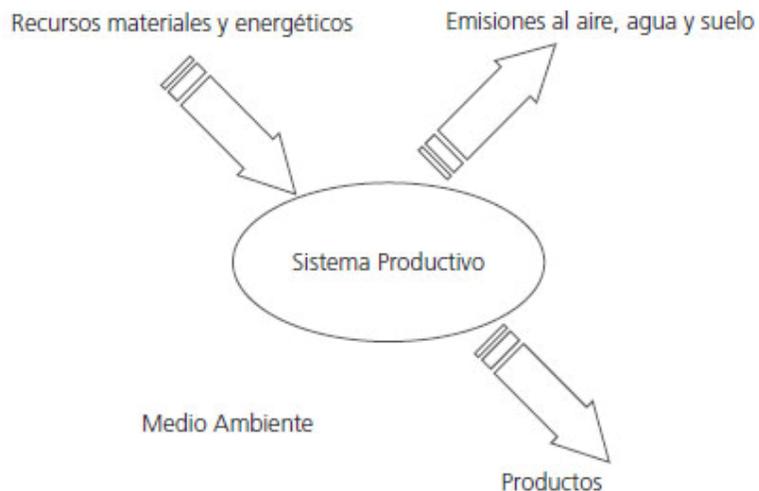
*"En cuanto a los aislamientos, el impacto de los aislantes convencionales con alto nivel de procesamiento industrial -como el poliestireno o el poliuretano- es claramente superior al impacto de materiales naturales como el corcho, la fibra de madera y la lana de oveja, o reciclados como la fibra de celulosa."*

*Al analizar los distintos productos cerámicos (ladrillos, baldosas y tejas) se observa que, especialmente las baldosas cerámicas, tienen una gran energía incorporada, debido principalmente al elevado consumo de gas natural durante su cocción. Respecto a las distintas tipologías de ladrillos, el uso de ladrillos de arcilla aligerada y sobretodo de ladrillos silico-calcáreos conlleva una clara disminución de los impactos energéticos y ambientales."*

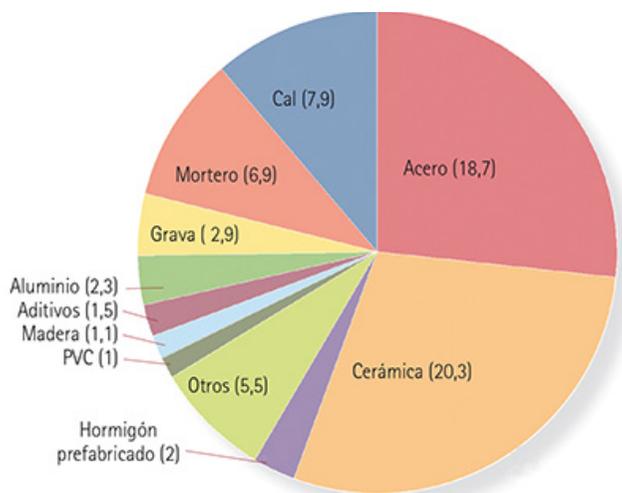
Con respecto al consumo energético, referido al ciclo de vida de un edificio, puede indicarse, que la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de edificación estándar, puede suponer el consumo de energía equiv-



Entorno de la planta cementera de Buñol, Valencia. Los residuos volantes se depositan en la vegetación circundante y la destruyen, además de generar un paisaje grisáceo.  
Fuentes:google maps y street view



Ref. 12 e imagen superior: Revista de la Construcción vol.11 no.3 Santiago dic. 2012.



Ref.13 Contribución de los materiales necesarios para la construcción de 1 m² sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su fabricación. Fuente: Cuchi A, Wadel G, Lopez F, Sagrera A, 2007.



Ref.15. Portada del documento Guía de Construcción Sostenible, que incluye una Guía de Preferencia Ambiental. Fuente: Ministerio Medio Ambiente.

Material	Densidad	Emisiones por KG	Emisiones por m <sup>3</sup>
Tapial (sin estabilizar)	2.200 kg/m <sup>3</sup>	0,004 kg CO <sub>2</sub> /Kg	9,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Adobe	1.200 kg/m <sup>3</sup>	0,06 kg CO <sub>2</sub> /Kg	74 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Pared de ladrillo Hueco	670 kg/m <sup>3</sup>	0,14 kg CO <sub>2</sub> /Kg	95 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Pared de ladrillo macizo	1.600 kg/m <sup>3</sup>	0,19 kg CO <sub>2</sub> /Kg	301 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón en masa	2.360 kg/m <sup>3</sup>	0,14 kg CO <sub>2</sub> /Kg	320 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Hormigón prefabricado, 2%acero	2.500 kg/m <sup>3</sup>	0,18 kg CO <sub>2</sub> /Kg	455 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>

Fig Fuente: Investigación de Tesina del Arquitecto Fabbio Gatti, Universidad Politécnica de Cataluña. 2012. "Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra"

alente a unos 6.000 MJ. El uso del mismo edificio, en condiciones habituales, durante el periodo de un año (expresado en m<sup>2</sup>), puede alcanzar los 500 MJ. Considerando la energía de uso del edificio para una vida útil de 50 años y sumándola a la de producción de los materiales, se llega a un valor total de 30.000 MJ/m<sup>2</sup> o bien 755 litros de gasolina/m<sup>2</sup>. Cada metro cuadrado construido conllevaría una emisión media de 0,5 toneladas de dióxido de carbono y un consumo energético de 1600 kWh (que variaría en función del diseño del edificio) considerando solamente el impacto asociado a los materiales. La figura <sup>13</sup> muestra la contribución relativa de los principales materiales de construcción en las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a un metro cuadrado de un bloque de viviendas estándar, donde destaca el alto impacto de materiales comúnmente usados en los edificios como el acero, el cemento o la cerámica.

Según datos del Global Footprint Network. 29 de octubre de 2008, España se encuentra en el puesto 12 de entre 151 países en cuanto a huella de carbono producida, estando por tanto entre los 15 países mayores productores de impacto ambiental del mundo, con un 5.7 hgpc y un déficit de -4.4 hgpc respecto a las emisiones admisibles por el medio ambiente, siendo 9.5 hgpc el mayor (Países Árabes Unidos) y 0.5 hgpc (Malau) el menor. <sup>14</sup>

La principal herramienta con la que contamos para determinar el impacto ambiental de un material de construcción es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Los ACV analizan el impacto

ocasionado en el ambiente en cada una de las fases de su vida.

Lo fundamental es cuantificar en magnitudes comparativas dicho impacto (por ejemplo, las emisiones de gases invernadero se traducen en cantidades equivalentes de CO<sub>2</sub>). Y a continuación proceder a su comparación para facilitar la elección.

Uno de los métodos más empleados es el Simapro 6.0 creado por la consultora ambiental *Pré Consultants*. El programa analiza los siguientes impactos: efecto invernadero, ozono, acidificación del suelo, eutrofización del agua, contaminación atmosférica, contaminación del suelo y el agua por metales pesados y pesticidas, consumo de energía y producción de residuos sólidos, y a través de su análisis se define un cuadro como el siguiente, en el que se comprueba muy intuitivamente el efecto mayor o menor que produce la obtención de diferentes materiales.

A partir de los datos obtenidos en los Programas ACV, se puede elaborar las "Guías de preferencia ambiental", que permiten seleccionar los materiales de menor impacto ambiental para cada capítulo de la obra. Un buen ejemplo de estas guías es la *Guía de Construcción Sostenible*, desarrollada por el Ministerio de Medio Ambiente y de obtención gratuita a través de su portal en internet. <sup>15</sup>

Según el Instituto para la Diversificación y el

Ahorro de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Turismo (IDAE) nuestras casas y edificios consumen un 41% de la energía total, y este consumo se podría reducir hasta en un 90%. Esto se debe al mal uso de los aislamientos empleados.

En contrapartida con los datos aportados nos encontramos con los datos del uso de los materiales naturales, tanto estructurales (adobe, tapia, paja,...) como aislantes (corcho, lana de oveja, algodón, paja,...) que en su producción apenas emiten CO<sub>2</sub> al ambiente, ya que no necesitan procesamiento o este es muy reducido. Sin embargo si es preciso encontrar una combinación adecuada con materiales actuales para asegurar el confort interior y la durabilidad de la edificación.

El Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) tiene publicado un documento en el que se estudian este tipo de valores donde podemos ver una comparativa en la diferencia entre costes de producción y otros parámetros tan interesantes como la inflamabilidad, la transpirabilidad, la reciclabilidad o biodegradabilidad de dos materiales aislantes, uno tan convencional como el poliestireno expandido y otro de los considerados aislantes naturales, el corcho.

En la misma línea los compuestos químicos de los materiales suponen un gran coste ecológico tanto en su producción como en una situación de incendio, en la que los humos producidos son dañinos para el ambiente e incluso pueden llegar a ser peligrosos sus efectos en una intervención de los servicios de emergencia por desconocer su comportamiento.

Con este breve resumen enfocado a la huella ecológica se pretende demostrar la necesidad de un cambio en la concepción de los edificios para reducir cuanto antes las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo energético en la producción de materiales que son fácilmente sustituibles por otros que requieran un menor consumo y ocasionen menor daño al medio ambiente. Existen numerosos documentos, artículos y libros enfocados a este propósito para los que sugerimos su consulta a quienes deseen mayor información.

**Únicamente mejorando el presente lograremos preservar un futuro.**

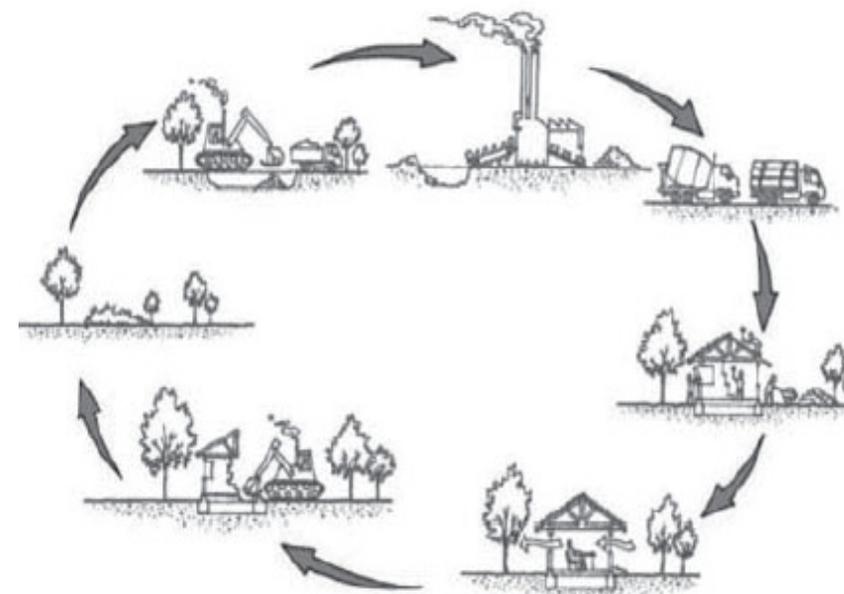
Material	Efecto invernadero	Acidificación	Contaminación atmosférica	Ozono	Metales pesados	Energía	Residuos sólidos
Cerámica	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Piedra	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+
Acero	++	++	+	+++	++	++	+++
Aluminio	+	+	++	+++	+	+	+++
PVC	++	++	+	+++	++	++	++
Poliestireno	++	+	+	++	+	+	++
Poliuretano	+	++	+	+	++	++	+++
Pino	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

+++ impacto pequeño; ++ impacto medio; + impacto elevado.

Según el Programa Simapró de Análisis de Ciclo de Vida.

País	Huella ecológica (hgpc)	Reserva ecológica (hgpc)
Emiratos Árabes Unidos	9,5	-8,4
Estados Unidos	9,4	-4,4
Kuwait	8,9	-8,4
Dinamarca	8	-2,3
Australia	7,8	7,6
Nueva Zelanda	7,7	6,4
Canadá	7,1	13
Noruega	6,9	-0,8
Estonia	6,4	2,7
Irlanda	6,3	-2
Grecia	5,9	-4,2
España	5,7	-4,4
Uruguay	5,5	5
República Checa	5,4	-2,6
Reino Unido	5,3	-3,7
Finlandia	5,2	6,5

Ref.14 Listado de países en función de la huella de carbono emitida por habitante. España se encuentra entre los 15 mayores emisores.



Revista de la Construcción vol.11 no.3 Santiago dic. 2012. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile

## Propiedades

El Código Técnico de la Edificación considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0,060 W/mK y una resistencia térmica mayor que 0,25 m<sup>2</sup>-K/W. En base a esta definición se exponen a continuación las propiedades de los aislantes térmicos que se han determinado más comunes en el sector de la edificación en España:

Denominación	Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable <sup>1</sup>	Precio aproximado €/m <sup>2</sup>	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción M.J/kg <sup>2</sup>	Contenido de producto reciclado (0-3) <sup>3</sup>	Biodegradable <sup>4</sup>
Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	Δ5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No
	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	Δ5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
Lana de vidrio (GW)	Mineral	0,03 - 0,05	1 - 1,3	NO	Δ5	Panel, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 50	2	No
Poliestireno expandido (EPS)	Sintético	0,029 - 0,053	20 - 40	SI	Δ5	Panel y a granel	No	75 - 125	1	No
Poliestireno extruido (XPS)	Sintético	0,025 - 0,04	100 - 220	SI	<15	Panel	Guantes	75 - 125	1	No
Poliuretano o Polisocianurato (PUR)	Sintético	0,019 - 0,040	60 - 150	SI	<10	Panel y espuma	Ojos, sistema respiratorio y piel	70 - 125	1	No
Perlita Expandida (EPB)	Mineral	0,040 - 0,060	3 - 8	NO	Δ5	Panel, rollo, espuma y a granel	Protección frente al polvo	5 - 20	0	No
Vidrio celular (CG)	Mineral	0,035 - 0,055	Infinita	NO	Δ60	Panel y espuma	No	10 - 75	3	SI
Lana de oveja (SHW)	Animal	0,035 - 0,050	1 - 2	SI	<25	Rollo y a granel	No	10 - 40	0	SI

Denominación	Origen	Conductividad (λ) W/(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable <sup>1</sup>	Precio aproximado €/m <sup>2</sup>	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción M.J/kg <sup>2</sup>	Contenido de producto reciclado (0-3) <sup>3</sup>	Biodegradable <sup>4</sup>
Algodón (CO)	Vegetal	0,029 - 0,040	1 - 2	Autoextinguible	<10	Rollo	No	40 - 50	0-3	SI
Cáñamo (HM)	Vegetal	0,037 - 0,045	1 - 2	NO	<25	Panel, rollo, proyectado y a granel	No	1 - 40	0	SI
Celulosa (CL)	Vegetal	0,034 - 0,069	1 - 2	Autoextinguible	<25	Panel, rollo, proyectado y a granel	Protección frente al polvo	1 - 25	3	SI
Corcho (ICB)	Vegetal	0,034 - 0,100	5 - 30	NO	<25	Panel, rollo y a granel	No	1 - 25	0	SI
Fibras de coco (CF)	Vegetal	0,043 - 0,047	1 - 2	NO	<40	Panel y rollo	No	1 - 10	0	SI
Lino (FLX)	Vegetal	0,037 - 0,047	1 - 2	NO	<25	Panel, rollo y proyectado	No	25 - 40	0	SI
Virutas de madera (WF)	Vegetal	0,038 - 0,107	1 - 10	SI	<40	Panel, proyectado y a granel	No	5 - 25	0-2	SI

Tabla P1.1 Propiedades de los materiales aislantes más comunes en edificación

<sup>1</sup> Inflamable: Que se enciende con facilidad y desprende inmediatamente llamas.

<sup>2</sup> Coste energético de producción: Los valores de este apartado hacen referencia al coste energético de los materiales en los procesos de extracción de materia prima, fabricación, transformación y transportes asociados y han sido obtenidos de diferentes fuentes documentadas. La fiabilidad de los datos está muy relacionada con las posibilidades de acceder a fuentes de información precisas, no siempre disponibles, y a las consideraciones de las variaciones posibles en función del conjunto de los ámbitos de aplicación (local, autonómico, nacional, internacional). A lo largo del tiempo, y a medida que se vayan obteniendo más datos, los baremos aquí presentados serán revisados y actualizados si fuera necesario.

<sup>3</sup> Contenido de producto reciclado:

0 En su fabricación no se emplean productos reciclados.

1 En su fabricación se emplean menos de un 25% de materiales reciclados.

2 En su fabricación se emplean entre un 25% y un 50% de productos reciclados.

3 En su fabricación se emplean más de un 75% de productos reciclados.

<sup>4</sup> Biodegradable: Que puede ser degradado por acción biológica.

## ACTUALIDAD DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN ESPAÑA: Entrevistas, cuestionarios y comentarios

Aunque su uso es más frecuente de lo que puede parecer, lamentablemente la tierra ha quedado relegada a un inmerecido segundo plano. O al menos esa es la sensación que existe según en qué círculos se pregunte. Con toda seguridad la opinión será muy diferente en función de si tratamos con un profesional especializado en arquitectura tradicional o si tratamos con alguien que nunca se ha interesado por ella. Sin embargo una realidad innegable es que la proporción de construcciones de hormigón, acero y ladrillo es inmensamente superior a la construcción con tierra. Es una comparación injusta dado el boom inmobiliario a golpe de ladrillo que se ha vivido, pero es la realidad.

Se han realizado encuestas y entrevistas a diferentes profesionales del sector de la construcción y entidades especializadas en tierra, como Okambuva y el IRP de la UPV. La intención era conocer qué impresión tienen acerca de la tierra, de su uso, su conocimiento acerca de ella y la conveniencia o no de reglar su uso. Estas encuestas han revelado que existen ideas muy diferentes acerca de este tema.

Por un lado están aquellos profesionales que desconocen las posibilidades de construcción con tierra y huyen de ella, en pro de una construcción con materiales actuales e innovadores. Existe un grupo que sin interés en conocer sus características apoyan su uso y un aumento en la docencia y la reglamentación y finalmente están aquellos que conocen perfectamente las posibilidades que la tierra ofrece y la ponen en uso. Sin embargo dentro de este grupo existen diferentes opiniones en cuanto a que exista una Normativa específica.

En la entrevista realizada a **Matéu Ortoneda** <sup>16</sup>,

constructor especialista en arquitectura tradicional de tierra, nos ofrece una visión muy diferente a la que encontramos habitualmente:

*"La construcción en tierra está contemplada en normativa (UNE 41410) y no cuesta nada legalizar una obra de éstas. Lo de comprar o no casas de tierra tiene sentido en Alicante o Mallorca, donde suena muy exótico, pero en Castilla todas las casas de más de 70 años son de tierra y la gente las compra, las vende y las repara sin otro pensamiento. Arquitectos interesados en construcción en tierra hay muchos (demasiados), yo los veo en encuentros y hay cien por cada albañil interesado, formado o dispuesto a construir en tierra. Problemas hay en encontrar constructor y en elaborar presupuesto. Es un mercado poco activo, poca oferta y poca demanda, pero van pasando cosas y va a más."*

Sin embargo, existe la otra cara de la moneda. A raíz de una encuesta formulada a profesionales de la arquitectura y técnicos, encontramos respuestas como la siguiente:

*"El cliente medio no suele estar dispuesto a gastarse su dinero en una vivienda con un sistema de construcción que no se utiliza y que lo poco que conoce es muy antiguo." Y que declara que según su experiencia "La arquitectura tradicional no tiene cabida en la arquitectura actual. Únicamente plantea un interés histórico y cultural".*

Otra persona encuestada hace la siguiente afirmación:

*"Creo en la identidad de cada pueblo, por otra parte hoy en día las ciudades se han convertido en genéricas y sería más difícil la implantación de este tipo de arquitectura."*

Se ha contactado con el Instituto de Restauración del Patrimonio de la UPV (IRP). Para Sal-



### Ref. 16. Matéu Ortoneda Colomar.

Mallorquín, formado en bioconstrucción en Estados Unidos en Shelter Institute, Solar Energy International, Cob Cottage Co., y la Earthwood Building School. A sus espaldas tiene veinte años en arquitectura de tierra: dos construyendo en piedra seca en Mallorca en 1988 y 1989, luego un parón en que trabajó 6 años en Dinamarca en la agricultura ecológica y a la vuelta de los USA, y desde 1998 hasta la fecha en construcción en tierra.

*"Será necesario solventar los vacíos de conocimiento establecidos en la presente investigación, así como potenciar el uso de fichas técnicas del material específicas del lugar de procedencia. Éstas deben reflejar las características exigibles por la normativa vigente, la evaluación del conformidad de la UNE 41410:2008 y de esa manera, fomentar el BTC como otro material más de la construcción en España."*

**INICIACIÓN AL ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN MEDIANTE EL EMPLEO DEL BTC COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN. X CIATTI 2013.**

**Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra Cuenca de Campos, Valladolid.**



**Ref- 17 Salvador Tomás Márquez,**

*Arquitecto técnico de pura cepa y Máster en Conservación de Patrimonio. Emprendedor y apasionado de la arquitectura tradicional, especializado en construcción de bóveda tabicada de ladrillo, uso de cal para pavimentos y revestimientos y técnicas tradicionales de tierra. Actualmente trabaja en el Instituto de Rehabilitación de Patrimonio de la UPV como investigador de la mano de Fernando Vegas.*

vador Tomás <sup>17</sup> existe un gran desconocimiento por parte de los técnicos y constructores de la Comunidad Valenciana en cuanto a las posibilidades que ofrece la tierra:

*"En mi entorno (no laboral) existen 8 de cada 10 técnicos que desconocen la diferencia entre tapial y tapia"*

*"en mi opinión, en la Comunidad Valenciana, las técnicas tradicionales para obra nueva están muy abandonadas. Quien se dedica a esto lo hace más por vocación que por ganar dinero.*

*Si el usuario se interesara por esta arquitectura se convertiría en un negocio y su producción se expandiría.*

*Se trata de un mercado pequeño que sin embargo se está moviendo. Ahí está.*

*Problemas en los ayuntamientos no he encontrado ninguno en cuanto a mi sector (rehabilitación/restauración), el ayuntamiento puede saber o no acerca de la arquitectura de tierra, pero mientras el responsable sea el técnico de la obra el ayuntamiento concederá la licencia siempre que se paguen las tasas correspondientes.*

*La inclusión de la arquitectura de tierra en CTE es totalmente necesaria para la aceptación por parte de los técnicos. Es el técnico quien debe promocionar el uso de la arquitectura de tierra. El mejor comercial de la técnica constructiva es el técnico. Si el técnico no cree en una técnica constructiva el cliente aún menos. ¿Y cómo convences a un técnico? demostrándole con una normativa que cumple unas condiciones mínimas.*

En la entrevista realizada a **Pedro Bel <sup>18</sup>**, constructor, Arquitecto y Arquitecto técnico especializado en tierra con extensa experiencia, se plantea la defensa de la arquitectura de tierra como algo tradicional y amable, que se aprende a través de la propia experiencia del profesional que desee involucrarse en ella, ganando expe-

riencia. Defiende la idea de la no necesidad de una Norma que regule el uso de la tierra como material de construcción. El razonamiento es simple: Su regulación promoverá la industrialización y venta de la tierra (uno de los pocos elementos aún de obtención gratuita), con lo que se perderá la esencia de la sostenibilidad, y la regulación también significará coartar su uso a las especificaciones que determine, con lo que es posible que se consiga el efecto contrario y los profesionales huyan de ella debido a la dificultad que supondría su cumplimiento:

*"Desde mi punto de vista, lo más bonito que tiene la tierra es la ausencia de Normativa, y por lo tanto, la necesidad de profesionales que la sepan sentir e interpretar. Desde mi punto de vista, una normativa que regule esta construcción tan bonita, tan de sentir, tan sólo repercutirá en regularizaciones, limitaciones, empresas que vendan la tierra preparada... y la especulación que existe con el resto de materiales.*

*Mi respuesta a eso es sencilla: que el que quiera aprender lo haga, como siempre se ha hecho y ha funcionado, yendo y metiendo sus manos en ella. Y con respecto a la seguridad que puede dar una normativa: tan solo mirar la longevidad de los millones de edificio construidos con tierra sin tal normativa.*

*Mi experiencia con las normativas es nefasta, en el sentido de que nos obligan a pasar a todos los sensatos por un aro, para controlar a los dos insensatos que no saben trabajar."*

En cuanto a las encuestas los resultados que arrojan se enfocan sobre todo al desconocimiento de la técnica y sus propiedades. La encuesta no es representativa por no alcanzar el número mínimo de encuestados, sin embargo nos ofrece una idea de la tendencia general existente:

**4 de cada 10** profesionales no conoce la arquitectura de tierra, pero intuyen de que



**Ref. 18. Pedro Bel Anzue,**

*Arquitecto Técnico y Arquitecto por la UPV, Máster en Restauración de Patrimonio y Doctor por la Universidad de Granada. Especialista en arquitectura de tierra con extensa experiencia.*

*"Concienciado en VIVIR y en la influencia del HÁBITAT que creamos para que cada SER lo consiga.*

*La arquitectura (con minúscula), hecha a medida, sin pretensiones secundarias ni de grandeza que desvirtúen el objetivo principal potencia el desarrollo de sus usuarios.*

*Como arquitecto de diseño he encontrado en los materiales sostenibles y respetuosos la terminación que le permite a un buen*

*diseño, materializarse en un gran espacio para habitar.*

*Como arquitecto especializado en restauración y gestión del Patrimonio, conseguimos que los municipios puedan usarlo como elemento dinamizador.*

*Su bandera: "En el trabajo lo tengo claro: la calidad, se hace."*

pueda tratarse.

**8 de cada 10** quisieran que se impartiera más en su carrera.

**5 de cada 10** conocen “algunas” de las propiedades de la tierra.

**3 de cada 10** consideran que su conocimiento es bajo.

**3 de cada 10** considera que su conocimiento es medio.

**1 de cada 10** considera tener conocimiento nulo.

**4 de cada 10** definirían la arquitectura de tierra como “Arquitectura tradicional que no tiene cabida en la arquitectura actual. Mero interés histórico y cultural.

**2 de cada 10** considera que se trata de una “arquitectura arcaica, desaparecida y en desuso”.

**8 de cada 10** piensan que es “una arquitectura diferente a la actual de hormigón y acero, con diferentes propiedades, tanto positivas como negativas, pero que bien estudiada y utilizada puede convertirse en una opción viable en la actualidad.”

**7 de cada 10** no saben si existe alguna Normativa que regule su uso.

**8 de cada 10** considerarían su uso en proyectos de construcción de obra nueva en caso de existir una Normativa del nivel del CTE.

**5 de cada 10** utilizarían la arquitectura de tierra para viviendas sociales.

**4 de cada 10** utilizarían la arquitectura de tierra para casetas de jardín y barbacoas.

**2 de cada 10** la utilizarían para muros de cerramiento o elementos de escaso valor.

**8 de cada 10** comprarían una vivienda de nueva construcción hecha en tierra.

**2 de cada 10** no creen que la arquitectura de tierra sea una alternativa.

En el documento de divulgación científica *Arquitectura de tierra contemporánea*<sup>19</sup>: *tendencias y desafíos* de Rodolfo Rotondaro<sup>20</sup>, encontramos el siguiente análisis:

*“Existe el desafío de legislar para poder contar con una normalización de fácil acceso y reconocida internacionalmente, adecuada y suficiente para apuntalar la confianza en la tierra como material constructivo. Si bien hay avances importantes en diversos países y contextos de aplicación, las normas establecidas no alcanzan para la tarea en el terreno gubernamental, ni como instrumentos de confiabilidad para la sociedad y sus organizaciones. Es el caso de la normativa específica para construir con tierra en zonas sísmicas, cuyo debate forma parte de la agenda de muchos países, así como también el caso de la poca credibilidad en cuanto a las resistencias y la durabilidad de las construcciones de tierra, algo que se refleja en los códigos y normas nacionales.*

*Otro de los desafíos es la posible industrialización de los sistemas constructivos con empleo de tierra cruda, ya sea por cuestiones asociadas a la imagen, al descrédito tecnológico, a la conveniencia económico-empresarial y política, o a la combinación de varias de estas razones. Pese a los intentos, éstos son dispersos; la edificación con tierra no forma parte del mercado convencional de la construcción en la mayoría de los países.*

*Un cuarto desafío es poner en valor las ventajas ecológico-ambientales de la construcción*

## Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos

Rodolfo Rotondaro

arcont

242

En este artículo se considera la producción de la arquitectura de tierra contemporánea y sus tendencias asociadas, que han surgido principalmente en el período de las últimas tres décadas. La mirada es global, pero el enfoque está puesto en algunas manifestaciones, tanto americanas, el ejemplo por su significatividad en tanto representan vanguardias de los territorios de desarrollo que se mencionan. Se profundiza sobre una relación emblemática del estado actual de la arquitectura de tierra, el tiempo presente una galería de obras y proyectos contemporáneos, el objetivo es orientar a pensar más allá de lo que se ve a la luz de la realidad y a la reflexión sobre la transformación que está ocurriendo en el habitat construido y en la creación de muchos proyectos, a partir del fenómeno de la revolución de la arquitectura de tierra a escala global.

El concepto “arquitectura de tierra” es consensado y aceptado en general para identificar todo tipo de manifestación en el habitat construido, en el cual la tierra cruda es el material principal o el único, de manera que no se agrega ni se altera. El concepto fue definido recientemente por el Proyecto Proterra, para el cual se debe incluir “el conjunto de todas las manifestaciones constructivas, arquitectónicas y urbanísticas que han sido proyectadas y construidas con tierra como material predominante” (Pérez, 2005).

Otros aspectos importantes para tener en cuenta es el hecho de que casi un tercio del hábitat mundial vive en construcciones de tierra, la mayor parte de las cuales son viviendas construidas por sus habitantes o comunidades locales. El alcance de la contemporaneidad debe tener en cuenta, entonces, no sólo la producción arquitectónica oficial, la privada empresarial y de las organizaciones gubernamentales, sino también toda la arquitectura desarrollada en contextos de arquitectura de tierra contemporánea.

Finalmente, el estudio de la arquitectura de tierra menciona a la obra del arquitecto argentino Juan Pablo Toranzo y su trabajo “huacón” que en el siglo 21, por más de cincuenta años, es un ejemplo de la arquitectura de tierra contemporánea en particular a la zona. Trabajó en sus proyectos y obras de vivienda, escuelas, edificios culturales, museos, palacios y hospitales en Egipto y varios países de Medio Oriente, México y Colombia (Toranzo, 2005) y su participación en planes urbanísticos, de los cuales, el más conocido es el plan de Nueva Guinea. La mayor parte de su obra ha consistido en servir a la tierra como material principal.

La tierra como material constructivo es valorada cada vez más con base en sus características más saludables comparadas con materiales más modernos en el hogar y en el trabajo, el ahorro de agua. Para obtener otros beneficios de esta energía de producción y transporte, la cual no sólo es no renovable sino que contamina. En la construcción con tierra prácticamente no se genera contaminación ambiental, el material no contiene sustancias tóxicas, en su producción y transporte se necesitan muchos menos recursos y demanda menores costos, y puede ser reciclada casi en su totalidad, volviendo a ser parte de la naturaleza.

¿Será suficiente que “hay más que mantenerlo” para volver a la tierra como material constructivo?

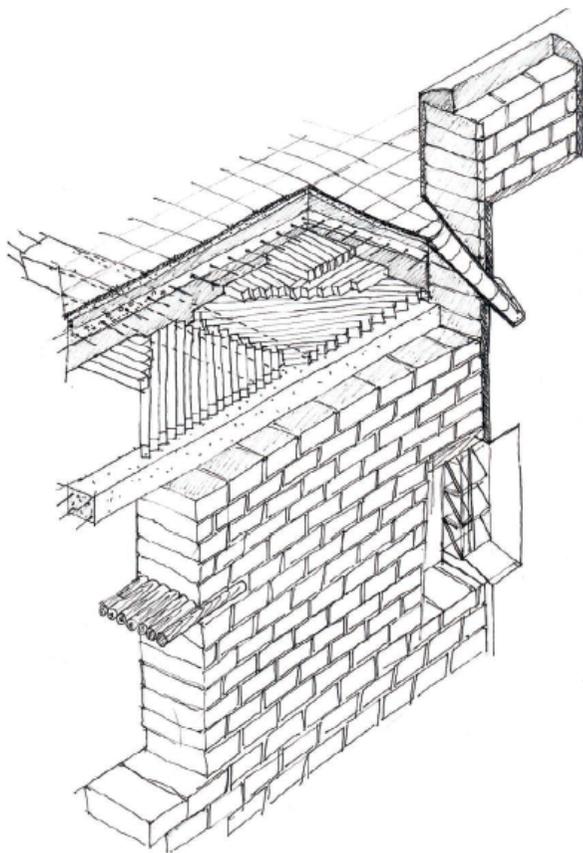
Ref.19. Arquitectura de tierra contemporánea



Ref.20. Rodolfo Rotondaro,

Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos.

Este artículo es producto de una línea de trabajo del Programa de Investigación Arquitectura y Construcción con Tierra, arconti. Este programa tiene sede institucional en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires.



Detalle constructivo del cerramiento del edificio destinado a madres solteras en Mopti.

Fuente. Fundación Cátedra UNESCO. La construcción en tierra del S.XXI.

con tierra en cuanto a la reducción de la contaminación ambiental y el gasto energético en relación con la producción de edificios, y en cuanto a la posibilidad de su reciclado como material—al menos en un alto porcentaje—. También, y en una dimensión que abarca de modo transversal a los anteriores, uno de los desafíos más importantes es lograr instalar en la educación técnica y universitaria la formación de recursos humanos, de manera responsable, en cuanto a las ventajas y las limitaciones de la tierra como material y como arquitectura. La circulación de información calificada y la realización de cursos y seminarios son muy numerosas, pero, paradójicamente, en pocas escuelas de arquitectura, ingeniería y tecnología, la temática está integrada a sus programas formales de enseñanza.”

Del arquitecto especializado en restauración monumental **Eloy Algorri** <sup>21</sup>, extraemos su opinión de la mesa redonda celebrada en 2009 en el Foro Construcción con Tierra, el CTE:

“... por ejemplo la impermeabilización en la construcción con tierra se consigue proyectando muros suficientemente espesos como para que la arcilla absorba la humedad pero ésta no llegue al interior. En la CTE se prescriben materiales bituminosos como impermeabilizantes y sólo se especifica que en caso de utilizar otros sistemas constructivos, el arquitecto debe responsabilizarse de su eficacia. El vacío normativo es tan grande, que en la mayoría de los casos es así como el arquitecto tiene que trabajar: de espaldas al CTE y bajo su propia responsabilidad.”

Okambuva, como cooperativa especializada en bioconstrucción y arquitectura natural, nos abrió sus puertas de la mano de **Pablo Monzó** <sup>22</sup>, uno de sus fundadores. Pablo es Ingeniero de la Edificación, Experto Universitario en Cal-

ificación Energética de los edificios y Master en eficiencia energética en la edificación, además de un apasionado de la arquitectura bioclimática. De la charla que mantuvimos con él sacamos unos extractos que nos parecen muy en la línea de lo que estamos tratando.

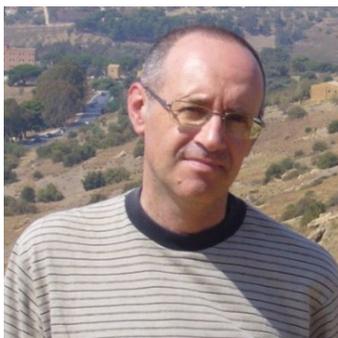
“El mayor inconveniente para mí viene por motivos sociológicos y de costumbres en este último siglo. Nos hemos industrializado tanto en nuestros procesos como en nuestras mentes, lo cual hace de presión invisible para que nuevos conceptos arquitectónicos puedan entrar en la sociedad.

La aparición en estudios, ensayos e investigaciones ayuda a la construcción con tierra a mantenerse en el punto de mira y a obtener un desarrollo constante por parte de sus partidarios pero las mismas oportunidades en absoluto. Hay una tendencia hacia la construcción sana y sostenible, tanto desde el usuario final hasta los técnicos y empresas del sector lo cual genera oportunidades para que la construcción con tierra se acabe consolidando. Más que regular sus limitaciones entiendo que la regularización ayudaría a su fomento. No es que la normalización sea la panacea, pero de este modo se evita un descontrol ejecutivo basado únicamente en las experiencias de cada uno sin llegar a quedar reflejadas lo suficiente para mantener una evolución correcta de la técnica.

Veo necesario estas fases previas de experimentación propia ya que carecemos de oficios y artesanos en la materia pero justamente por no tenerlos creo que es la mejor manera de conseguir centrarse en las buenas prácticas y potenciarlas para acabar consiguiendo que la técnica se desarrolle mejor.”

Acerca de la conveniencia o no de crear un marco normativo para adobe y tapial:

“Si por supuesto. Entiendo que esa es la idea siempre. Cuando hay una técnica constructiv



**Ref.21. Eloy Algorri García,**

Arquitecto, especializado en restauración monumental, arquitectura popular y construcción con tierra. Secretario General Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)

Arquitecto titulado por la E.T.S.A. de Madrid (1981). Desde entonces en ejercicio como profesional autónomo especializado principalmente en arquitectura popular, restauración monumental y construcción con tierra. Miembro de la Misión Arqueológica en Oxirrinco, El-Bahnasa, Minya, Egipto. Miembro fundador de la Sociedad Española de

Historia de la Construcción tradicional en la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires.

no convencional que queremos ver utilizada en el sector debemos luchar por la normalización de los usos y los procesos. Por suerte o por desgracia, en esta sociedad es la manera más sencilla de entrarle al público en general.

Creo que con una normativa que defina bien los objetivos y desarrolle los conceptos de manera clara y concisa, es suficiente. No por mucho papel se genera una mejor solución, por lo que lo primordial no es la cantidad de normas, sino cuánto se consiga desarrollar y normalizar la técnica para poder asegurar una buena calidad constructiva en todos sus ámbitos."

Queriendo conocer acerca de su experiencia en cuanto a redacción de proyectos de bioconstrucción:

"Las dificultades, si hablamos a nivel de información, normativas, etc. han sido tremendas. Prácticamente tienes que basarte en tu intuición como técnico a la hora de trabajar con materiales de bioconstrucción en general. Hay una amplia gama de soluciones pero ni los propios importadores o vendedores de los materiales pueden, en ocasiones, responder tus dudas técnicas y constructivas, teniendo que remitir las dudas al fabricante.

De todos modos, en general, la elaboración de un proyecto edificatorio con materiales convencionales o hacerlo con principios de bioconstrucción, solamente difiere en las palabras que definen el proyecto, así como en los valores energéticos que se obtienen en la vivienda, por lo demás, no deja de ser un proyecto de arquitectura.

Es posible que un arquitecto, a la hora de redactar un proyecto de tierra, se encuentre con dificultades para justificar el apartado estructural. No por no haber estudios formativos al respecto, sino a la hora de proyectar los volúmenes, las luces, los huecos, etc. No he tenido ocasión de reunirme con ayuntamien-

tos para un proyecto de obra en tierra. Puedo decir que en la paja y la madera, el proyecto es perfectamente entregable en el colegio profesional de Arquitectos, y el Ayuntamiento no puede echarse atrás un proyecto visado a no ser que sea por motivos estéticos, de acabados exigibles ó motivos urbanísticos."

Tras el análisis de las entrevistas y las encuestas se desprende una diferencia de opiniones que bien podría crear un constructivo y extenso debate, sin embargo hay varias realidades que no se pueden negar, como es el desconocimiento a esta técnica, el miedo a su uso y el temor de la pérdida de su esencia.

El debate está abierto, con lo que un posible hilo de investigación podría ser una investigación acerca de la conveniencia o no de la creación de normativa al respecto de la tierra como material de construcción.



**Ref. 22. Pablo Monzo Llobell.**

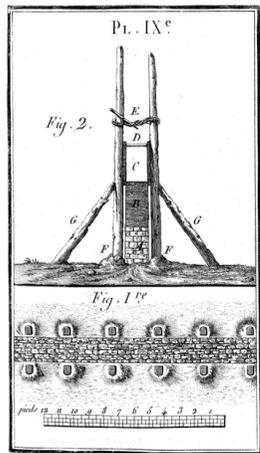
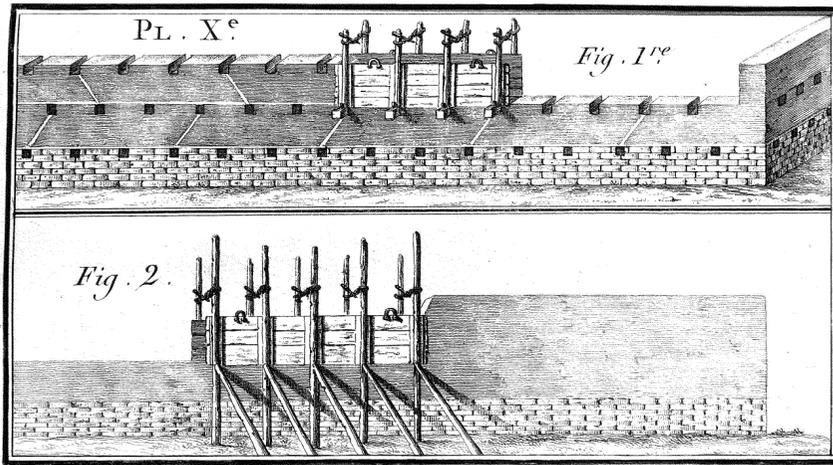
Dirección de la ejecución y gestión integral de la obra en obras de bioconstrucción para Okambuva Coop.

Ingeniero de Edificación, experto universitario en calificación energética de los edificios y Master en Eficiencia Energética en Edificación, desarrolló sus estudios en la Universidad Politécnica de Valencia, llegando a alcanzar un premio Bancaja por su investigación en el Proyecto Final de Carrera. Es co-fundador de la cooperativa Okambuva que desde XXXXX.

Además de diferentes obras de nueva ejecución, cursos y talleres, Okambuva participa a través de la RCP, del proyecto europeo dentro del programa Leonardo da Vinci, para la formación profesional para la construcción con balas de paja, y colaboran con el Instituto Español de Baubiologie (IEB).



Estructura de madera previa al cerramiento de paja de una vivienda.  
Fuente. Okambuva



Cointreaux.  
Imágenes y portadas correspondientes al cuaderno de Cointreaux para L'ecole d'architecture rurale y La Maison de Terre Oisé, París 1791

Ref. 23. *François Cointreaux (1740 en Lyon - 1830 en París) es un inventor y diseñador francés.*

*Nacido en Lyon, era sobrino de un maestro albañil y fue quien le introdujo en el diseño, la arquitectura y la perspectiva. Fue en Lyon donde trabaja en primer lugar, sobre todo como un contratista de la construcción, así como Grenoble hasta 1786. En 1786, participó en el concurso de la Academia de Amiens (ganó en 1787). Se trasladó a París en 1788. Allí creó varias "escuelas rurales de la arquitectura". A continuación, su obra fue dirigida hacia la construcción de edificios de adobe incombustibles para la agricultura. En 1789 fue distinguido por la Real Sociedad Agrícola de París. Al tercer año fue nombrado miembro de la Liga de las invenciones y descubrimientos.*

*Él es el inventor de la mecánica para producir ladrillos de adobe, que se deriva de una versión para la cocina, el lavador de vegetales. También inventó el cartón piedra y está interesada en hormigón.*

## ARQUITECTURA DE TIERRA CONTEMPORÁNEA

Paralelamente a los posibles debates que se generan en torno al uso de la arquitectura de tierra en España, no son pocos los arquitectos que han querido mostrar una cara más contemporánea de su uso en la construcción, potenciando el diseño y demostrando que lo tradicional lo está reñido con el confort, la calidad y la seguridad, algo que parece ser una de las mayores preocupaciones de los usuarios.

Existe actualmente una tendencia basada en la voluntad de hacer una arquitectura cada día más sostenible que ha hecho emerger un material que fue relegado a un último plano a lo largo del siglo XX. En esta tendencia, una pequeña parte de la sociedad y técnicos han vuelto la mirada hacia la tierra que reivindica su lugar en una nueva cultura. Este resurgir como material más ecológico todavía no es generalizado pero sin duda alguna se da en todo el mundo.

Para ello ha sido preciso adaptar la tierra a la actualidad en cuanto a los procesos de "fabricación". Con la industrialización de los materiales de tierra se mejoran las características naturales del material y se garantizan unas calidades óptimas para su empleo y puesta en obra, reduciendo los tiempos de ejecución.

Como parte de esta adaptación de la tierra a la actualidad ha sido necesario desarrollar ciertos aspectos de importancia:

- La prefabricación del tapial y la introducción en taller de sistemas de instalaciones dentro de los muros.
- Nuevas técnicas antisísmicas.
- Desarrollo de la técnica de la extrusión para la realización de bloques y paneles de tierra.

• Nuevos materiales de construcción en tierra que aportan nuevas soluciones.

• Construcción en seco con materiales prefabricados en tierra.

• Creatividad y desarrollo formal en la arquitectura de tierra.

A pesar de que en la actualidad está más de moda la arquitectura sostenible y a bioconstrucción, el resurgimiento

ión tienen comienzos su recorrido ya en la arquitectura neoclásica de 1700 aparece la figura de un arquitecto francés llamado **François Cointreaux**<sup>23</sup>. Nacido en 1740, es considerado el padre de la arquitectura de tierra moderna. Después de su "descubrimiento" de "pisé de terre", la arquitectura de tierra apisonada de la campaña rural francés. Desarrolló unas tipologías de arquitectura de tierra que barca una gama completa de viviendas para los pobres y los ricos, tanto en entornos urbanos y rurales, que incluye casas de cuatro pisos, mansiones burguesas, y diseños de edificios públicos como iglesias y fábricas, muchos de los cuales fueron construidos.

Siguiendo su estela, a principios del siglo XX, cuando Frank Lloyd Wright trabajó en dos proyectos experimentales utilizando un sistema de mampostería llamado bloque textil: "Hollyhock House", construida en 1921, y "Ennis-Brown House", construida en 1924, cuyas formas se han extraído de la arquitectura precolombina indígena. Las consideraciones materiales para la casa Ennis-Brown son ligeramente diferentes de los de la Hollyhock House. Los bloques de textiles para la casa Ennis-Brown se producen mediante el uso de la tierra excavada del sitio de proyecto y mezclándola con el cemento, una decisión que puede haber estado basado en la creencia de Wright "una casa

siempre debe estar en una colina o estar hecha de la misma colina”.

En 1942 Wright diseñó la Burlingham House, también conocida como la Casa de Cerámica, en El Paso, Texas. Este proyecto que no llegó a ser realizado iba a ser construido con adobe y vigas de madera.

Antes de sus experimentos en Adobe, Wright ya estaba interesado en el uso de la tierra apisonada. En 1932 se comenzó a considerar el uso de la tierra en su propuesta de Broadacre city, y diez años más tarde comenzó a probar estas ideas en el proyecto de Haciendas Cooperativa. El proyecto fue encargado por un grupo de trabajadores de la automoción y la defensa de la planta, profesionales y profesores en Madison Heights, Michigan, a sólo quince kilómetros al norte de la ciudad de Detroit, y fue diseñado para albergar a veintidós familias en 120 hectáreas. El diseño consistió en unas casas de bajo coste que habría podido ser construidas para los ocupantes, con un jardín integrado; en la cooperativa se habría podido cultivar sus propios alimentos para comer o a complemento de sus ingresos.

La construcción del proyecto comenzará durante la Segunda Guerra Mundial y la escasez de mano de obra lo dejará sin los trabajadores necesarios para completarlo y el proyecto nunca desplegará. Un referente de este proyecto hubiera podido ser el Gardendale homestead del 1933 del Arquitecto Thomas Hibben realizado en Birmingham.

Le Corbusier, uno de los arquitectos más influyentes del Movimiento moderno, compartió la frustración de Wright con la guerra. Poco después de que la guerra comenzara, Le Corbusier cerró su oficina y comenzó a desarrollar soluciones arquitectónicas en tierra para la inmigración de refugiados causados por la escasez de la guerra.

En 1942 escribió un pequeño libro sobre la construcción en tierra titulado **“LES CONSTRUCTIONS MURONDINS”**<sup>24</sup>, que describe los métodos y técnicas para la elaboración y construcción de tapial y bloque de tierra comprimida para su uso en una amplia variedad de aplicaciones residenciales, agrícolas y cívicas. La mayoría de sus diseños construidos de tierra eran para vivienda de los refugiados.

Después de la guerra, Le Corbusier volvió a su idea de construir con tierra y en 1947-48, propuso un conjunto de viviendas en La Sainte-Baume, cerca de Marsella, Francia, que iba a ser construidas en su totalidad de tierra apisonada.

Casi al mismo tiempo que Wright y Le Corbusier estaban experimentando con la arquitectura de tierra en el contexto de la Segunda Guerra Mundial, un joven arquitecto llamado **Hassan Fathy**<sup>25</sup> estaba librando sus propias batallas contra las invasiones de ideologías occidentales en la arquitectura vernácula de Egipto.

Probablemente no había existido desde Coiteraux un arquitecto que tan ardientemente defendió el uso de la arquitectura en tierra y por eso en el 1945 esta pasión llamó la atención del Departamento Egipcio de Antigüedades, que le ofreció su primer encargo importante para diseñar una ciudad entera en tierra: Nueva Gourná.

La construcción de Nueva Gourná se detuvo en 1948, con sólo un tercio del proyecto completo; se realizaron una mezquita, una escuela, salones, un mercado, y numerosas casas.

En 1969 Fathy documentó su lucha con la construcción de Nueva Gourná en su libro, *“Avec le peuple Construire”*, un título que fue traducido más tarde como *“Arquitectura para los pobres”*.

En un marco más reciente, a través de la crisis del petróleo, los movimientos emergentes del



Ref. 24. Portada del libro Les Constructions Murondins. De Le Corbusier



31

Ref. 25. **Hassan Fathy (1899 - 1989, Fue un notable arquitecto egipcio pionero de la tecnología apropiada para la construcción en Egipto, especialmente por trabajar para recuperar el uso del adobe.**

*Fue un notable arquitecto egipcio pionero de la tecnología apropiada para la construcción en Egipto, especialmente por trabajar para recuperar el uso del adobe.*

*Fathy, se formó como arquitecto en Egipto, donde se graduó en 1926 en la Universidad del Rey Fuad I (en la actualidad Universidad de El Cairo). Diseñó sus primeros edificios de ladrillo de barro a finales de la década de los 30 del siglo XX. Ocupó varios cargos en el Gobierno y fue nombrado director de la Sección de Arquitectura de la Facultad de Bellas Artes de El Cairo, en 1954.*

*Fathy fue reconocido con el Premio Aga Khan de Arquitectura en 1980.*

*Utilizó métodos de diseño y materiales tradicionales. Integró el conocimiento de la situación económica de las zonas rurales de Egipto con la arquitectura tradicional y las técnicas de diseño urbano. Él mismo capacitó a los habitantes del lugar para hacer sus propios materiales y construir sus propios edificios.*



Casa moderna de adobe en el desierto de Uta, Estados Unidos.



Vivienda de lujo en Scottsdale, Arizona. Estados Unidos.

medio ambiente y eventos catastróficos como terremotos (en el caso de países con riesgo sísmicos) de la década de 1970 se recuperó el interés de la tierra cruda como material de construcción e investigación.

Esta tendencia se refleja en el número de investigaciones y asociaciones que se comienzan/fundan a partir de la década de los '70 como por ejemplo:

- Investigaciones de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniero M. Blondet, 1970.
- FEB (Forschungslabor für Experimentelles Bauen) Instituto de Investigación de construcciones experimentales, Kassel, Alemania, director Gernot Minke, 1974-2005.
- Rammed Earth Work, California, USA, David Easton fundación, 1978.
- Craterre, Grenoble, Francia, 1979.
- Ramtec, Perth, Australia, Ing. S. Dobson, 1979.

El deseo de creación de edificios seguros y sísmorresistentes propiciaron su redescubrimiento como material de construcción, así como la realización de viviendas libres de sustancias peligrosas, sostenibles y de bajo coste. La transición entre lo tradicional de la cultura de la tierra y el progreso del siglo XX, permitió un llamamiento a la innovación tecnológica fundamental en términos de desarrollo de productos y la integración de este material en los métodos modernos de construcción.

En Francia, en el año 76, el grupo Craterre junto con el Ministerio de Obras Públicas, el centro George Pompidou y la Universidad de Grenoble realiza Le domaine de la Terre, en la local-

idad de L'Isle d'Abeau, cerca de Grenoble. Allí se construyeron 65 viviendas, de 3 a 5 plantas, para 300 habitantes, en 11 manzanas concebidas por 10 equipos de arquitectos. Cinco manzanas se efectuaron con tapial, 5 de bloque comprimido, y 1 de tierra-paja.

Desde los principios de los años 70 en el Perú, investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) han venido investigando la construcción con tierra en áreas sísmicas y han obtenido invaluables resultados.

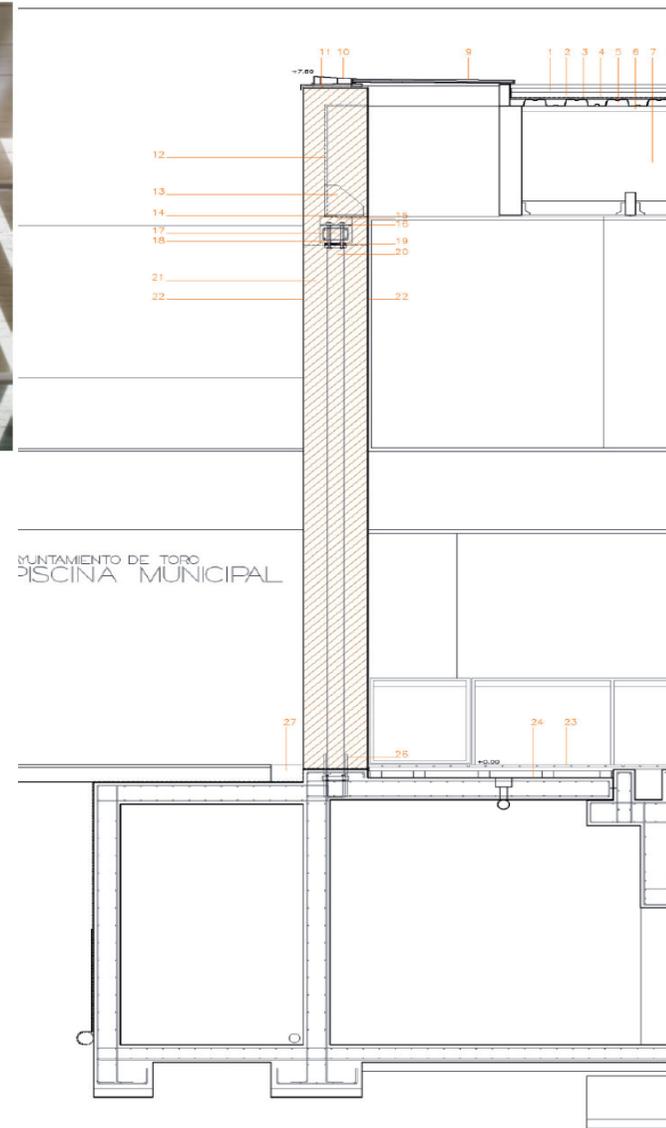
De este modo llegamos hasta la actualidad, donde aunque aún pocos, cada vez son más los arquitectos y constructores que se lanzan hacia este sistema constructivo manteniendo los ideales de diseño y confort a los que estamos habituados a tener, ofreciendo construcciones realmente impresionantes y con todos los beneficios de la tierra.



Ejecución de muro de tapia de diseño. Perú..



Piscina municipal de Toro y detalle del muro de cerramiento. Castilla y Leon. España. Fuente. Informes de la construcción.



01. Capa de grava con geotextil en la cara inferior. e=50mm.
02. Aislamiento térmico mediante poliestireno expandido con geotextil en la cara inferior. e=60mm.
03. Lámina impermeable de etileno-propileno con geotextil en la cara inferior. e=1,14mm.
04. Tablero aglomerado hidrófugo. e=1,2mm.
05. Chapa nervada de acero galvanizado. e=1.2mm.
06. Aislamiento térmico mediante lana de roca con barrera de vapor en su cara inferior. e=60mm.
07. Viga de madera laminada 210/1250mm.
08. Falso techo compuesto por un tablero contrachapado marino con resinas fenólicas resistente en ambientes húmedos. e=20mm.
09. Vidrio doble de baja emisividad: 10mm. Vidrio templado/cámara 18mm/8+8mm. vidrio laminado.
10. Albardilla de acero cortén. 2=3mm.
11. Mortero cal/tierra 1:1:4
12. Separación con lámina drenante de polioetileno. e=20mm.
13. Cartera de apoyo de acero galvanizado anclada al zuncho.
14. Apoyo con lámina drenante de polietileno e=20mm-
15. Durmiente de madera aserrada tratada. 33 30x9cm.
16. Chapa de acero S275JR galvanizada 300x4,00mm. e=20mm
17. Zuncho perimetral embebido con el muro de tierra compactada 30x20cm.
18. Conectores de acero galvanizado. Diámetro 20mm.
19. Separación mediante poliestireno expandido. e=30mm
20. Columna de acero galvanizado. Diámetro 155,8mm
21. Muro de tierra compactada tapial. e=60cm.
22. Imprimación hidrófuga y fungicida.
23. Madera microcomposite.
24. Mortero hidrófugo.
25. Ángulo de acero inoxidable. AISI-316.
26. Conectores de acero galvanizado. Diámetro 12 B500S.



Edificio de Bioconstrucción del Proyecto CREA. En Pozuelo de Alarcón Fuente. Obtenida desde la edición del libro.



Interior y exterior de la casa Wohnaus Flury, Suecia. Spaceshop Architekten



Escuela de Artes Plásticas de Oaxaca, Mexico.



Arquitecto Mauricio Rocha



Viste exterior e interior de la Casa Rauch, Schllins, Austria.



## 2.2.- ARQUITECTURA DE TIERRA: PROBLEMAS DE SU USO Y CONSERVACIÓN

### Introducción

#### Problemas de su uso y conservación

#### INTRODUCCIÓN

Todo nace de la necesidad y de la curiosidad. Estos son sin duda los motores altruistas de la innovación y el desarrollo salvando por supuesto el elemento económico. Hace varios miles de años nuestros antepasados desarrollaron unas técnicas constructivas consideradas en aquel entonces innovadoras. Mediante el método experimental y lógico se detectaron deficiencias que debieron subsanar, lo que ha producido una evolución constante hacia un mismo fin, ofreciendo como resultado las construcciones que encontramos hoy en día a nuestro alrededor. Por tanto, aún siendo conscientes de que la tierra por sí sola no es el elemento de construcción perfecto, el mayor enemigo que tiene este tipo de arquitectura es la ignorancia y el perjuicio hacia su uso que esta provoca.

Debemos hacernos una pregunta: ¿Cuál es el verdadero objetivo de la construcción? A esta pregunta sobrevienen posibles respuestas: ¿Es el diseño? ¿Es la durabilidad? ¿Es la funcionalidad? ¿Es su adecuada relación con el entorno natural en el que residimos e invadimos constantemente? ¿Es su adecuada configuración para aportar confort interior? ¿Es mejorar sus

características constructivas y de sus materiales para evitar dañar la capa de ozono? ¿Es el bajo coste? En opinión del autor la respuesta son todas las preguntas planteadas y muchas más.

Los problemas que se pueden detectar hoy <sup>26</sup> en día son los mismos que existían en el origen de la arquitectura de tierra y es con el fin de esquivar estos problemas por lo que se ha tratado siempre de evolucionar en las técnicas y prácticas constructivas, de modo tal que esta arquitectura ha caído prácticamente en desuso a favor de nuevos materiales que si bien no presentan los mismos inconvenientes que la tierra cruda, es también cierto que su uso independiente o en conjunto con otros materiales sigue ofreciendo como resultado patologías cuya reparación puede llegar a alcanzar un coste elevado.

#### PROBLEMAS DE SU USO Y CONSERVACIÓN

##### Introducción

Estando rodeados de grandes edificios configurados a base de hormigón, acero y vidrio, resulta impensable para el hombre de a pie



Vista panorámica de la ciudad de Ksar Ait Ben Adou



Ref. 26. Grietas y humedades aparecen en diferentes muros de ladrillo, hormigón y bloque.



Aplicación de un revoco de tierra en vivienda autoconstruida de balsas de paja.

Fotografía: <http://pasapailedelavande.over-blog.com>



Pérdida del revestimiento en una pared de tapia. El mantenimiento constante es obligado para la durabilidad de estas construcciones.

Fuente: Ester Gisbert Alemany. Arquitecta, Directora editorial de mimbrea, Investigadora en Antropología del Diseño

**Ref. 27.** Diseño sísmico de construcciones de adobe. Ing. Roberto Morales, Dr. Ricardo Yamashiro, Ing. Alejandro Sánchez, Dr. Rafael Torres, Ing. Carlos Irala, Ing. Oswaldo Morales, Arq. Luis Rengifo.

... "problemas en los ayuntamientos no he encontrado ninguno en cuanto a mi sector (rehabilitación/restauración), el ayuntamiento puede saber o no acerca de la arquitectura de tierra, pero mientras el responsable sea el técnico de la obra el ayuntamiento concederá la licencia siempre que se paguen las tasas correspondientes"...

Salvador Tomás

que un día las personas pudieran cobijarse en viviendas construidas en tierra. Esta visión hace que la arquitectura de tierra quede relegada en el saber popular a un plano arcaico, tosco e incluso propio de países subdesarrollados. Es por tanto el desconocimiento acerca de las propiedades reales de la construcción en tierra y de sus posibilidades el mayor peligro contra esta arquitectura, y que genera su tendencia al desuso. Sin embargo no se puede culpar al usuario de este desconocimiento, al fin y al cabo el hombre de a pie no tiene por qué saber acerca de esta rama de la arquitectura. Él únicamente pretende habitar un espacio confortable y duradero que les proteja a sí mismo y a su familia de ambiente exterior, al tiempo que, por qué no, gozar de un bonito diseño y confort. Es por tanto arquitectura en sí misma la que ha relegado su uso, anteponiendo otros materiales que generan mayor confianza en un usuario que antepone la tecnología por encima del saber popular.

### Problemas de su uso

Se ha definido la tierra cruda como un material de construcción con numerosas propiedades positivas, sin embargo es lógico pensar que de haber sido un material idóneo su uso se mantendría todavía hoy en día, por tanto se deduce que su uso presenta ciertas contrapartidas.

### Sistema Estructural

Las construcciones con tierra cruda (adobe, tapial, súper adobe, cob) funcionan estructuralmente mediante muros de carga. Estos muros se diseñan en función de la carga a soportar que según bibliografía consultada<sup>(5)</sup> la anchura mínima empleada en muros de tapial ronda los 45cm y pueden alcanzar hasta los 75cm tal como sugieren algunos autores de investigaciones al respecto <sup>27</sup>. La necesidad de un espesor de grandes dimensiones requiere mayor superficie ocupada por el mismo, por lo que se reduce la superficie útil de la parcela.

Los muros de tierra cruda son muy vulnerables a las acciones del agua, ya sea por humedad o por contacto directo. Fugas de agua desde las instalaciones de la vivienda, capilaridades, incorrecto diseño de la evacuación de aguas desde la cubierta, lluvia, escorrentía, etc, son algunas de las acciones que pueden afectar de gravedad a una construcción en tierra. Es por tanto preciso diseñar la construcción de modo que se minimice la probabilidad de patología por influencia del agua, así como la protección de los paramentos y superficies expuestos y su mantenimiento.

Debido a que el esquema estructural del edificio trabaja en bloque, un ligero movimiento de tierras producido por efecto natural asentamiento del edificio puede provocar con facilidad la aparición de grietas que deben ser reparadas de inmediato.

No es un tipo de edificación apta para todos los terrenos, ya que su configuración no puede adaptarse con tanta facilidad como la arquitectura actual a la inestabilidad (que no a la irregularidad) de los terrenos. La cimentación será mediante zapata corrida bajo el muro de carga y generalmente a una profundidad máxima de unos 50/70cm, o incluso en algunos casos podría levantarse sobre una losa de cimentación o forjado sanitario.

Otro inconveniente a tener muy en cuenta en la arquitectura de tierra es su respuesta ante los movimientos sísmicos. No se ha definido a día de hoy un sistema realmente efectivo para proteger estas construcciones frente a los terremotos. Esta afirmación puede resultar contradictoria en cuanto se conoce que existen métodos constructivos que si bien no impiden por completo la acción sísmica al edificio, si lo minimiza. El inconveniente se presenta cuando tratamos con arquitectura de tierra, que no permite en ella la adecuación de soluciones constructivas y técnicas que si son válidas para

las construcciones actuales. Existen sin embargo técnicas tradicionales que se emplean en Sudamérica y que funcionan hasta cierto punto, pero difícilmente lograrán cumplir la normativa sísmica establecida para según qué regiones.

### Sistema Constructivo:

Al ser muros de carga en su mayoría su peso influye significativamente en su proceso constructivo ya que de su ligereza depende la facilidad de trabajo del operario: desencofrado, avanzar en la hilada, girar en las esquinas, levantarse en la hilada superior, etc. Así pues controlar el peso significa limitar sus dimensiones. Tratar de levantar un tapial de reducidas dimensiones para facilitar el trabajo a los operarios acarrea el inconveniente de reducir significativamente la superficie de muro ejecutado en cada tapia, encareciendo la mano de obra. Es por tanto necesario trazar el adecuado equilibrio para rentabilizar el trabajo, tratando que las dimensiones del tapial sean las mayores posibles. La altura de los tapias tiene una limitación a su dimensión máxima: en el momento de verter y apisonar las tierras los tapias definen físicamente el ámbito donde se producen los movimientos de los tapiadores.

Para el compactado de las tierras con el pisón, el tapiador ejecuta un movimiento con sus brazos que requiere un espacio superior al grueso del muro. Sobre todo en las primeras tongadas, una altura de tapias superior a los 75-85 cm ocasionaría una intromisión de éstos en el ámbito preciso para los movimientos del tapiador en una operación tan delicada en la definición de la calidad del material final como es la compactación. No existiría, en principio, una limitación a la dimensión mínima de la altura de los tapias <sup>28</sup>.

La longitud de los tapias es subsidiaria de una limitación semejante: el número de cárceles o aros que sujetan los tapias en su posición. De cara al rendimiento del proceso, interesa que la

longitud de los tapias sea la máxima posible. Es un material no estandarizado. El tipo de tierra, por tanto su composición y calidad, no será igual en cada región. Esto dificulta el uso de la tierra en cada lugar de trabajo. Será preciso determinar la composición y calidad antes de trabajar con ella a través de una persona experta en la materia para que mediante ensayos justificativos realice las adiciones necesarias para cumplir las especificaciones mínimas que exige el CTE. Otra opción será adquirir los componentes de planta de áridos.

Otro aspecto a tener en consideración es la retracción en su proceso de secado ya que la evaporación del agua utilizada para activar la capacidad aglomerante de la tierra durante su amasado y para poder ser manipulado, que puede provocar fisuras.

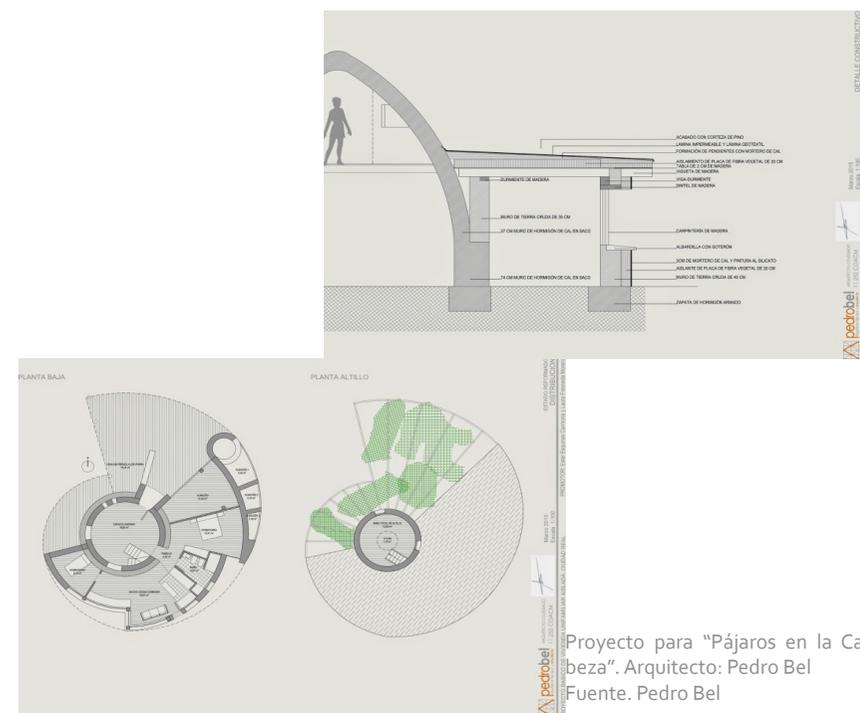
### Fase de Proyecto

El proyecto nace del arquitecto, quien diseña, calcula y se ocupa de que su obra cumpla toda la Normativa. Pero, ¿qué ocurre cuando se trata de arquitectura de tierra y no existe normativa específica al respecto? En este punto la realidad dista mucho de la idea generalizada.

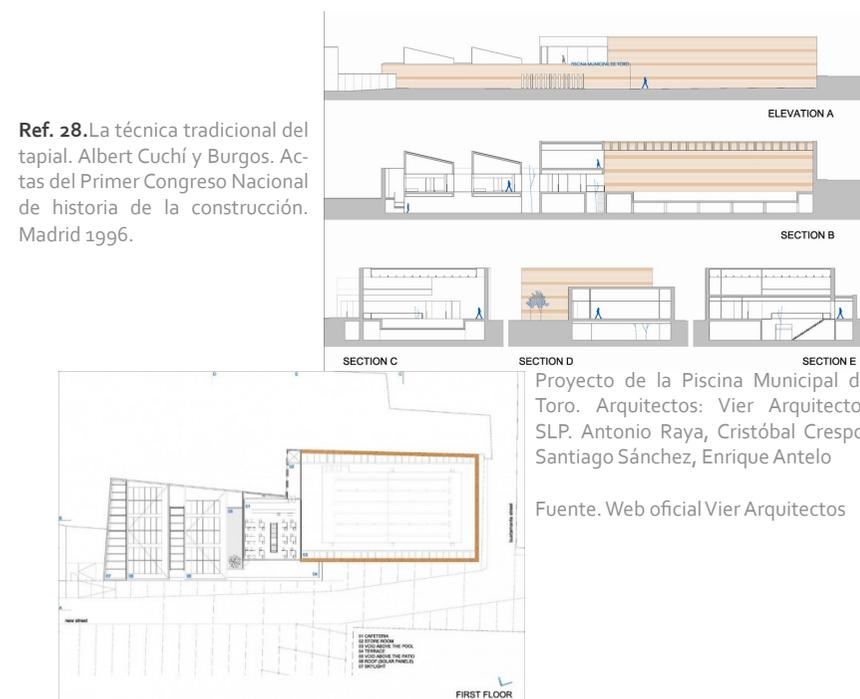
Los documentos a seguir en el CTE son:

- DB-SE Documento Básico Seguridad Estructural
- DB- HR Protección Frente al Ruido
- DB-HE Ahorro de Energía
- DB-SI Seguridad en caso de Incendio
- DB-SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB-HS Salubridad

De estos puntos en ninguno afecta el uso de la tierra como material de construcción, siempre y cuando se logre superar las especificaciones, para lo que además del cálculo en proyecto siempre será necesario realizar los ensayos del mismo modo que se harían en una obra de otro



Proyecto para "Pájaros en la Cabeza". Arquitecto: Pedro Bel Fuente. Pedro Bel



Ref. 28. La técnica tradicional del tapial. Albert Cuchí y Burgos. Actas del Primer Congreso Nacional de historia de la construcción. Madrid 1996.

Proyecto de la Piscina Municipal de Toro. Arquitectos: Vier Arquitectos SLP. Antonio Raya, Cristóbal Crespo, Santiago Sánchez, Enrique Antelo

Fuente. Web oficial Vier Arquitectos

*Nunca me he encontrado con problemas en un Ayuntamiento al ir a conseguir la licencia de obras.*

*Pedro Bel. Arquitecto, Arquitecto Técnico especializado en arquitectura de tierra.*

*La construcción en tierra está contemplada en normativa (UNE 41410 + DIN alemanas) y no cuesta nada legalizar una obra de éstas.*

*Matéu Ortoneda Colomar*

tipo. Digamos por tanto que se hace una interpretación de esta Norma que a día de hoy funciona a quienes se dedican profesionalmente a esto.

Sin embargo existen casos como en la SI en la que los elementos deben cumplir una serie de requisitos, pero en España no existe ninguna Norma que justifique la tierra. En casos como este se utiliza Normativa extranjera, generalmente Normas DIN alemanas y otras, y ensayos independientes como los realizados en el Instituto Eduardo Torroja y otros, que ofrecerán garantías al proyectista de que su obra responderá satisfactoriamente frente a las exigencias a las que puede verse sometida.

En adición a estas normas encontramos la Norma UNE 41410<sup>29</sup>, desarrollada por la AEN/CTN 41 SC10 edificación con tierra cruda. Este documento nos define la tierra como material de construcción, aporta especificaciones al respecto y regula sus ensayos en laboratorio, pero está enfocado únicamente hacia el Bloque de Tierra Comprimido (BTC).

El BTC es un bloque macizo paralelepípedo fabricado con la propia tierra procedente del movimiento de tierras del edificio. La diferencia con el adobe es la manipulación donde se prensa para conseguir un grado óptimo de compactación. Esto hace que el bloque tenga una mayor resistencia y masa térmica.

Por las experiencias relatadas al autor, cuando el proyecto llega al Ayuntamiento las exigencias por parte del técnico municipal se ciñen al pago de tasas, impuestos, visado del Colegio profesional y firma del técnico o técnicos que se responsabilizan sobre él. Estos técnicos (y sus seguros) serán los que en caso de negligencia en la construcción responderán ante la Ley.

Algo que nos cuestionamos en esta investigación es si al igual que en el DB-SE en el que

existen especificaciones para madera, fábricas de ladrillo y fábricas de bloque de hormigón, si sería conveniente añadir especificaciones acerca de la tierra. En este punto las opiniones son diversas y se analizarán en el apartado de conclusiones.

Para los diseñadores del proyecto CREAS en Pozuelo de Alarcón,

*"La tierra es la base para la construcción de este tipo de muros (muros de tierra compactada) y puede ser utilizada in situ o elaborada a partir de la mezcla de material de distinta procedencia. En este caso la utilización del material extraído de la propia excavación era una de las premisas para conseguir un alto grado de compromiso con la eficiencia en la gestión de los residuos, evitando costes energéticos de transporte. No obstante la idoneidad del material debe contrastarse mediante ensayos que permitan evaluar sus características y la necesidad o no de combinarlo con otros materiales.*

*La necesidad de cumplir los requisitos derivados de las diferentes exigencias pueden conllevar a la estabilización de la tierra con productos de distinta naturaleza, cuyas proporciones, si bien no se encuentran limitadas normativamente, deben responder a unos criterios de economía y funcionalidad tendentes a minimizar su uso."*

No obstante, los datos de las encuestas indican que puede existir cierta incomodidad en el momento de hacer un proyecto de arquitectura de tierra es la ausencia de normativa reguladora al respecto. Como hemos comentado el CTE no contempla específicamente la tierra cruda como material de construcción y esto puede llegar a suponer un problema tanto para proyectistas sin formación específica en técnicas tradicionales como para los usuarios. Este es uno de los puntos interesantes para entender por qué se prefiere construir con hormigón,

Diciembre 2008

**norma española** UNE 41410

---

**TÍTULO** Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques  
Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

Compressed earth blocks for walls and partitions. Definitions, specifications and test methods.  
Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, spécifications et méthodes d'essai.

---

**CORRESPONDENCIA**

---

**OBSERVACIONES**

---

**ANTECEDENTES** Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 Construcción con tierra cruda con el patrocinio de AENOR.

---

Edición e impresión por AENOR. Depósito legal: M 50496/2008. LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:  
**AENOR** Asociación Española de Normalización y Certificación  
 Calle de la Industria, 30. 28004 MADRID España. Teléfono: 913 102 101. Fax: 913 104 032. 26 Páginas. Grupo 13  
 © AENOR 2008. Reproducción prohibida.

Ref.29. Norma UNE 41410: BTC Fuente. Norma UNE

acero, vidrio, etc. Si la justificación es que en las universidades no se explica suficiente acerca de sus propiedades y técnicas, esta se pone en duda cuando descubrimos que otro tipo de materiales como el grafeno, paneles plásticos de copolímeros acrílicos, y otros tampoco se muestran y sin embargo no dudan en utilizar en cuanto tienen ocasión.

No existe por tanto ninguna norma en el CTE que regule específicamente las construcciones con tierra, pero esto no parece suponer un problema para la construcción con tierra en España.

### Mantenimiento

La arquitectura de tierra es especialmente débil frente al agua. Para prevenir las patologías que se desarrollan con su presencia es preciso tener especial cuidado en su proceso constructivo, así como en los puntos críticos. Pero para asegurar la durabilidad de la construcción es necesario un mantenimiento constante, sobre todo en las zonas más expuestas al contacto con el agua como los paramentos y azoteas, así como prestar atención a la reparación de humedades y filtraciones, y a la intervención inmediata de grietas y fisuras que puedan dar lugar a puntos críticos de la estructura que permitan filtraciones o incluso anidamientos de insectos o animales.

Uno de los puntos a favor del uso del barro como material de construcción es su capacidad de “respirar” y de regular la humedad interior del local. Estudios desarrollados por el Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales en la Universidad de Kassel, Alemania, han demostrado que las viviendas construidas mediante técnicas de tierra mantienen su humedad interior entre un 40-70%, valores óptimos para la salud, demostrando importancia de permitir esa “respiración”. Otro motivo por el que es necesario respetar la respiración natural de los muros de tierra es por evitar el estancami-

ento de humedades en su interior mediante la difusión del vapor. Por tanto los revestimientos que se deben emplear para proteger la superficie deben también permitir el equilibrio en contenido de humedad. Tradicionalmente se utiliza un revoco de cal de unos 2cm de espesor, y ofrece un buen resultado, sobre todo teniendo en cuenta que su endurecimiento aumenta cuanto más tiempo está en contacto con el CO<sub>2</sub> ambiental (carbonatación de la cal). En contrapartida la cal se desgasta con el tiempo, debido a la acción de la lluvia, obligando al usuario a controlar este desgaste y mantener la capa de cal constante.

### Confort

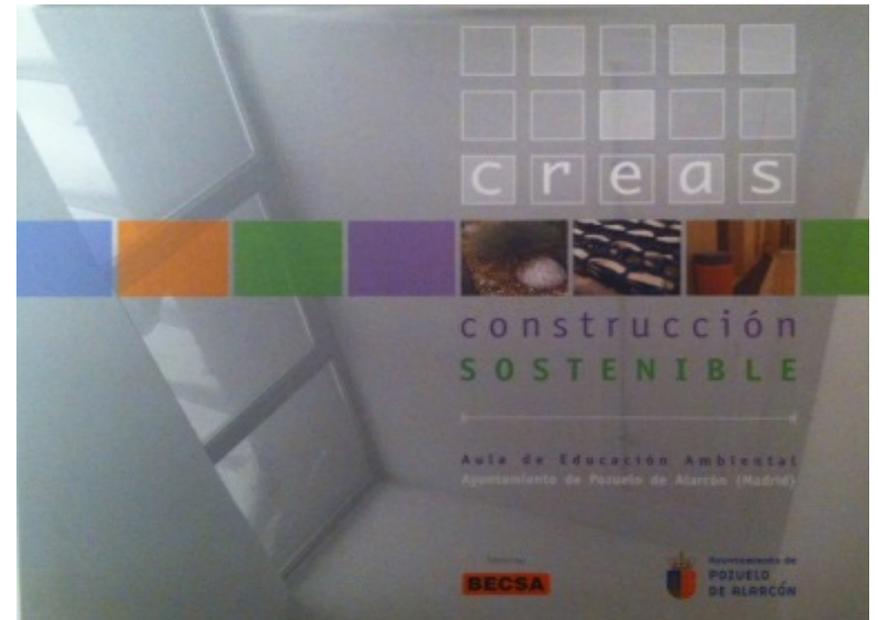
Inevitablemente el ser humano busca su propio confort allí donde está, más aún si se trata de su hogar. Teniendo en consideración que para cada persona existen unas condiciones de confort diferentes, se han establecido unos valores entre cuyos intervalos se encuentra el nivel idóneo de confort para cada persona:

#### -Confort Higrotérmico:

Lo entendemos como la ausencia de mal-estar térmico. Se considera que la temperatura de una vivienda para alcanzar el confort debe estar en torno a 20°C. La humedad relativa, a la que en general se achaca como causa de la incomodidad, es menos significativa ya que la tolerancia del cuerpo es grande. Como punto óptimo nos moveríamos entre 50-70%. Una humedad por debajo del 40% reseca las vías respiratorias, y por encima del 70% resiente los huesos.

#### -Salubridad:

El principal medio para lograr higiene, limpieza y salud pasa por lograr calidad en el aire interior de la vivienda. Por este motivo la ventilación tiene un papel fundamental: al renovar el aire se elimina el vapor de agua, los olores, los humos. Se deben tener en cuenta la ubicación de los huecos, su dimen-



Proyecto CREAS, Construcción Sostenible. Aula de Educación ambiental. Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón, Madrid



Una de las edificaciones hechas de tapia del proyecto CREAS, Construcción Sostenible. Aula de Educación ambiental. Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón, Madrid

*"Con respecto a la seguridad que puede dar una normativa: tan solo mirar la longevidad de los millones de edificios construidos con tierra sin tal normativa"*

*Pedro Bel. Arquitecto, Arquitecto Técnico especializado en arquitectura de tierra.*



Vivienda de cob con muros de carga de 40cm con forjados y dinteles de madera maciza. Arranque de la primera planta.

Fuente. Mateu Ortoneda

sión, y el tipo de apertura de la ventana.

#### **-Iluminación**

La iluminación de una vivienda es un tema casi siempre olvidado pero más importante de lo que pueda parecer puesto que el ser humano necesita del sol para vivir. Tiene consecuencias directas en los aspectos económicos, prácticos y funcionales, y a su vez es un elemento decorativo relevante.

#### **-Habitabilidad**

Este punto es el que más nos acerca al concepto de calidad de vida. Inevitablemente una vivienda está expuesta al ruido generado por los vecinos, el tráfico de la ciudad, los aviones que sobrevuelan, etc. Otro factor que afecta a la habitabilidad es la accesibilidad, es decir, el grado en el que las personas pueden visitar y utilizar un espacio. El umbral de ruido tolerable para el bienestar en una vivienda ronda los 35dBa en horario nocturno y 40 en horario diurno.<sup>30</sup>

Con estas premisas de confort es difícil creer que la arquitectura tradicional tiene la capacidad de dar soluciones tan minuciosas y necesarias, por tanto la tendencia es confiar a la tecnología aquello que creemos es imposible lograr de otro modo, dando la espalda a los métodos bioclimáticos y naturales. Una vez más es la ignorancia y la fe ciega en la tecnología las causantes del desuso de la tierra como elemento de construcción.

#### **Incompatibilidades**

La tierra es un material que respira, que absorbe y regula humedad, que trabaja como difusor de vapor, que absorbe contaminación ambiental y un largo etcétera de propiedades positivas que se verían anuladas si no se tienen en consideración en el momento de combinar este material junto con otros para mejorar sus propiedades. Es por ello, por ejemplo, que las viviendas tradicionales construidas con tierra

tienen sus paramentos exteriores revestidos con cal, nunca con cemento o pinturas impermeabilizantes, pese a su conocida vulnerabilidad al agua, ya que en ese caso la tierra dejaría de "respirar". Es este el motivo por el que es necesario un estudio de diferentes combinaciones de materiales además de los ya conocidos, a fin de determinar con que productos o materiales podemos combinar la tierra para no solo no afectar a sus propiedades beneficiosas, sino incluso mejorarlas y extender su uso en aquellas zonas donde de otro modo su construcción sería inviable.

#### **Conclusiones de los problemas de uso**

Constructivamente la tierra se presenta como un material natural, manejable, moldeable, ecológico y de fácil obtención, sin embargo al mismo tiempo acarrea una serie de complicaciones en su utilización, tales como la inseguridad que crea a algunos profesionales la falta de normativa, la necesidad de mano de obra especializada y la falta de información en universidades y en la calle. Con todo, esto podrían ser fácilmente subsanables mediante una correcta formación en estas técnicas, tanto a nivel técnico como a pie de obra en ejecución, incluso quizá sin necesidad de su inclusión en una Normativa específica. Sin embargo el mayor problema que se presenta es el desconocimiento por parte del usuario y, con mayor responsabilidad, de los técnicos.

#### **Problemas de su conservación**

##### **Conservación de la Arquitectura de Tierra a través de la historia. El patrimonio.**

Como se ha descrito anteriormente, la arquitectura de tierra está presente a lo largo de prácticamente toda la historia del hombre, es por tanto fácil de deducir que el patrimonio que ha llegado a nuestros días debe ser alto. Nada más lejos. Gran cantidad de construcciones se han perdido a lo largo de los años y se siguen

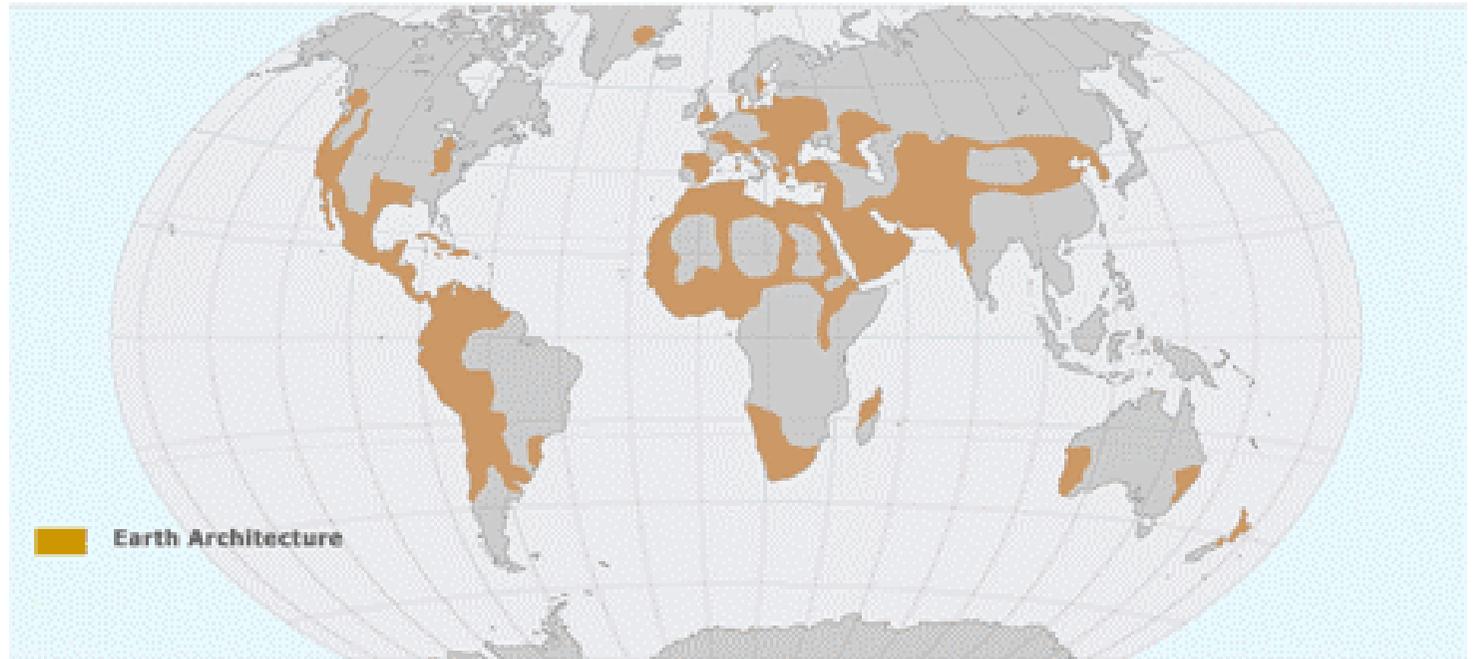
**Ref. 30** Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido

perdiendo hoy en día, volviendo poco a poco al terreno del que se formaron. Sin embargo todavía quedan numerosos edificios y construcciones de diferente tipo que han llegado a nuestros días, muchas de ellas todavía en uso. Y es que es precisamente el "uso" el motivo fundamental por el que siguen en pie gran número de ellas.

Es difícil, por no decir imposible, conocer con exactitud el número preciso de construcciones en tierra que existen en la actualidad, sin embargo existe un inventario que recopila aquellas construcciones que están reconocidas como parte del patrimonio mundial:<sup>31</sup>

A través del Inventario Cultural de Tierra de la UNESCO, sabemos que las técnicas de construcción de adobe son los más utilizados en los sitios mencionados (50%), principalmente en las regiones de Asia y el Pacífico (68%), América Latina y el Caribe (60%) y en una tasa más baja en Europa y América del Norte (17%). El Cob (6% en total solamente) sólo está presente en tres de las cinco regiones, con una proporción bastante importante en África (20%). Mientras que, por el contrario, la tierra apisonada o tapijal está totalmente ausente en África. Estos resultados ilustran claramente las formas en que la tierra se puede adaptar a diferentes restricciones técnicas, sociales, culturales y ambientales.

Finalmente, la mayoría de las propiedades implican el uso de dos o tres técnicas de construcción, ofreciendo diferentes expresiones de la utilización de materiales de tierra. Pero este no es el caso en Europa y América del Norte, donde, con pocas excepciones, cada propiedad está vinculada a una única técnica por edificio. Todo ello nos da una referencia del peso que tiene la arquitectura tradicional en nuestros días, haciendo que debamos prestar especial atención a su conservación.

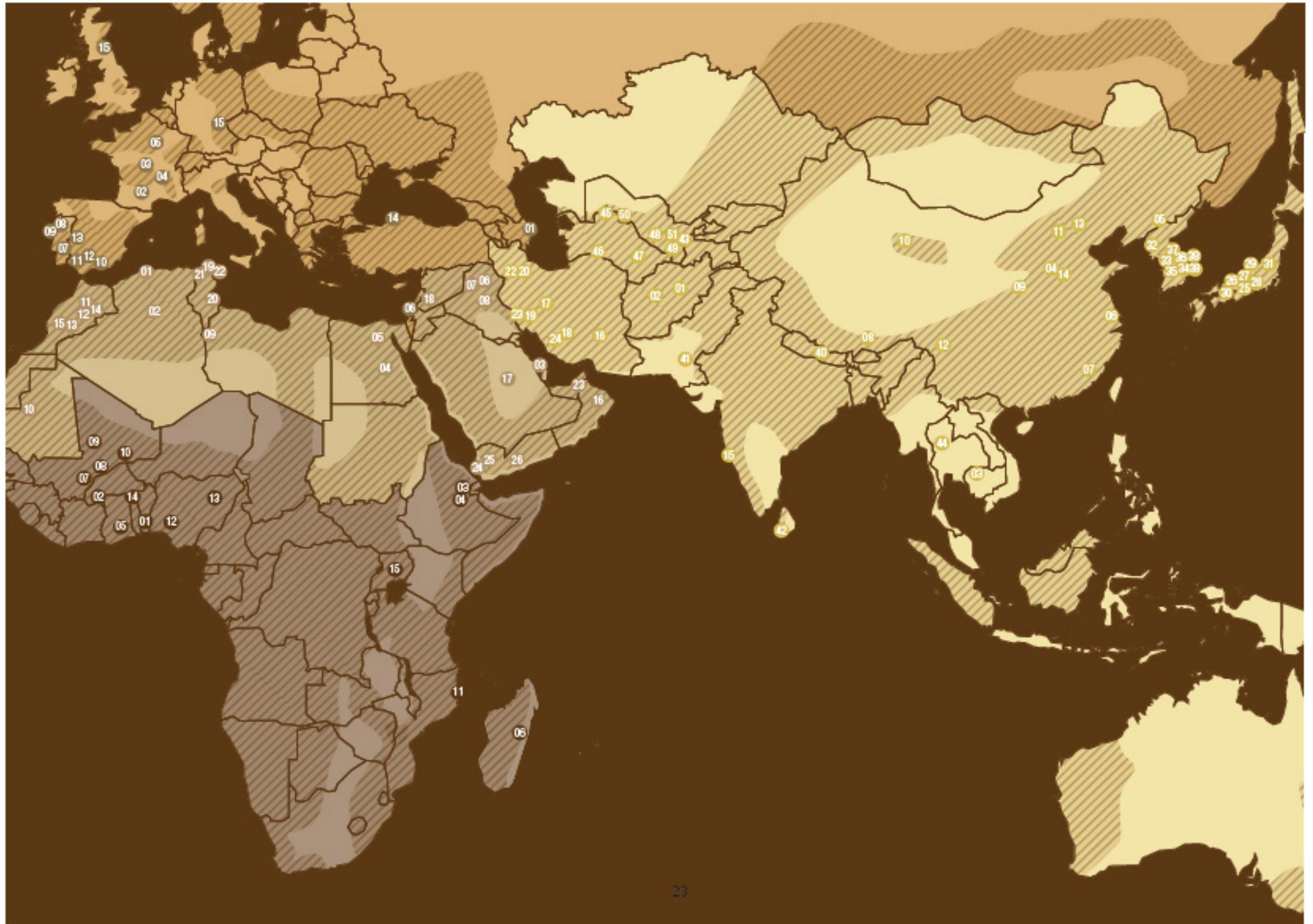


Distribución de la arquitectura de tierra.  
Fuente: Terracrua.com



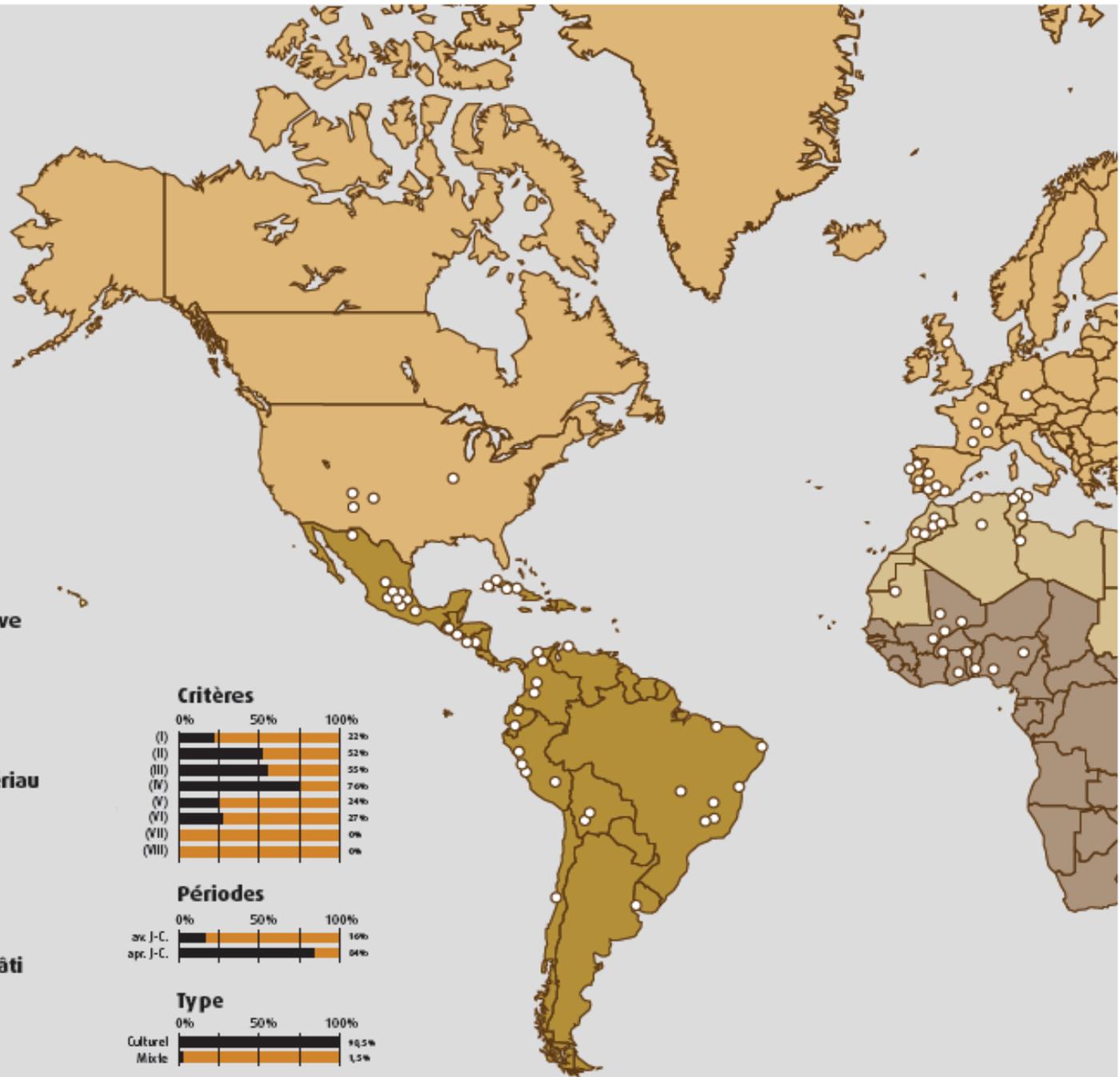
Ref. 31. Inventario de arquitectura de tierra. Documento elaborado por la UNESCO y obtenido de su sitio web, así como los mapas sigioentes.



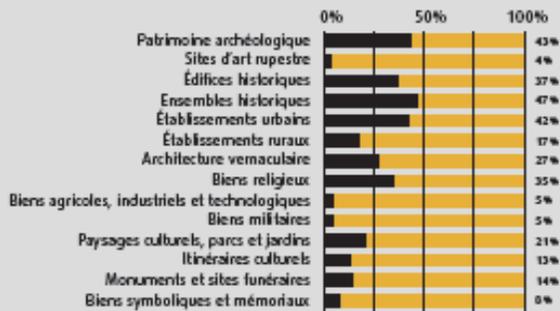


# Statistiques Monde

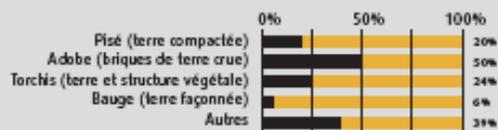
## TYOLOGIES ET MODE DE CONSTRUCTION 150 BIENS



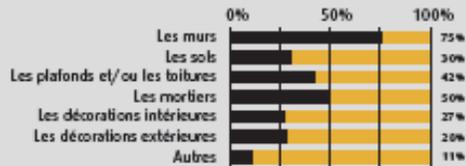
### Type de patrimoine



### Technique constructive



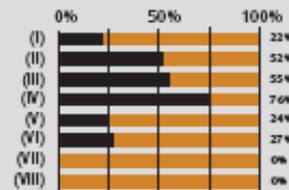
### Localisation du matériau



### Proportion dans le bâti



### Critères



### Périodes



### Type

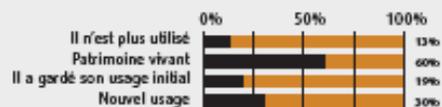


# Statistiques Monde

ANALYSE  
DES QUESTIONNAIRES  
78 RÉPONSES/150 BIENS

## SITUATION ACTUELLE DES BIENS

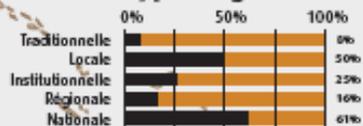
### Utilisation actuelle



### Propriétaire



### Type de gestion



### Plan de Gestion

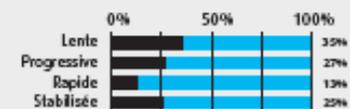


### Maintenance

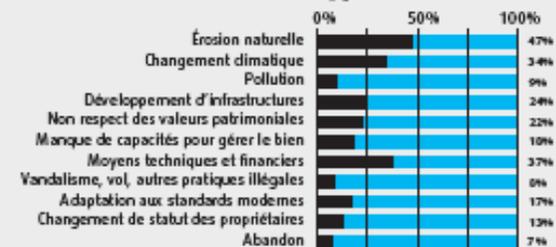


## MENACES

### Vitesse de dégradation

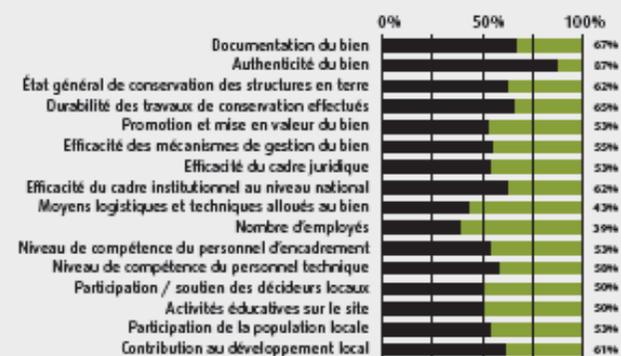


### Types de menaces

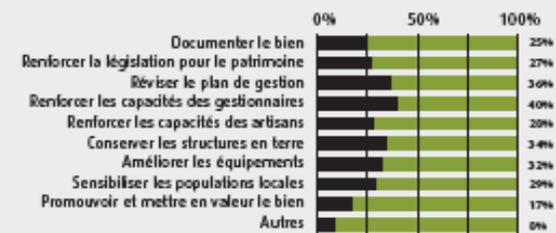


## PRIORITÉS

### Aspects jugés satisfaisants



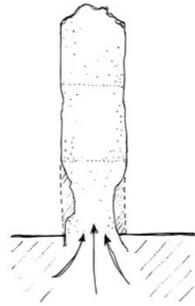
### Priorités d'action





Vivienda en Cuenca en mal estado debido a su poco mantenimiento.  
Fuente. TamTam Press

**Ref. 32.** Representación del proceso de filtraciones por capilaridad. Desde la base del elemento el agua y la humedad ascienden a través de los poros. a humedad debilita el muro en su base, siendo esta la zona más delicada, provocándole pérdida de sección y el derrumbe si no se trata convenientemente.



### Origen de patologías

Dejando al margen las patologías por deficiencias en la construcción en cimentaciones, espesores de los muros, ubicación de tabiques, cálculos incorrectos o incompatibilidad de materiales o falta de adecuación de los mismos, las causas del deterioro en las construcciones de tierra son los debidos a la acción de la naturaleza sobre ellas, como el viento, la vegetación, la influencia del agua y de la humedad, etc. Sin embargo quizá la causa más importante es la provocada por la mano del hombre o por la ausencia de ella, es decir, por el abandono o por unos criterios de intervención incorrectos.

### Viento

La acción ejercida por el viento durante el tiempo sobre las estructuras de tierra puede hacer que estas vayan perdiendo sección, que en casos muy prolongados puede llegar a afectar de gravedad a los muros portantes, provocando desmoronamientos. Al mismo tiempo el viento arrastra partículas que golpean contra los paramentos, lo que puede producir fisuras horizontales o incluso disgregación del material.

### Vegetales

Las partículas que el viento arrastra en muchos casos se trata de semillas, que pueden ser depositadas en los paramentos, llegando a germinar y afectando de gravedad el muro ya que sus raíces crecen generando daños en ocasiones irreversibles si no se interviene a tiempo.

### Animales e insectos

Si los muros no se han ejecutado y revocado correctamente es posible que animales campestres como ratones o aves aniden o se refugien en huecos existentes, así como insectos, aunque en ocasiones estas oquedades son producidas por los propios animales, como las termitas en la madera.

### Agua y humedad<sup>32</sup>

El agua es uno de los mayores enemigos de las construcciones en tierra. Su efecto puede ser devastador ya que al humedecer la tierra esta se empapa y se disgrega. Si la construcción es firme y está correctamente resuelta puede alcanzar tranquilamente los 100 años de vida (y más), sin embargo un efecto prolongado sin tratamiento afectará de gravedad la construcción.

### Movimientos sísmicos

Las edificaciones son afectadas mayormente por los impactos horizontales creados por el movimiento de la tierra en el plano horizontal. Este hecho se agrava cuando existen irregularidades en planta y altura, distribución inadecuada de los muros en planta, pérdida de la verticalidad, falta de diafragmas rígidos, etc. Las cargas dinámicas producen una importante degradación de las propiedades de cohesión entre las partículas que conforman los muros de tierra, que ya de por sí son bajas al compararlas con las propiedades mecánicas de otros materiales. No obstante esto, construcciones en tierra como adobe, cob y especialmente tapial, han verificado comportamientos mejores en muchos casos que el propio hormigón en casos de sismo.

### Conclusiones de las dificultades de conservación

El viento, el agua, los animales e insectos, la humedad, la vegetación, etc. son elementos que conviven con nosotros y que afectan a las construcciones de tierra tal como se ha descrito anteriormente.

El mayor inconveniente en la conservación de las construcciones es debido a la complejidad que presenta la tierra para ser reforzada, sobretodo en comparación con materiales de construcción actuales como el hormigón, el acero y el ladrillo cerámico.



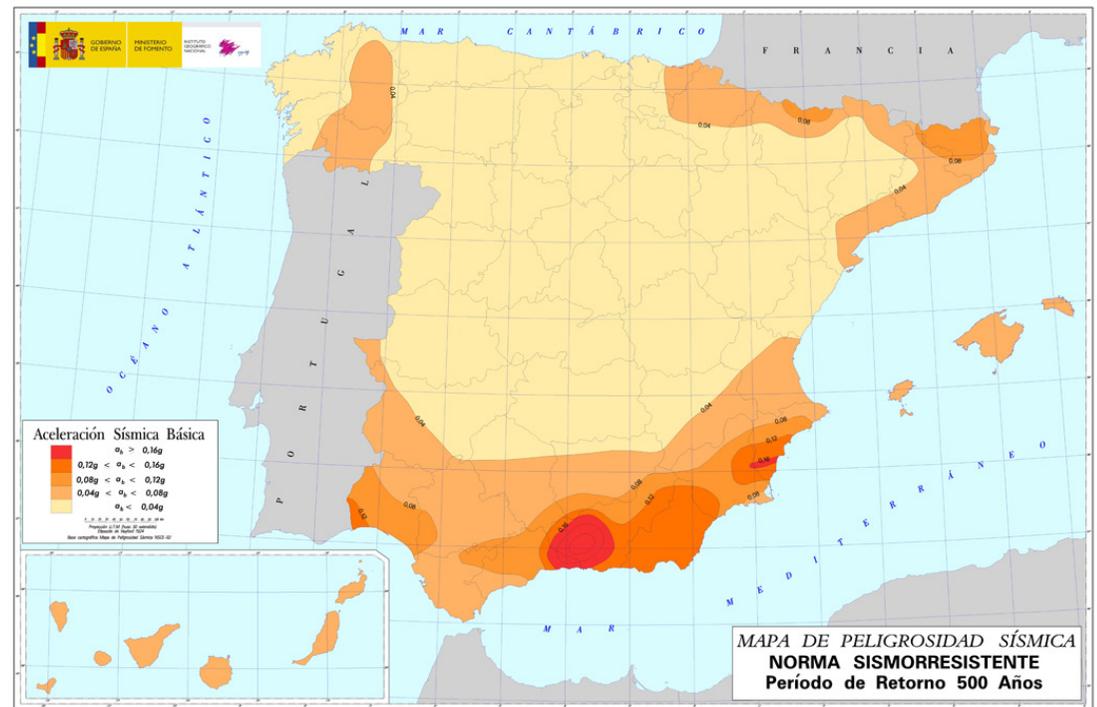
Falta de mantenimiento y pérdida de revestimientos afectan directamente a la urabilidad de las estructuras de tierra expuestas a la intemperie. Fuente. UNESCO

En estado sólido la tierra puede presentar unas resistencias elevadas con una durabilidad considerable en la intemperie. Sin embargo su estado se deteriora con su abandono y falta de mantenimiento. Más aún si se considera que las construcciones antiguas no estaban sometidas a un estricto control constructivo.

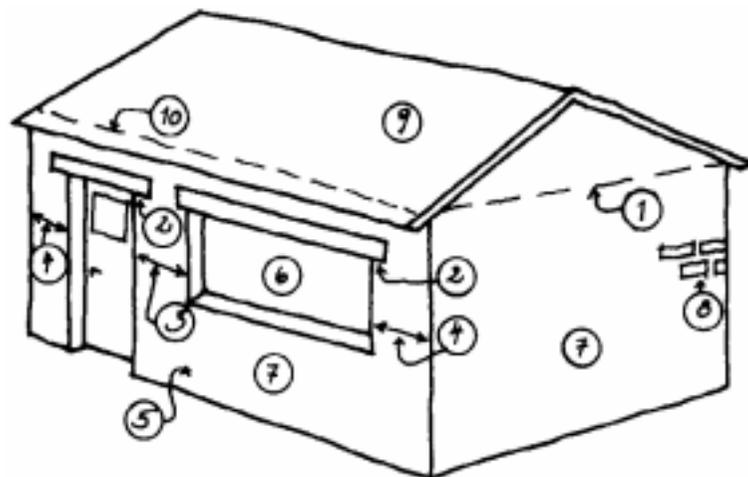
Los terremotos son uno de los mayores enemigos de las construcciones. Luchar contra ellos es sumamente complicado. Ejemplo de ello lo entramos en Japón, donde a diario sufren sismos llegando a escalas muy elevadas en ocasiones.

España tiene un riesgo de sismicidad bajo en comparación con otros lugares del mundo. Sin embargo en la zona sur-este y nor-este encontramos algunas zonas en riesgo. <sup>34</sup>

Es por esto que se precisa de un mayor cuidado en las nuevas construcciones que se realicen, a fin de no tener que lamentar pérdidas. Con las técnicas actuales, investigaciones desarrolladas y técnicos preparados, el riesgo de sismicidad en España no debería ser un limitante para la ejecución de construcción con tierra



Ref- 34. Riesgo sísmico de España. Fuente. Ministerio de Fomento



Precauciones constructivas en la construcción de una vivienda contra los terremotos. Fuente. Gernot Minke. Libro: La vivienda antisísmica de tierra.

- 1.- Ausencia de un refuerzo horizontal (encadenado, collarín o viga cadena).
- 2.- Los dinteles no penetran suficientemente en la mampostería.
- 3.- El ancho de muro entre los vanos de la ventana y la puerta es demasiado angosto.
- 4.- El ancho entre los vanos de la ventana y la puerta en relación a las esquinas es demasiado angosto.
- 5.- Ausencia de un sobrecimiento (zócalo).
- 6.- El vano de la ventana es demasiado ancho.
- 7.- El muro es muy y delgado sin tener elementos de estabilización.
- 8.- La calidad de la mezcla del mortero es pobre (con una baja capacidad aglutinante), las uniones verticales no están completamente rellenas, las uniones horizontales son demasiado gruesas (más de 1,5 cm).
- 9.- La cubierta es demasiado pesada.
- 10.- La cubierta tiene un arriostamiento débil con el muro.



El terremoto de Bam fue un terrible seísmo que afectó al sureste de Irán durante la madrugada del viernes 26 de diciembre de 2003 destruyendo el 70% de las estructuras de la histórica ciudad de Bam.<sup>1</sup> En este terremoto, de 6,6 grados en la escala de Richter, entre 35.000 y 46.000 personas perdieron la vida (30%-45% de la población de Bam), 50.000 resultaron heridas (50% de la población de Bam) y 80.000 quedaron sin hogar (80% de la población de Bam) lo que lo convierte en el peor terremoto de ese país desde 1990 cuando un seísmo aniquiló a 700 aldeas y mató a decenas de miles de personas. La pobre construcción de la zona fue la responsable de la mayoría de las víctimas.

Fuente. eluniverso.com

## 2.3.- NORMATIVA REGULADORA DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA COMO ELEMENTO DE CONSTRUCCIÓN

Introducción

Sobre la UNE 41410 (BTC) y el CTE

Sobre otras normas

### INTRODUCCIÓN

La tierra ha sido utilizada como material de construcción desde hace siglos. No obstante, la normativa al respecto está muy dispersa, y en la mayoría de países desarrollados surgen numerosos problemas técnicos y legales para llevar a cabo una construcción con este material.

En el apartado “Fase de Proyecto” se ha comentado el vacío en cuanto a regularización normativa que existe en España cuando se pretende ejecutar nueva construcción mediante la Arquitectura de Tierra. La ausencia de normativa convierte el uso de esta técnica tan enriquecedora en un arduo trabajo para el equipo técnico que obliga a multiplicar su responsabilidad sobre la edificación. Este hecho es un gran condicionante a la hora de escoger el tipo de arquitectura a emplear: tradicional o actual.

En España encontramos la Norma UNE 41410 (BTC) y proyectos de investigación como los desarrollados por el Instituto Eduardo Torroja de Madrid y otros que dan una base acerca de las propiedades y exigencias de la tierra, que sumadas a la interpretación del resto de Normativa de construcción existente para otros

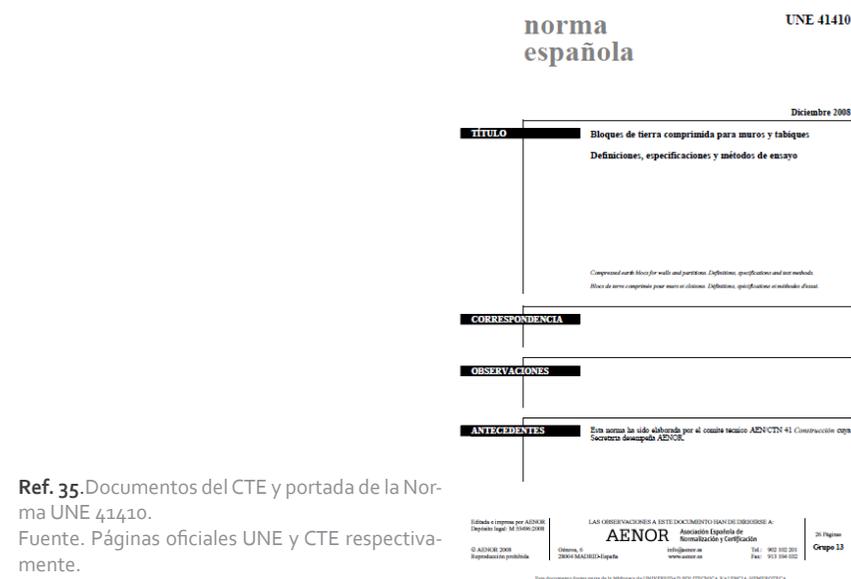
materiales ofrece un abanico suficiente para la correcta ejecución de construcciones. Sin embargo el desarrollo de normativas al respecto si está más extendido en otras zonas del mundo, especialmente en los países sudamericanos, donde por motivos de patrimonio, vivienda económica y movimientos sísmicos, se están haciendo verdaderos expertos en la materia.

### SOBRE LA UNE 4140 (BTC) Y EL CTE<sup>35</sup>

Se localizó la única regulación específica para construcción con tierra, la Norma UNE 41410: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Esta define una serie de condiciones para los BTC (adobes), sin embargo no lo define para el tapial. En cualquier caso, la norma UNE 41410, entendemos que NO ES DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO, por cuanto por la definición extraída de la misma página web de Normas UNE:

#### Norma UNE:

*Una norma es un documento técnico de aplicación voluntaria, fruto del consenso, basado en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de nor-*



Ref. 35. Documentos del CTE y portada de la Norma UNE 41410. Fuente. Páginas oficiales UNE y CTE respectivamente.



El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE). Las Exigencias Básicas de calidad que deben cumplir los edificios se refieren a materias de seguridad.

Código Técnico de la Edificación

#### INICIACIÓN AL ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN MEDIANTE EL EMPLEO DEL BTC COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

X CIATTI 2013. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra  
Cuenca de Campos, Valladolid.

Ana Romero Girón, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla. España.  
Reyes Rodríguez García, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla. España.  
Jacinto Canivell, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 2. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Edificación. España.  
Ana González Serrano, Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla. España.

PALABRAS CLAVE: bloque de tierra, protocolo, normativa.

##### 1. Antecedentes

Son múltiples los investigadores que han desarrollado estudios sobre diversos aspectos de la construcción en tierra, de hecho cada vez son más numerosas las líneas de investigación que enfocan la temática hacia aspectos relacionados con el BTC<sup>1</sup> como producto de aplicación en la edificación con amplias opciones de ejecución.

Por otro lado, desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) en 2.006, las Normas Básicas de la edificación (NBE) han sido sustituidas por el CTE en base a la ley de Ordenación de la Edificación

de 1.999. En él, se desarrollan las exigencias mínimas para cada uno de los requisitos básicos establecidos en el artículo 3 de la Ley de Ordenación de la edificación (LOE): Seguridad Estructural, Seguridad en caso de incendios, Seguridad de utilización y accesibilidad, Higiene, salud y protección del medio ambiente, Protección contra el ruido y Ahorro de energía y aislamiento térmico.

La construcción en tierra, y en su defecto el BTC, puede ser utilizado en España, siempre que se garantice las características exigibles establecidas por el CTE aunque para éste no se contemple un apartado específico dentro del documento básico DB-F para fabricas pesadas

malización reconocido.

Las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica.

Sin embargo en caso de introducirla en el CTE, SI SERÍA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO, por definición:

#### Código Técnico de la Edificación

"El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE). Las Exigencias Básicas de calidad que deben cumplir los edificios se refieren a materias de seguridad."

El BTC es una pieza para fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos. La Norma UNE 41410 "tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores. Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas. Se aplica a los bloques de tierra comprimida que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión."

Cada vez son más numerosas las líneas de investigación que enfocan la temática hacia as-

pectos relacionados con el BTC como producto de aplicación en la edificación con amplias opciones de ejecución.

Por otro lado, desde la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) en 2.006, las Normas Básicas de la edificación (NBE) han sido sustituidas por el CTE en base a la ley de Ordenación de la Edificación de 1.999. En él, se desarrollan las exigencias mínimas para cada uno de los requisitos básicos establecidos en el artículo 3 de la Ley de Ordenación de la edificación (LOE): Seguridad Estructural, Seguridad en caso de incendios, Seguridad de utilización y accesibilidad, Higiene, salud y protección del medio ambiente, Protección contra el ruido y Ahorro de energía y aislamiento térmico.

Según el documento de *investigación Iniciación al análisis del cumplimiento del código técnico de la edificación mediante el empleo del btc como material de construcción*<sup>36</sup>, redactado por Ana Romero Girón, Reyes Rodríguez García y Jacinto Canivell<sup>37</sup>:

"La construcción en tierra, y en su defecto el BTC, puede ser utilizado en España, siempre que se garantice las características exigibles establecidas por el CTE aunque para éste no se contemple un apartado específico dentro del documento básico DB-F para fabricas pesadas en la construcción. De hecho, en la Parte I de CTE, concretamente en el art. 5, se enuncian dos procedimientos para el cumplimiento del material: aportar soluciones técnicas basadas en los documentos básicos del CTE (DB) o soluciones alternativas que se justifiquen por sus prestaciones, al menos, equivalentes a las que se obtendrían por la aplicación del DB correspondiente.

Con respecto a la normativa vigente, la construcción en Tierra, y en su defecto el BTC, puede ser utilizado en España, dentro de un marco prescriptivo incompleto que no siempre permite garantizar el cumplimiento de los

Ref. 36. Documento Iniciación al análisis del cumplimiento del Código Técnico Fuente. Documento de investigación

requisitos mínimos establecidos por el CTE. Actualmente, el CTE no contempla un documento específico para la tierra, pero cabe destacar la UNE 41410:2008, la cual define, especifica y realiza algunos métodos de ensayo que evalúan la conformidad del material.

La información aportada por la UNE 41410:2008 es insuficiente dado el grado de información sobre el material requerido por el CTE. De hecho, tal y como se ha expresado con anterioridad, son muchas las características exigibles al material que aún no han sido determinadas ni científicamente ni técnicamente para acogerse a determinados valores admisibles. Asimismo, el número de valores obtenidos para el cumplimiento del CTE, se establece de manera desigual entre los distintos documentos básicos. De hecho, los valores menos estudiados para el BTC son los determinados por el documento básico de Protección frente al ruido. Por otro lado, este análisis destaca como distintos autores comparan el BTC con un material similar que si se encuentra reflejado en el CTE. Esta solución no es la recomendable, ya que se debe investigar este producto específico.

En el campo comercial, las empresas dedicadas a la fabricación del BTC, poseen fichas técnicas incompletas que no facilitan información suficiente y necesaria al técnico competente. Además, que tratan de manera desigual los distintos documentos básicos, por lo que aún son numerosos los vacíos de conocimiento en cuanto a algunas características exigibles. Será necesario solventar los vacíos de conocimiento establecidos en la presente investigación, así como potenciar el uso de fichas técnicas del material específicas del lugar de procedencia. Éstas deben reflejar las características exigibles por la normativa vigente, la evaluación de la conformidad de la UNE 41410:2008 y de esa manera, fomentar el BTC como otro material más de la construcción en España.”

## SOBRE OTRAS NORMAS

Basándonos en el artículo de J. Cid, F. R. Mazarrón, I. Cañas<sup>38</sup>: The earth building normative documents in the World, se han seleccionado un conjunto de normas y reglamentos que son representativos de la normativa de edificación con tierra cruda a nivel internacional y validos para detallar el estado actual. En esta selección se han descartado la norma nigeriana NIS 369 (31) por la dificultad para acceder y conseguir el documento; las normas turcas TS 537, TS 2514 y TS 2515 (58-60) por no estar redactadas en español, inglés o francés; y las leyes italianas (28,29) atendiendo a su escasa aplicabilidad con carácter técnico-construtivo. En estas Normas se estudian y analizan los aspectos más relevantes, como la estabilización, selección de los suelos, requisitos de los productos y ensayos existentes, comparando las diferentes normativas.

A continuación mostramos un extracto del documento de J. Cid, F. R. Mazarrón e I. Cañas en el que se listan los países que actualmente mantienen normativas de construcción en técnicas de tierra:

“Esta selección se estructura en quince grupos de normas y reglamentos, (contabilizando en un mismo grupo todas las normas o reglamentos de un país excepto en el caso de Perú y EEUU por haberse desarrollado por entidades diferentes). Todas han sido emitidas por organismos nacionales, excepto una norma estatal de Nuevo México, el grupo de normas internacionales de un organismo regional africano (ARSO), que comprende varios países de África y la norma publicada por el Organismo ASTM Internacional. En la figura 1 se muestra por orden cronológico las normas y reglamentos por año de aprobación.

### Grupo 1: Brasil

Brasil ha emitido trece normas (7-19), desar-

**Ref. 37.ROMERO GIRÓN, Ana, RODRÍGUEZ GARCÍA, Reyes, CANIVELL, Jacinto, et al.** "Iniciación al análisis del cumplimiento del Código Técnico de la edificación mediante el empleo del BTC como material de construcción". En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI.

Fuente. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2013. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 295-306.



**Ref. 38.**Artículo "Las normativas de construcción con tierra en el mundo".  
Fuente. Ignacio Cañas

"Una norma es un documento técnico de aplicación voluntaria, fruto del consenso, basado en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico y aprobado por un organismo de normalización reconocido.

Las normas garantizan unos niveles de calidad y seguridad que permiten a cualquier empresa posicionarse mejor en el mercado y constituyen una importante fuente de información para los profesionales de cualquier actividad económica."

AENOR. Normas UNE

rolladas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) desde 1986 hasta 1996, sobre el suelo cemento y sus aplicaciones constructivas en forma de bloque suelo cemento y pared monolítica.

#### Grupo 2: Colombia

En 2005 se emite la norma colombiana NTC5324 (20), editada por ICONTEC, siendo una traducción de la norma experimental francesa XP P13-901,2001(24) de AFNOR sobre BTC.

#### Grupo 3-4: EEUU

El reglamento de Nuevo México (21) lo emite el CID (Construction Industries Division) en 2004, basado en dos códigos recientemente derogados, la organización internacional "American Society for Testing and Materials" ha desarrollado la norma técnica ASTM E2392 M-10 (22) aprobada en enero del 2010 y publicada en marzo de ese año.

#### Grupo 5: España

A finales de 2008 se desarrolla la primera norma española (23) de construcción en tierra, y primera norma europea actual no experimental para bloques de tierra comprimida, emitida por el subcomité AEN/CTN 41 SC 10 "Edificación con tierra cruda" de AENOR.

#### Grupo 6: Francia

La norma experimental XP P13-901:2001(24) es un documento provisional y accesible al público, desarrollado por el organismo nacional AFNOR con el objeto de poder obtenerla necesaria experiencia en su aplicación, sobre la cual basar una futura norma.

#### Grupo 7: India

El organismo regulador de la India desde 1987 es el BIS (Bureau of Indian Standards) cuyo antecesor fue el ISI (Indian Standards Institution) que publicó las normas IS 2110(25) revisada en mayo del 2007, la norma IS1725 (26) y la norma

IS 13827 (27).

#### Grupo 8: Kenya

La KS 02-1070 (30) emitida por el KBS (Kenya Bureau of Standards) es una revisión de la norma de 1993.

#### Grupo 9: Nueva Zelanda

En 1996 se publicaron las tres normas emitidas por el organismo nacional SNZ (New Zealand Standards) (32-34)

#### Grupo 10-11: Perú

La norma peruana NTE E 080 (35) del 2000 procede de una versión anterior de 1977 del ININVI (Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda) que fue absorbido por el organismo público SENCICO (Servicio Nacional de Normalización, Capacitaciones Investigación para la Industria de la Construcción). Actualmente la norma peruana se encuentra en una segunda revisión y ampliación. Las normas NTP (36-38), emitidas por el sistema Peruano de Normalización INDECOPI.

#### Grupo 12: Regional África

En 1998 se emiten 14 normas sobre BTC (39-52) de la organización regional de normalización africana, (ARSO) publicadas en una serie tecnológica del CDI/CRATerre (60).

#### Grupo 13: Sri Lanka

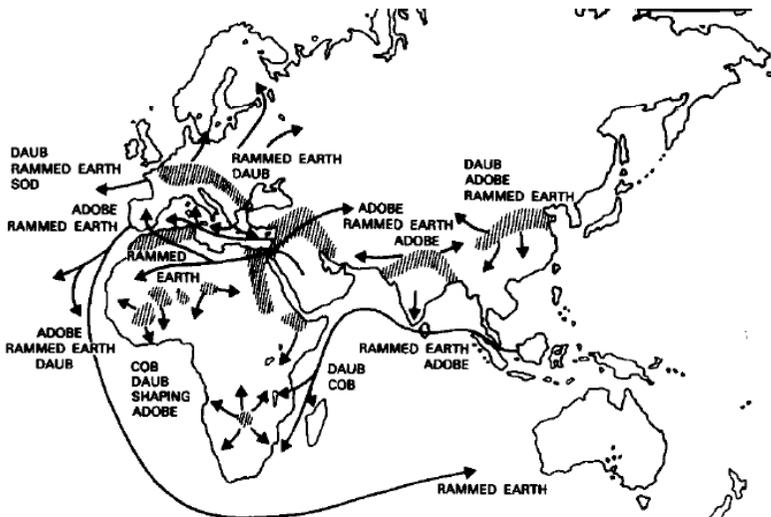
El instituto de normalización de Sri Lanka (SLSI) desarrolla a finales del 2009 tres normas sobre los bloques de tierra comprimida estabilizados (53-55).

#### Grupo 14: Túnez

Dos normas NT (56,57) publicadas en 1996 por el organismo normalizador de Túnez, INNOR-PI.

#### Grupo 15: Zimbabwe

La norma de Zimbabwe (61) fue emitida en 2001 por el organismo nacional de Normal-



Migraciones tecnológicas de la Construcción con tierra. A Europa llega a través del Magreb y el mundo árabe, y desde ahí sale hacia Australia y América.  
Fuente. CRATerre

ización (SAZ) y se basa en una publicación de Keable 1996 (62).”

A continuación se ofrece una tabla-resumen con todas las normas y reglamentos encontrados por los autores y el compendio de normativas vigentes:

Listado de normas y reglamentos encontrados

País	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapijal	Notas
Brasil	NBR 8491, 1986.	ABNT	7	x		x		BTC estabilizado con cemento especifica, métodos de ensayo.
	NBR 8492, 1986.		8					
	NBR 10832, 1989		9					
	NBR 10833, 1989		10					
	NBR 10834, 1994.		11					
	NBR 10835, 1994		12					
	NBR 10836, 1994		13					
	NBR 12023, 1992		14					
	NBR 12024, 1992		15					
	NBR 12025, 1990		16					
	NBR 13554, 1996		17					
	NBR 13555, 1996		18					
	NBR 13553, 1996		19					
	Colombia		NTC 5324, 2004					ICONTEC
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	CID	21		x	x	x	Reglam. Estatal de Nuevo México.
	ASTM E2392 M-10	ASTM	22		x		x	
España	UNE 41410:2008	AENOR	23			x		Primera norma Europea
Francia	XP P13-901, 2001	AFNOR	24			x		Norma experimental
India	IS 2110 : 1980	BIS	25	x			x	Paredes de suelo-cemento
	IS 1725 : 1982.	BIS	26	x			x	
	IS 13827 : 1993	BIS	27		x		x	Directrices resistencia a terremotos
Italia	Ley nº 378, 2004		28		x	x	x	Leyes para la conservación del patrimonio de tierra
	L.R. 2/06 2 2006		29					
Kenya	KS 02-1070: 1999.	KEBS	30	x			x	
Nigeria	NIS 369:1997.	SON	31	x			x	
Nueva Zelanda	NZS 4297, 1998.	SNZ	32			x	x	
	NZS 4298, 1998.		33					
	NZS 4299, 1999.		34					
Perú	NTE E 0.80, 2000	SENCICO	35			x		
	NTP 331.201, 1979	INDECOP I	36					
	NTP 331.202, 1979.		37	x	x			
	NTP 331.203, 1979.		38					
Regional África	ARS 670, 1996	ARSO	39				x	
	ARS 671, 1996		40					
	ARS 672, 1996		41					
	ARS 673, 1996		42					
	ARS 674, 1996		43					
	ARS 675, 1996		44					
	ARS 676, 1996		45					
	ARS 677, 1996		46					
	ARS 678, 1996		47					
	ARS 679, 1996		48					
	ARS 680, 1996		49					
	ARS 681, 1996		50					
	ARS 682, 1996		51					
	ARS 683, 1996		52					
Sri Lanka	SLS 1382-1:2009	SLSI	53	x			x	Bloques de suelo comprimido estabilizados
	SLS 1382-2:2009		54					
	SLS 1382-3:2009		55					
Túnez	NT 21.33:1996	INNORPI	56				x	En francés
	NT 21.35:1996		57					En francés
Turquía	TS 537, 1985.	TSE	58	x				
	TS 2514, 1985.		59		x			En turco
	TS 2515, 1985.		60					
Zimbabue	SAZS 724, 2001.	SAZ	61				x	

Abreviaturas: ORG (Organismo); REF (Referencia, ver en bibliografía el número); EST (Estabilización, si solo contempla el uso de tierra estabilizada)

Cuadro de normativa vigente

Año	País	Norma	REF
1979	Perú	NTP 331.201,331.202,331.203	36-38
1980	India	IS 2110	25
1982	India	IS 1725	26
1985	Turquía	TS 537, TS 2514, TS 2515	58-60
1986	Brasil	NBR 8491, 8492	7-8
1989	Brasil	NBR 10832,10833	9-10
1990	Brasil	NBR 12025	16
1992	Brasil	NBR 12023,12024	14-15
1993	India	IS 13827 : 1993	27
1994	Brasil	NBR 10834,10835,10836	11-13
1996	Brasil	NBR 13554,13555,13553	17-19
	Regional África	ARS 670-683	39-52
	Túnez	NT 21.33, 21.35	56-57
1997	Nigeria	NIS 369	31
1998	Nueva Zelanda	NZS 4297, 4298	32-33
1999	Nueva Zelanda	NZS 4299	34
	Kenya	KS 02-1070	30
2000	Perú	NTE E 0.80	35
2001	Francia	XP P13-901	24
	Zimbabue	SAZS 724	61
2004	Colombia	NTC 5324	20
	EEUU	NMAC, 14.7.4	21
	Italia	Ley nº 378, 2004	28
2006	Italia	L.R. 2/06	29
2008	España	UNE 41410	23
2009	Sri Lanka	SLS 1382-1, 1382-2, 1382-3,	53-55
2010	EEUU	ASTM E2392 M-10	61



Ensayos de dosificación a ladrillos de adobe. Una mayor proporción de arcilla origina grietas, mientras que un exceso de arena le resta resistencia.  
Fuente. Asociación Terrachidia

# 3.-METODOLOGÍA

## 3.1.- PROCESO DE ESTUDIO

Introducción

Tipo de muestra a ensayar

Obtención de la tierra

Análisis previo

Construcción de las muestras

Programación de los ensayos

Ensayos e interpretación de resultados

### INTRODUCCIÓN

El propósito inicial de esta investigación es establecer una hoja de ruta para determinar las limitaciones que ofrece la construcción con tierra en España. Sin embargo en el proceso hemos encontrado que también es conveniente comprobar la necesidad de establecer dichas limitaciones. Ya se ha visto la diversidad de opiniones que existe en cuanto a la elaboración de una CTE enfocado a la tierra, por tanto veremos a continuación un modelo de análisis para determinar dichas limitaciones.

Hemos tomado como técnicas constructivas el adobe y el tapial, y recogeremos muestras de tierra en puntos estratégicos en Valencia, Castellón y Alicante para su análisis y comparación, así como una comparativa respecto a otros materiales en la fase final.

La hoja de ruta marcada para el desarrollo de la investigación ha seguido los siguientes criterios:

1. Establecer el tipo de muestras a ensayar
2. Obtención de la tierra
3. Análisis previo de las muestras

4. Construcción de las muestras
5. Programación de los ensayos
6. Ensayos e interpretación de resultados

### 1.-TIPO DE MUESTRA A ENSAYAR Y PRIMERAS VALORACIONES

Tal como se explicó en el apartado 1.3, en torno a la arquitectura de tierra existen diferentes técnicas constructivas, siendo algunas de ellas las consideradas tradicionales y otras son tipologías desarrolladas en la actualidad, tales como el superadobe o el también comentado BTC. En este estudio se pretende evaluar las capacidades constructivas de la arquitectura de tierra tradicional, por tanto debemos descartar las técnicas actuales en este punto de la investigación.

Se ha escogido el adobe y el tapial por ser las técnicas más comunes en la arquitectura de tierra tradicional española. Sin embargo no se descarta añadir en futuros estudios técnicas como el Cob, la Quicha, el Bahareque o incluso las balas de paja revestidas de barro.

Al tratarse de un estudio comparativo será pre-



Ensayo previo de campo de una muestra de tierra.  
Fuente. Elaboración propia



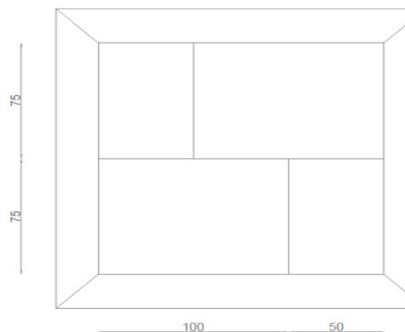
Desencofrado de un módulo de tapia.  
Fuente. Elaboración propia



Obtención de las tierras junto la Torre Bofilla. Bétera, Valencia. Fuente. Elaboración propia



Obtención de las tierras en las cercanías de la torre de Carrícola. Municipio de Carrícola. Fuente. Elaboración propia



Modelización 2D del estado del muro de tapia dentro del marco de ensayo en una primera valoración  
Fuente. Elaboración propia

ciso establecer un criterio base para aplicarlo a las diferentes muestras. Para esto trataremos que las muestras tengan un mismo volumen.

Se conformará un tapial que dará la forma que precisemos a la muestra de tapia, y en base a sus medidas se calculará el tamaño que deberá tener el adobe para llegar a formar el mismo volumen que la tapia.

No existe una medida exacta para las dimensiones de la tapia en ninguna zona, ya que estas iban variando en función de sus solicitudes y recursos. De modo que partimos de la referencia obtenida del estudio de **Fernando Vegas Y Camila Mileto**<sup>39</sup> en la Torre Bofilla de Bétera:

*"El espesor de los muros alcanza 1,20 m en la base de la torre y se adelgaza por el decrecido exterior y los resaltes internos de apoyo de los forjados hasta medir únicamente 56 cm. Alcanza una altura total de algo más de 18 metros por el exterior en la esquina sureste, que equivale a 21 de módulos de tapia de dimensiones comprendidas entre 83 y 92 cm"*

Estas referencias nos dejan cierto margen para establecer nuestro módulo según más nos convenga, de tal modo que las medidas estimadas del módulo de tapia será inicialmente de:

Altura: 75cm  
Profundidad: 50cm  
Longitud: 100cm

De este modo hacemos una primera valoración del volumen de tierra necesario:

1 bloque:  $0.9 \times 0.5 \times 1 \text{ m} = 9 \times 5 \times 10 \text{ dm} = 450 \text{ dm}^3$   
4.5 bloques:  $450 \text{ dm}^3 \times 4.5 = 2025 \text{ dm}^3 = 2.025 \text{ m}^3$   
 $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}$   
**Total= 2025 litros ó 2,025m<sup>3</sup> de tierra por cada procedencia.**

Para el adobe se han tomado las siguientes medidas:

Altura: 7cm  
Profundidad: 10cm  
Longitud: 24cm

De este modo se estima un volumen de tierra de:

1 adobe:  $7 \times 10 \times 24 \text{ cm} = 0.7 \times 1 \times 2.4 \text{ dm} = 1.68 \text{ dm}^3$   
1 fila =  $6.5 \text{ adobes} = 6.5 \times 1.68 = 10.92 \text{ dm}^3$   
 $10.92 \text{ dm}^3 \times 21 \text{ filas} = 229.32 \text{ dm}^3$  (1 hilera de espesor)  
Espesor:  $50/10 = 5 \text{ hileras}$   
 $229.32 \times 5 = 1146.6 \text{ dm}^3 = 1146.6 \text{ l} = 1.145 \text{ m}^3 \text{ de tierra}$

Para todas estas operaciones se ha ignorado el coeficiente de esponjamiento de la tierra, ya que se desconoce. Por tanto se entiende que el volumen de tierra final será mayor que el calculado.

## 2.- OBTENCIÓN DE LA TIERRA

Ha sido preciso acotar el área de estudio, quedando delimitada la misma por las zonas de Valencia, Castellón y Alicante. Su elección ha sido en base a la cercanía y posibilidad de obtención de las muestras de tierra. Un gran factor limitante ha sido el modo de transporte de la tierra, teniendo que utilizar el vehículo personal para el transporte de los capazos de tierra.

Aunque el fin de la arquitectura de tierra busca ofrecer la posibilidad de una construcción con el material del que se dispone en el lugar de la construcción, a efectos de este estudio resulta imposible determinar un tipo de tierra estándar para cada zona, ya que por motivos evidentes las propiedades de la misma no son iguales ni tan siquiera en zonas próximas entre ellas. Por este motivo se ha establecido como criterio en

Ref. 39. C. Mileto, F. Vegas, J.M. López  
Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de la torre Bofilla de Bétera (Valencia)  
Fuente. Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 81-96, julio-septiembre 2011 ISSN: 0020-0883 e ISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.10.014

la elección de tierras que estas provengan de zonas donde exista constancia de arquitectura de tierra en el pasado. De este modo:

### Valencia

La tierra se ha obtenido de la zona de Bétera, donde existe la Torre Bofilla, de origen árabe. Llegar a la base de la torre es tarea imposible dado que ese encuentra en zona considerada arqueológica y adecuadamente protegida. Se solicitó permiso al ayuntamiento de Bétera, quien se implicó amablemente en aportar información acerca de las zonas de donde era posible extraerla. Lamentablemente las zonas más próximas a la torre fuera de la zona arqueológica son de propiedad privada, y localizar a los diferentes propietarios para solicitarles permiso iba a ser una tarea que requeriría excesivo tiempo. Sin embargo con los planos aportados por el Ayuntamiento de Bétera se localizó una pequeña zona en las inmediaciones de la torre de titularidad pública y de las que es responsable la Junta de Montes de Bétera. Se contactó con ellos y logramos nos concedieran permiso para la extracción <sup>40,41</sup>. De igual modo se informó y se solicitó permiso a la unidad de SEPRONA para evitar cualquier incidente.

### Proceso de extracción:

Se eliminó la primera capa de tierra con material orgánico. Unos 5-10cm. Se excavó y se extrajeron 10 capazos de tierra con capacidad de 30 litros. Por tanto aproximadamente 300 litros de tierra. Para esta tarea se trasladaron en 2 viajes, con 6 y 4 capazos respectivamente.

### Tratamiento:

La tierra contiene gran cantidad de elementos que no son útiles para el ensayo, tales como piedras, gravas y restos de vegetación que no ha sido eliminada en la primera capa. Por tanto se realizó un tamizado con un tamiz de diámetro de 3mm. De este tamizado se separaron las piedras, las gravas y la tierra

útil.

### Alicante

En este caso la tierra se ha obtenido de una zona muy próxima a la provincia de Alicante, del municipio de Carrícola, situado en la Vall d'Albaida. La elección de este municipio ha sido por la cercanía personal con la Alcaldía, Susana Cháfer, con quienes hemos trabajado en el pasado para la construcción del Horno Moruno de Carrícola. En este municipio existe una torre árabe llamada Torre de Carrícola, restaurada y visible. Por los mismos motivos que en el caso anterior la tierra debió ser extraída desde una zona cercana a la que se accede desde una pista forestal, pero muy próxima a la torre árabe de Carrícola.

### Proceso de extracción:

En una zanja existente se eliminó la primera capa de tierra con material orgánico. Unos 5-10cm.

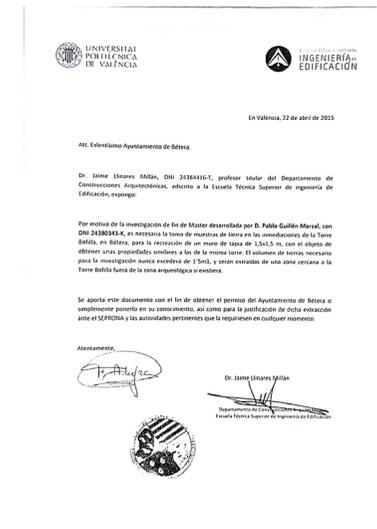
Posteriormente se excavó y se extrajeron un total de 9 capazos de tierra con capacidad de 30 litros. Por tanto aproximadamente 270 litros de tierra. Para trasladar la tierra se hicieron 3 viajes de 3 capazos cada uno.

### Tratamiento:

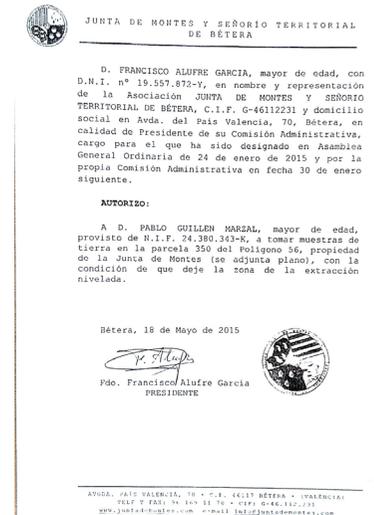
La tierra contiene gran cantidad de elementos que no son útiles para el ensayo, tales como piedras, gravas y restos de vegetación que no ha sido eliminada en la primera capa. Por tanto se realizó un tamizado con un tamiz de diámetro 3mm. De este tamizado se separaron las piedras, las gravas y la tierra útil.

### Castellón

Se hicieron los trámites para acceder a la torre árabe de Almenara, sin embargo no fue posible establecer contacto con el Ayuntamiento, lo que sumado a la escasez de tiempo hizo que tuviéramos que dejar esta zona pendiente de estudio por el momento.



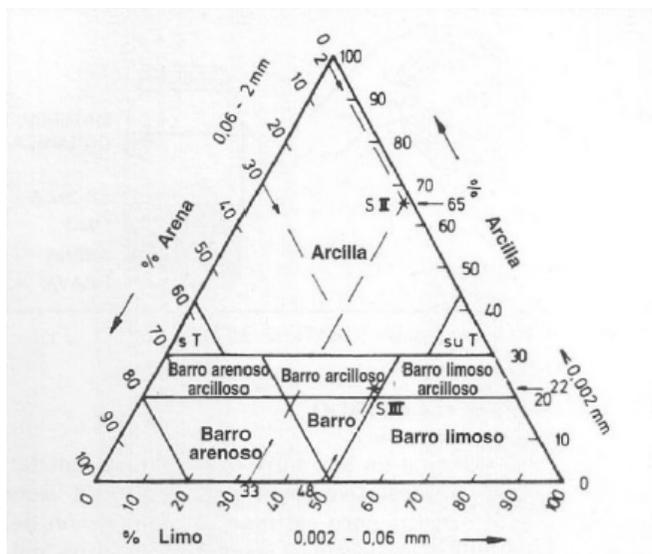
Ref. 40. Solicitud de permiso para la investigación firmada por D. Jaime Linares Milla. Fuente. Elaboración propia



Ref. 41. Permiso para la investigación firmada por Francisco Alufre García. Presidente de la Asociación Junta de Montes y Señorío Territorial de Bétera. Fuente. Elaboración propia



Tratamiento de la tierra antes de su uso para la fabricación de adobes. En la imagen la tierra procedente de Carrícola. Fuente. Elaboración propia



Ref 42. Distribución granulométrica según diámetro de los áridos. Fuente. Gernot Minke

### 3.- ANÁLISIS PREVIO DE LAS MUESTRAS

#### Distribución granulométrica

Casi todos los tipos de tierra sirven para la construcción de muros de adobe o tapial. Sin embargo es posible mejorar las propiedades en función de la necesidad, utilizando arena o arcilla a modo de correctores.

Los adobes deben tener suficiente arena gruesa como para alcanzar una alta porosidad (resistencia a las heladas), y alta resistencia a la compresión con un mínimo de retracción. Pero a la vez deben contener suficiente arcilla para tener una buena cohesión que permita la manipulación de los adobes.

Destacan dos máximas:

- Lo ideal es encontrar una tierra a la vez arenosa y arcillosa.*
- Se debe tener cuidado de las tierras limosas porque una vez secas no resisten al agua.*

Los distintos autores que han escrito sobre el tema recomiendan dosificaciones distintas. A pesar de esto, en el gráfico se puede comprobar una coincidencia, y que la dosificación es similar para adobe y para tapial.

Basándonos en el Diagrama de Distribución Granulométrica <sup>42</sup> desarrollado por Voth en 1978, se establece que en caso de desear estabilizar la mezcla de barro, podemos agregar diferentes tipos de tierra para obtener una proporción adecuada. Buscaríamos una proporción que se encuentre dentro de la franja sombreada en las siguientes imágenes, en las que cada triángulo corresponde a adobe y tapial respectivamente (ver imagen <sup>43</sup>).

La norma común de la tierra establece que:

- Una proporción muy alta de arcilla producirá fisuras en la muestra, reduciendo su resistencia a la erosión.
- Una proporción muy alta de arena aumentará su tendencia a la disgregación.
- La presencia de materia orgánica (mayor del 3%) producirá descomposición.

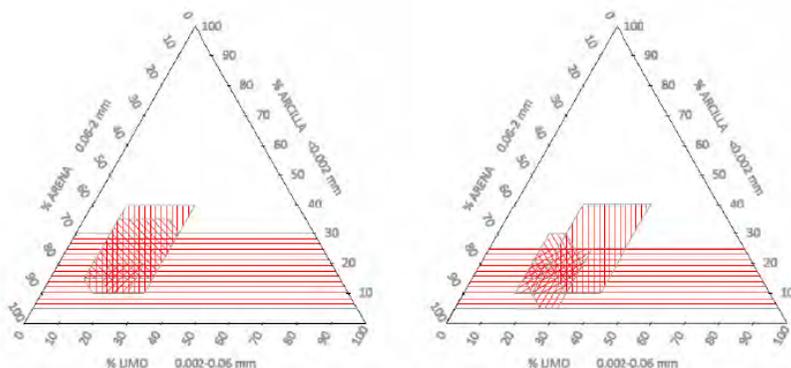
Como norma general se establece que la proporción idónea de arena, arcilla y grava es:

#### Adobe

<b>Arena</b>	55 – 75%
<b>Limo</b>	10 – 28%
<b>Arcilla</b>	15 – 18%

#### Tapial

<b>Grava</b>	0-15%
<b>Arena</b>	40-50%
<b>Limo</b>	20-35%
<b>Arcilla</b>	15 – 25%



Ref 43. Gráfico recopilatorio de las dosificaciones recomendadas para construcción con adobe y tapial según diversos autores. Fuente. Elaborado según gráfico de Macarena GAete con datos de John Norton, Paul Graham Mc.Henry, Instituto CRATerre, Gernot Minke, Julio Vargas, Jorge de Olarte, Hugo Pereira, Red Terra, e incluye la Norma peruana E.080)

En una situación de disponibilidad de medios y recursos, nos basaríamos en el documento de 1986 del Consejo Superior de Investigaciones Científicas desarrollado por María José Guinea (equipo V.M.B.C.) "Información relativa a normas relacionadas con la tierra como material de construcción" y realizaríamos los ensayos siguientes para determinar las características de nuestras muestras:

- Determinación de «Finos». NORMA UNE-7.135.
- Preparación de la «Pasta Normalizada». DIN. 18.952-Hoja 2.
- Determinación de la «Humedad» mediante secado en estufa. MNE. 7.328.75
- «Preparación de muestra» para los ensayos de suelos. UNE. 7.327.75.

- Granulometría «Cedazos y Tamices».UNE. 7.050.
- Determinación del «Límite Líquido» por el método de la cuchara. UNE. 7.377.75.
- Determinación del «Limite Plástico» de un suelo. UNE. 7.378.75.
- Determinación del «Peso específico» de un terreno. UNE. 7001.
- Determinación de la «Porosidad» de un terreno. UNE. 7045.
- Determinación del «Limite de retracción» de un terreno. UNE. 7016.
- Ensayo de apisonado de suelos por el método «Proctor modificado». UNE.7.365.79.
- Determinación del contenido de «Materia orgánica» en los suelos. MNE. 7.368.77.
- Reconocimiento de «Sulfatos» solubles en los suelos. UNE. 7.369.75.
- Contenido de «Sulfatos» solubles en los suelos. MNE. 7.370.75.
- «Toma de muestras superficiales» de suelo de tipo inalterado. MNE. 7.371.75.
- «Relación entre los tamices» de la serie UNE. 7050 y los de varias series extranjeras.MNE. 7177.
- «Granulometría» de suelos por tamizado. NLT-104/72.
- Densidad «in situ» por el método de la arena. NLT-109/72.
- «Equivalente de arena». NLT -113/72.
- «Carbonates» en los suelos por el método del calcímetro de Bernard. NLT-116/72.
- «Material que pasa el tamiz 0,080 UNE» en los áridos. NLT -152/72.
- «Densidad relativa y absorción de áridos finos». NLT-154/76.
- «Densidad mínima de una arena». NLT -204/72.
- «Densidad máxima y humedad óptima de las mezclas de suelo-cemento, mediante apisonado con masa». NLT 301 /72.
- «Congelación - deshielo de probetas desuelo - cemento». NLT - 303/72.

## Ensayos de campo

### Valencia

A falta de un método más científico para la obtención de dosificaciones de la tierra, utilizaremos los ensayos de campo. Normalmente es el primer paso a dar una vez obtenida la tierra previo a los ensayos de laboratorio, que si bien no son muy exactos, son en ocasiones suficientemente exactos para estimar la composición del barro y determinar si la tierra es aceptable para una aplicación específica.

#### 1.-Ensayo del olor:

El barro puede tener olor a moho si contiene humus o materia orgánica en descomposición. En estado óptimo es inodoro. El resultado de la prueba no puede ser registrable en este texto, sin embargo se comprueba. Resultado: estado sano.

#### 2.-Ensayo de la mordedura:

Al morder levemente una muestra de barro húmedo se detecta si es arenoso o arcilloso por la sensación que produce. Si la sensación es desagradable será arenoso. Si la sensación es pegajosa, suave o harinosa será arcilloso. El resultado de la prueba no puede ser registrable en este texto, sin embargo se comprueba. Resultado: Pegajoso. Arcilloso.

#### 3.-Ensayo del lavado:

Se comprueba frotando barro húmedo entre las manos. Si las partículas se sienten de forma clara significa que es arenoso o gravoso. Si la muestra es pegajosa pero las manos se limpian fácilmente al frotarlas será limoso. Si la muestra es pegajosa y se precisa de agua para su limpieza, será arcilloso. Resultado: Arcilloso.

#### 4.-Ensayo del corte:

Se moldea una muestra en forma de bola y se corta con un cuchillo. Si la superficie interior es brillante significará que tiene alto contenido de



3



4



5



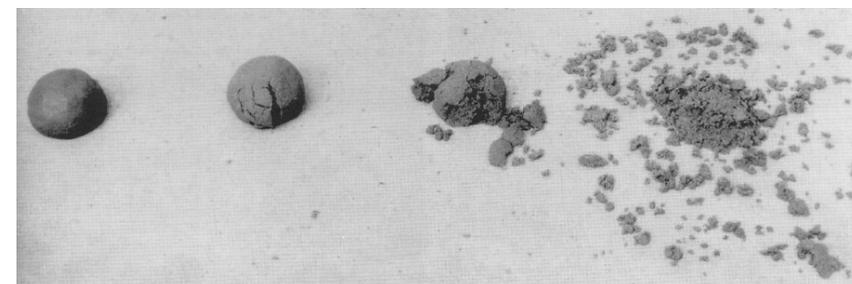
6



7



8



Ref. 44. Diferentes resultados del ensayo de caída de bola.  
Fuente. Gernot Minke



1



2



3



4



6



5



7 y 8

Ensayos de campo de la tierra recogida en Carrícola  
Fuente propia

arcilla. Si es opaca indica que tiene alto contenido de limo.

Resultado: Arcilloso.

#### 5.-Ensayo de sedimentación:

Introducir tierra en un frasco y agitar. Las partículas mayores se asentarán primero en el fondo y las más finas arriba. Mediante esta estratificación se puede estimar la proporción de componentes. Gernot Minke recomienda no interpretarlo como la proporción que existe de arcilla, limo, arena y grava, demostrando que el error puede llegar a ser de 1700%.

#### 6.-Ensayo caída de bola:

Formando una bola de 4cm de diámetro mínimamente húmeda se deja caer de una altura de 1.5m. Cuanto mayor sea el aplanamiento y la cantidad y tamaño de las grietas, menor capacidad aglutinante tendrá. Se acompaña una escala comparativa.<sup>44</sup>

Resultado: Se encuentra entre los modelos 2 y 3.

#### 7.-Ensayo consistencia:

Se forma un rollo de 3mm de diámetro a partir de una bola de 3cm. Si se generan fisuras grandes o se parte se humedece gradualmente hasta que sea posible crear el rollo. Si no es posible posteriormente hacer de nuevo la bola, es que tiene alto contenido en arena. Si resulta posible y al apretarla con los dedos esta opone resistencia, significará que tiene alto contenido en arcilla. Si se deshace fácilmente, la proporción de arcilla es baja.

Resultado: Un punto intermedio entre alto contenido de arcilla y bajo.

#### 8.-Ensayo de cohesión:

Se humedece una muestra lo justo para formar un rollo de 3mm de diámetro sin que se parta. Se deja colgar tanto como sea posible. Si se alcanzan los 20cm tiene exceso de arcilla. Si se parte al comienzo, tendrá exceso de arena.

Resultado: tiende a falta de arena.

El aspecto en seco de la tierra utilizada es terroso. Una vez tamizada encontramos que la tierra es muy arcillosa y plástica. Un problema añadido resulta del momento de desencofrar en las adoberas, ya que dada la alta plasticidad de la tierra humedecida esta se adhiere a las paredes de la adobera, deformándose el bloque en su extracción. Se utiliza un plástico a modo de aislante para su extracción correcta del molde. La compactación en la tapia es adecuada, con la pequeña dificultad de que al añadir agua a cada tongada la tierra se hace pastosa debido a la arcilla contenida, formando en ocasiones una pasta que se adhiere al pisón. Sin embargo la construcción avanza sin mayores complicaciones.

### Ensayos de campo

#### Alicante

Ya se han comentado en el punto anterior las descripciones de cada uno de los ensayos de campo, por tanto resumiremos únicamente los resultados.

1.-Ensayo del olor: No muestra olor a humus.

2.-Ensayo de la mordedura: Textura arenosa.

3.-Ensayo del lavado: la mayor parte del barro desaparece, dejando un leve rastro que debe ser retirado con agua. Arenosa con muy baja (o escasa) cantidad de arcilla.

4.-Ensayo del corte: Superficie opaca. Arenoso.

5.-Ensayo de sedimentación: Se diferencian los diferentes tipos de sedimento.

6.-Ensayo de caída de bola: Rotura muy frágil y disgregada. Arenosa.

7.- Ensayo de consistencia: No es posible. Excesivamente arenosa.

8.-Ensayo de cohesión: No es posible. Excesivamente arenosa.

El aspecto es arenoso grueso disgregado. Nos damos cuenta de que muy probablemente sea

necesario agregar una proporción de tierra arcillosa para estabilizar la muestra, sin embargo optamos por no hacerlo debido a que el objetivo es ensayar exactamente esa tierra. En otras condiciones la muestra se habría mezclado con arcilla para mejorar sus propiedades.

La compactación en la tapia es muy buena y su moldeado en la adobera y desmoldado funciona perfectamente.

#### 4.-CONSTRUCCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se han construido dos tipos de muestra diferentes para cada procedencia: bloque de adobe y bloque de tapia. El bloque de tapia y de tapial (1.5x1.5m) se proyectó en el laboratorio de Fuego de AIDICO, para hacer los ensayos de resistencia y reacción al fuego.

Las muestras de adobe y tapial (0.22x0.35x1) se proyectaron en el laboratorio de acústica de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación para el resto de ensayos y simulaciones.

Puesto que los ensayos van a ser comparativos ha sido preciso ajustar las muestras para que tengan las mismas medidas. Sin embargo nos damos cuenta de que las exigencias de volumen de tierra para el levantamiento de la tapia y de la fábrica de adobe son excesivas para los recursos que disponemos, tanto de extracción de tierra como de transporte. Por tanto se hace un nuevo planteamiento en el que, puesto que se va a ensayar tierra de tres procedencias diferentes, se va a variar la altura de 90cm a 50cm para componer tres hileras de bloques, empelando una hilera para cada tipo de tierra. De este modo la hilera inferior corresponderá a Valencia (Bétera), la intermedia a Alicante (Carrícola) y la superior corresponderá a Castellón (Almenara). De este modo logramos reducir las exigencias en volumen a un tercio del original, resultando una cantidad menor a la inicial.

De modo que el redimensionamiento resultante es:

- Altura: 50cm
- Profundidad: 50cm
- Longitud: 100cm

#### Tapial:

#### El encofrado

Se contactó con diferentes estudiosos de la arquitectura de tierra para la obtención de un encofrado adecuado, tales como Fermín Font y Pere Hidalgo <sup>45</sup> (artífices del libro "El tapial: Una técnica constructiva milenaria"), diferentes foros de internet y redes sociales y el IRP (Instituto de Restauración y Patrimonio) de la Universidad Politécnica de Valencia a través de Salvador Tomás Márquez y Fernando Vegas, sin embargo la complejidad de conseguir un encofrado que se adaptara a nuestras condiciones específicas nos llevaron a construir nuestro propio encofrado de madera a partir de palets.

Esta experiencia de construcción fue muy útil para comprobar la complejidad que acarrea este sistema constructivo desde su inicio. Las medidas del encofrado son de 25x60x120cm (profundo, alto, largo). Se crearon dos aberturas para el paso de las agujas y unas guías laterales para el paso de los costeros. Su elaboración supuso unas 10h de trabajo y un coste en materiales de 13 euros en cuanto a clavos y una sierra para madera.

#### La muestra AIDICO

Una vez reducida la cantidad de tierra necesaria y con las nuevas dimensiones, se comienza a construir la primera muestra de la primera hilada del muro en el marco de ensayo al fuego en el laboratorio de AIDICO.

Se comprueba que la base del marco es de inferior tamaño, 22cm, sin embargo nos interesa tratar de mantener los 50cm de espesor para



**Ref. 45. Fermin Font Mezquita, Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universitat Jaume I de Castellón**

*Profesor de las asignaturas Construcción. Fundamentos I y de Intervención en Patrimonio Arquitectónico del Grado de Arquitectura Técnica en el Área de Construcciones Arquitectónicas. Profesor en de la asignatura Fundamentos de la Edificación del Master Sostenibilidad y Eficiencia Energética.*

*Profesor del curso de Experto en Rehabilitación y Gestión del Mantenimiento de Edificios en el Contexto de la Renovación y Regeneración Urbanas semipresencial de 150 horas de duración.*



Proceso de ejecución de un tapial (encofrado) y detalles  
Fuente. Elaboración propia

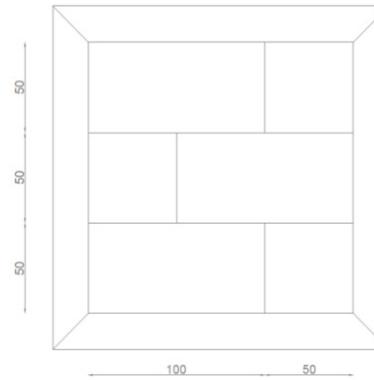
*"el espesor mínimo de esta fábrica (tapia) es de 45 cm., el más corriente, 50 cm"*

*Próbico Arquitectura Estudio*



Modelización 3D y planeamiento del ensayo a fuego del muro de tapia.

Fuente. Elaboración propia



Medidas del marco de ensayo al fuego Normalizado y esquema de la disposición.

Fuente. Elaboración propia

ceñirnos a casos de tapia existentes y, sobre todo, facilitar el levantamiento del muro con una menor esbeltez.

Para su ejecución colocamos una tabla de madera aumentando la base, pero pronto nos damos cuenta de que no es suficiente y falla la estabilidad durante el proceso de apisonado. Este es un problema grave, ya que en caso de continuar el levantamiento del muro, este será débil en su base y aumenta el riesgo de desplome precipitado tanto antes del ensayo como durante el mismo. Nos vemos obligados a retroceder y considerar una nueva dimensión en cuanto al espesor.

Ninguna normativa nos limita el espesor que debieran tener las muestras para nuestros ensayos en bloque, sin embargo la esbeltez del bloque de tapia si sería limitante, rondando los 25cm. Por debajo de este valor es muy difícil crecer en altura sin dañar los elementos inferiores durante el proceso de apisonado. Otro factor limitante es el establecido para la ejecución de los ensayos. Por ejemplo, para los ensayos de acústica es preciso que el muro tenga un espesor de mínimo 25cm.

Finalmente será la dimensión del marco de ensayo al fuego quien nos limitará el espesor de la tapia: 22cm. Resultando las medidas definitivas para los ensayos a fuego:

- Altura: 50cm
- Profundidad: 22cm
- Longitud: 100cm

Y la estimación de volumen necesaria para el tapial es de:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ bloque: } & 0.5 \times 0.22 \times 1 \text{ m} = 5 \times 2.2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 = 110 \text{ dm}^3 \\
 1.5 \text{ bloques: } & 110 \text{ dm}^3 \times 4.5 = 165 \text{ dm}^3 = 0.165 \text{ m}^3 \\
 & 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}
 \end{aligned}$$



Ajuste del tapial en el marco Normalizado para el ensayo de resistencia al fuego en AIDICO. Se comprueba que el espesor de 50cm no es posible emplearlo. No existen en las instalaciones otro marco apropiado que se ajuste a este ensayo.

Fuente. Elaboración propia



Ancho admisible del marco de ensayo Normalizado.

Fuente. Elaboración propia

Total= 165 litros ó 0.165 m<sup>3</sup> de tierra por cada procedencia.  
 Total volumen= 495 litros ó 0.495m<sup>3</sup>

>>El 1 de mayo de 2015 recibimos la triste noticia por parte del administrador concursal de AIDICO de que a causa de los problemas financieros que atraviesa la entidad es muy probable que cierre próximamente sin saber concretar una fecha. En vista de esta noticia nos vemos obligados a replantear el organigrama y comenzar con el resto de ensayos en la UPV, a la espera de que la situación se aclare. No podemos arriesgarnos a quedarnos con la tapia a mitad de construcción en AIDICO.<<

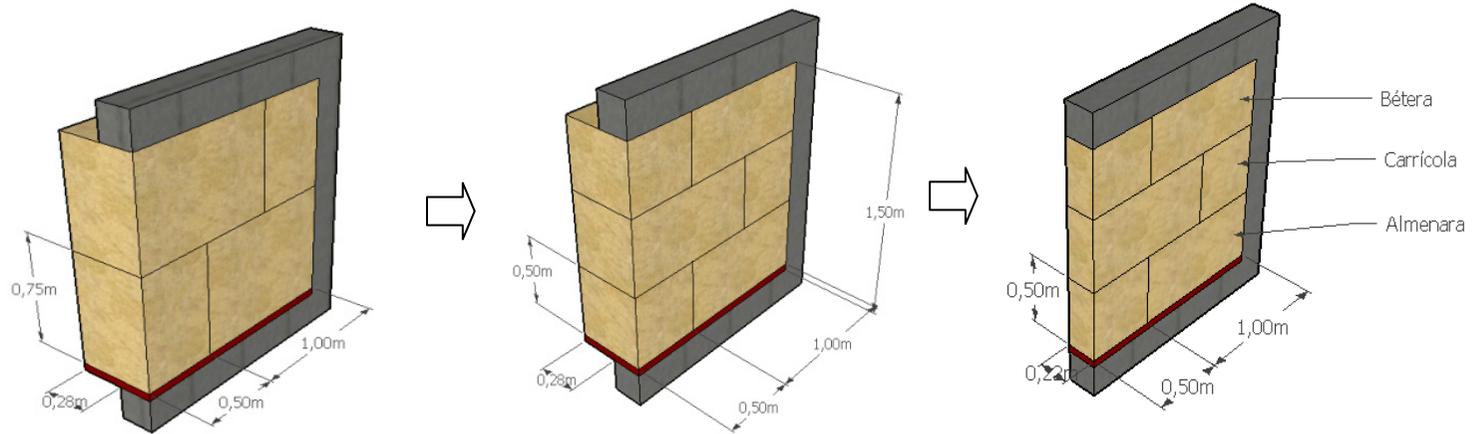
### ETSIE (UPV)

En vista de la nueva situación y el temor por quedarnos a mitad en el levantamiento del muro, decidimos continuar la investigación en el laboratorio que nos cede el departamento de acústica de la ETSIE. En este laboratorio se harán el resto de ensayos, y una vez esté estabilizada la situación en AIDICO volveremos para continuar con los ensayos de resistencia y durabilidad al fuego.

Las muestras en el laboratorio se levantan sin mayor complicación, salvo las propias que conlleva levantar un bloque de tapia. El esfuerzo físico tanto para transportar la tierra y cribarla, como el proceso de apisonado es inmenso.

Para estas muestras no precisamos una altura de 50cm como se exigía en el ensayo al fuego, donde era exclusivamente requisito para poder completar el muro de tapia. En este caso se trata de muestras individuales, por tanto se reduce la altura a 35cm, resultando:

Altura: 35cm  
 Profundidad: 22cm  
 Longitud: 100cm



Ancho admisible del marco de ensayo Normalizado.  
 Fuente. Elaboración propia

Siendo el volumen de tierra requerido para cada muestra de tapia:

1 bloque: 0.33 x 0.22x1m= 3.3x2.2x10dm  
 =72.6dm<sup>3</sup>  
 1dm<sup>3</sup> = 1 litro  
 Total= 72.6 litros ó 0.0726 m<sup>3</sup> de tierra por cada procedencia.

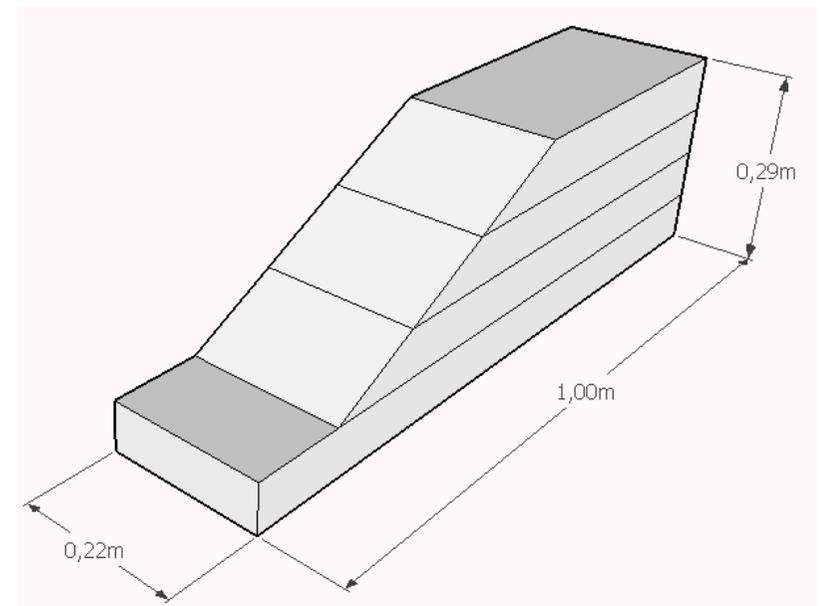
Las exigencias estimadas de volumen actuales respecto a las iniciales han variado considerablemente, sin embargo, puesto que las iniciales se hicieron sin considerar el coeficiente de esponjamiento, el hecho de tener tierra en exceso fue muy oportuno.

### Adobe

#### El encofrado

El encofrado del adobe, llamado adobera, ha sido construido por el autor, al igual que el tapi-al. La madera empleada ha sido la misma, por tanto no existirán diferencias en cuanto a la absorción de agua añadida, etc.

Por limitaciones se construyó una única adobera. Se necesitó de un espacio suficiente donde poder amasar la tierra y donde poder secar las muestras. Por este motivo el espacio escogido fue en la vivienda del autor.



Ancho admisible del marco de ensayo Normalizado.  
 Fuente. Elaboración propia



Piezas de adobe con origen Carrícola colocadas a secar.  
Fuente. Elaboración propia



Adobera con plástico para un mejor desmoldado.  
Fuente. Elaboración propia

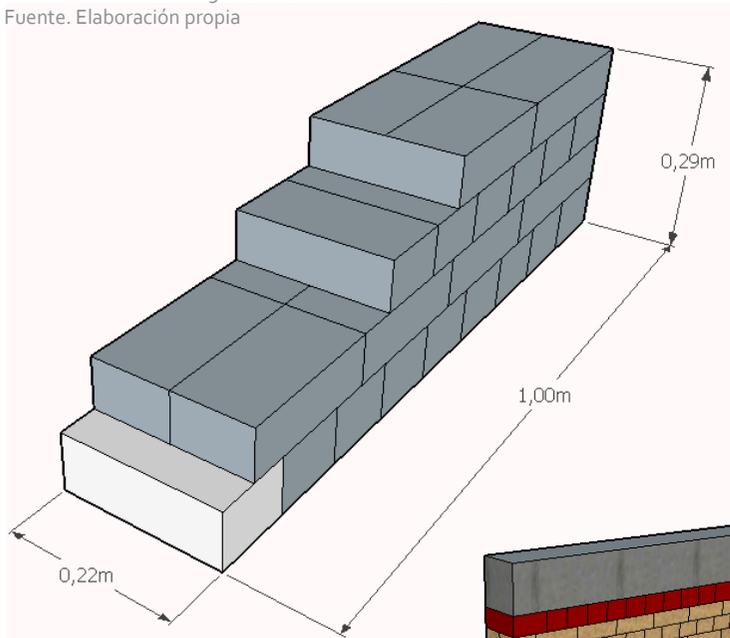
### La muestra

Las muestras de adobe se adaptaron a las de tapia para lograr configurar el mismo volumen. Revisando documentación existente acerca de los adobes, muchos autores coinciden en que los adobes tienen unas medidas proporcionales en cuanto a su longitud y espesor (relación  $\frac{1}{2}$ ). De este modo los adobes tuvieron unas medidas de 22x11x7.5cm, a las que habría que añadir un espesor de 0.5cm entre cada hilada horizontal y vertical, así como 0.5cm de espesor en cuanto a la capa de revestimiento de barro.

El bloque lo conformarán 21 bloques colocados del modo que indica la imagen, resultando finalmente un bloque compacto de iguales dimensiones que el de tapia.

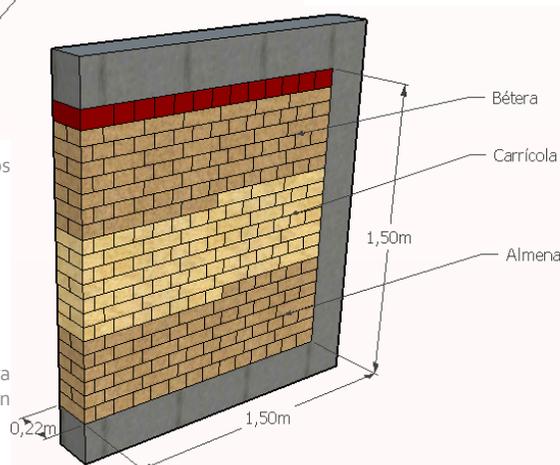
Durante el mes de Junio de 2015 una fuerte lluvia cayó sobre Valencia durante 3 días seguidos. En ese momento las muestras de adobe procedentes de Bétera (valencia) estaban en su proceso de secado, que había empezado dos días antes. Sin embargo, pese a la lluvia y el poco tiempo de secado previo este fue el aspecto que mostraban al tercer día de lluvias.

Su aspecto no era tan limpio y de superficies suaves como podría esperarse, sin embargo soportaron la lluvia perfectamente aún con únicamente dos días de secado. Esto nos da una idea de su durabilidad en unas condiciones de correcta ejecución y mantenimiento.



Simulación 3D del bloque de adobe para ensayos en la UPV.  
Fuente. Elaboración propia

Medidas de la pieza de adobe tipo fabricada. Origen Bétera  
Fuente. Elaboración propia



Simulación 3D del muro de muestras de adobe para ensayos en el laboratorio de resistencia al fuego en AIDICO.  
Fuente. Elaboración propia





Secuencia de diferentes momentos durante la construcción de las muestras de adobe y tapial.  
Fuente. Elaboración propia



Muestras terminadas. de izquierda a derecha: Tapia de Carrícola, Adobe de Carrícola, Tapia de Bétera, Adobe de Bétera.  
Fuente. Elaboración propia



Casa Posada Monedero. En la Aldea, Municipio de La Estrella, Area Metropolitana de Medellín.  
Fuente. Elaboración propia

## 5.- PROGRAMACIÓN DE ENSAYOS Y DATOS DE BASE

### PROGRAMACIÓN DE LOS ENSAYOS

Para conocer con el mayor detalle posible las propiedades de las muestras vamos a someterlas a los siguientes ensayos y estudios:

- 1-Estudio y simulación de resistencia sísmica
- 2-Ensayo de resistencia frente fuego y radiación calorífica
- 3-Ensayo de reacción frente al fuego
- 4-Estudio de la capacidad, conductividad y la transmitancia térmica
- 5-Estudio, simulación y simulación de transmisión acústica
- 6-Estudio del efecto del Vapor
- 7-Estudio de resistencia estructural

El desarrollo de los diferentes ensayos y simulaciones han sido posibles gracias a la colaboración con las entidades AIDICO y la Universidad Politécnica de Valencia, aunque no todos han podido ser realizados debido a problemas de tiempo y logísticos.

### DATOS BASE

Para los ensayos partimos de unos datos base:

#### Valencia

#### Cálculo peso bloque adobe:

Peso total= peso bloques+ peso juntas

Peso 21 bloques adobe=  $21 \times 2,8 = 58,8\text{Kg}$

Peso barro en juntas:

Volumen 21 bloques adobe:

$0,001815 \times 21 = 0,038115 \text{ m}^3$

Diferencia respecto volumen total del bloque:

$0,0495 \text{ m}^3 - 0,038115 \text{ m}^3 = 0,011385 \text{ m}^3$  volumen barro para las juntas

Peso del barro en las juntas:

Si  $D=m/v \rightarrow m = D \times V \rightarrow m = 1542,69 \times 0,011385 = 17,56352565 \text{ kg}$

#### Peso total del bloque de adobe de Bétera:

$17,56352565 + 58,8 = 76,36352565 \text{ Kg}$

#### Cálculo de peso del bloque de tapia:

$D=m/V \rightarrow m = D \times V \rightarrow$

$m = 1877,55 \times 0,0495 = 92,94 \text{ kg.}$

#### Alicante

#### Cálculo peso bloque adobe:

Peso total= peso bloques + peso juntas

Peso 21 bloques adobe=  $21 \times 2,3 = 48,3\text{kg}$

Peso de barro en juntas:

Volumen 21 bloques adobe:

$0,001815 \times 21 = 0,038115 \text{ m}^3$

Diferencia respecto volumen total del bloque:

$0,0495 - 0,038115 = 0,011385 \text{ m}^3$  volumen barro para las juntas

Peso del barro en las juntas:

Si  $D=m/v \rightarrow m = D \times V \rightarrow m = 1267,21 \times 0,011385 = 14,42\text{kg}$

#### Peso total del bloque de adobe de Carrícola:

$14,42 + 58,8 = 62,72\text{Kg}$

#### Cálculo de peso del bloque de tapia:

$D=m/V \rightarrow m = D \times V \rightarrow m = 1795,54 \times 0,0495 =$

$88,88\text{kg.}$

#### Castellón

Finalmente no se logró obtener muestras de la zona de Castellón, por tanto no disponemos de los datos y no podremos obtener resultados de ensayos de esta zona.



Barrio de la ciudad de Shibam, en Yemen.  
Fuente.UNESCO

VALENCIA	Ladrillo adobe	Bloque Adobe	Bloque Tapial
Dimensiones (l x a x h) m	0,22 x 0,11 x 0,075	1 x 0,22 x 0,225	0,11 x 0,22 x 0,225
Volumen (l x a x h) m <sup>3</sup>	0.001815	0,0495	0,0495
Masa (kg)	2,8	76.36	92.93
Densidad (D = m/v)kg/m <sup>3</sup>	1542,69	1542,69	1877,55

ALICANTE	Ladrillo adobe	Bloque Adobe	Bloque Tapial
Dimensiones (l x a x h) m	0,22 x 0,11 x 0,075	1 x 0,22 x 0,225	0,11 x 0,22 x 0,225
Volumen (l x a x h) m <sup>3</sup>	0.001815	0,0495	0,0495
Masa(kg)	2,3	62,72	88.87
Densidad (D = m/v) kg/m <sup>3</sup>	1267,21	1267,21	1795,54

CASTELLÓN	Ladrillo adobe	Bloque Adobe	Bloque Tapial
Dimensiones (l x a x h) m	0,22 x 0,11 x 0,075	1 x 0,22 x 0,225	0,11 x 0,22 x 0,225
Volumen (l x a x h) m <sup>3</sup>	-	-	-
Masa (kg)	-	-	-
Densidad (D = m/v) kg/m <sup>3</sup>	-	-	-

Tablas resumen de las dimensiones de las muestras Fuente. Elaboración propia

	Ladrillo adobe		Bloque Adobe		Bloque Tapial	
	<i>Masa</i>	<i>Densidad</i>	<i>Masa</i>	<i>Densidad</i>	<i>Masa</i>	<i>Densidad</i>
<b>Valencia</b>	2,8	1542,69	76,36	1542,69	92.93	1877,55
<b>Alicante</b>	2,3	1267,21	62,72	1267,21	88.87	1795,54
<b>Castellón</b>	-	-	-	-	-	-

Tabla resumen comparativa de las dimensiones en masa y densidad de las muestras. Fuente. Elaboración propia



## EUROCÓDIGO 8

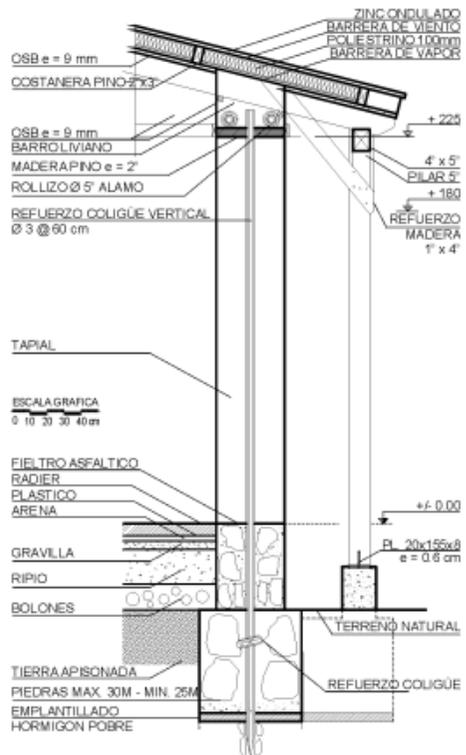
DISPOSICIONES PARA EL PROYECTO  
DE ESTRUCTURAS  
SISMORRESISTENTES

PARTE 3: TORRES, MÁSTILES Y CHIMENEAS

AENOR Asociación Española de  
Normatización y Certificación

8  
Parte 3

Ref.46. Portada del Eurocódigo 8  
Fuente. Documento de origen



Detalle constructivo de un cerramiento con refuerzo antisísmico. Combinación con otros materiales. Fuente. Gnot Minke. Construcción de viviendas antisísmicas de tierra.

## 6.- ENSAYOS

### 1.- Estudio y simulación de resistencia sísmica

#### El entorno y la Normativa

El estudio sísmico de estructuras de tierra es un muy amplio campo donde numerosos estudiosos e investigadores ya han desarrollado escritos e informes. Sin embargo gran cantidad de estos informes están enfocados principalmente a la rehabilitación y restauración del patrimonio y en pocas ocasiones encontramos referencias a obras de nueva construcción. Mucho más difícil resulta encontrar información de investigaciones respecto a obra nueva en tierra en la que se ha aplicado tecnología actual, pero no por ello es imposible. Autores como Gernot Minke, Sergio Contreras Arancibia, Mónica Bahamondez Prieto, Marcela Hurtado Saldías, Julio Vargas Neumann, Natalia Jorquera Silva y otros autores e investigadores ofrecen prácticas y técnicas para su ejecución anti sísmica.

Sin embargo el propósito de esta investigación consiste más bien en establecer cuáles son las limitaciones de la tierra cruda frente al riesgo sísmico sin necesidad de tecnología alguna. Dejaremos por tanto para más adelante ampliar esta temática e investigar acerca de combinaciones con materiales actuales y técnicas efectivas para este propósito.

En este punto nos basaremos en la Norma Sismorresistente del REAL DECRETO 997/2002, de 27 de septiembre y en el EUROCÓDIGO 8\*\* "Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes" <sup>46</sup>. Recomendamos su consulta en su totalidad ya que en este apartado únicamente incluiremos unas referencias para ponernos en situación.

La Norma Sismorresistente tiene como objeto proporcionar los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consid-

eración de la acción sísmica en el proyecto, construcción, reforma y conservación de aquellas edificaciones y obras a las que le sea aplicable de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 1.2 de la misma.

La consecución de los objetivos de esta Norma está condicionada, por un lado, por los preceptos limitativos del uso de los suelos dictados por las Administraciones Públicas competentes, así como por el cálculo y el diseño especificados en los capítulos siguientes, y por otro, por la realización de una ejecución y conservación adecuadas.

En el apartado 1.3.1 "Cumplimiento de la Norma en la fase de proyecto", se indica que "En la Memoria de todo proyecto de obras se incluirá preceptivamente un apartado de "Acciones sísmicas", que será requisito necesario para el visado del proyecto por parte del colegio profesional correspondiente, así como para la expedición de la licencia municipal y demás autorizaciones y trámites por parte de las distintas Administraciones Públicas".

Esto deja muy claro que las exigencias para la edificación mediante arquitectura de tierra deben ser bien justificadas frente al riesgo sísmico.

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de la figura siguiente <sup>47</sup>. Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad, g, la aceleración sísmica básica, ab-un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno- y el coeficiente de contribución K, que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

La lista del anejo 1 de la Norma Sismorresistente se detalla por municipios los valores de la aceleración sísmica básica iguales o superiores

a 0,04 g, junto con los del coeficiente de contribución K.<sup>445</sup>

En esta lista encontraremos sin dificultad el riesgo sísmico que existe en cada municipio, lo que puede resultar de gran utilidad en el momento de establecer nuestras limitaciones constructivas.

Como se puede comprobar tenemos unos valores muy pequeños para las zonas estudiadas, lo que representa un riesgo de seísmo muy pequeño:

Bétera: Carrícola:  
 ab= 0,07 ab= 0,06  
 k= 1,00 k=1,00

La aceleración sísmica de cálculo,  $a_c$ , se define como el producto:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

ab: Aceleración sísmica básica.  
 p: Coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda  $a_c$  en el período de vida para el que se proyecta la construcción.

Toma los siguientes valores:

-Construcciones de importancia normal:

$$p = 1,0$$

-Construcciones de importancia especial:

$$p = 1,3$$

S: Coeficiente de amplificación del terreno.

Toma el valor:

$$\begin{aligned} \text{Para } \rho \cdot a_b \leq 0,1 \text{ g} & \quad S = \frac{C}{1,25} \\ \text{Para } 0,1 \text{ g} < \rho \cdot a_b < 0,4 \text{ g} & \quad S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left( \rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right) \\ \text{Para } 0,4 \text{ g} \leq \rho \cdot a_b & \quad S = 1,0 \end{aligned}$$

Siendo:

C: Coeficiente de terreno. Depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación y se detalla a continuación.

## ANEJO 1

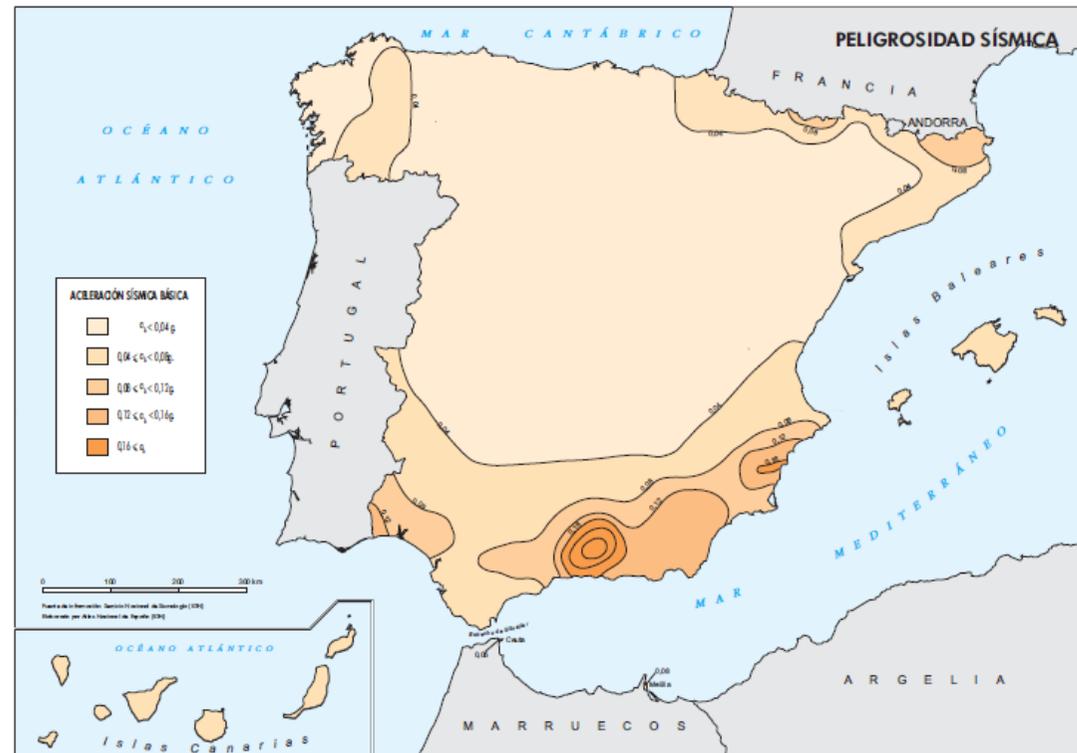
### VALORES DE LA ACELERACIÓN SÍSMICA BÁSICA $a_b$ Y DEL COEFICIENTE DE CONTRIBUCIÓN K DE LOS TÉRMINOS MUNICIPALES CON $a_b \geq 0,04 \text{ g}$ (organizado por comunidades autónomas)

TORREMANZANAS/TORRE			BENISODA	0,07	(1,0)
DE LES MAÇANES, LA	0,08	(1,0)	BENISUERA	0,07	(1,0)
TORREVIEJA	0,14	(1,0)	<b>BÉTERA</b>	<b>0,06</b>	<b>(1,0)</b>
VALL D'ALCALÀ, LA	0,07	(1,0)	BICORP	0,07	(1,0)
VALL DE EBO	0,07	(1,0)	BOCAIRENT	0,07	(1,0)
VALL DE GALLINERA	0,07	(1,0)	BOLBAITE	0,07	(1,0)
VALL DE LAGUAR, LA	0,07	(1,0)	BONREPÒS I MIRABELL	0,06	(1,0)
VERGER, EL	0,06	(1,0)	BUFALI	0,07	(1,0)
VILLAJOVOSA/VILA JOIOSA, LA	0,11	(1,0)	BUÑOL	0,06	(1,0)
VILLENA	0,07	(1,0)	BURJASSOT	0,06	(1,0)

#### PROVINCIA DE VALENCIA/VALENCIA

ADOR	0,07	(1,0)	CANALS	0,07	(1,0)
AGULLENT	0,07	(1,0)	CANET D'EN BERENGUER	0,04	(1,0)
AIELO DE MALFERIT	0,07	(1,0)	CARCAIXENT	0,07	(1,0)
			CÀRCER	0,07	(1,0)
			CARLET	0,07	(1,0)
			<b>CARRICOLA</b>	<b>0,07</b>	<b>(1,0)</b>
			CASTELLÓ DE RUGAT	0,07	(1,0)

Ref. 45. Anejo I de la Norma Sismorresistente.<sup>o</sup>



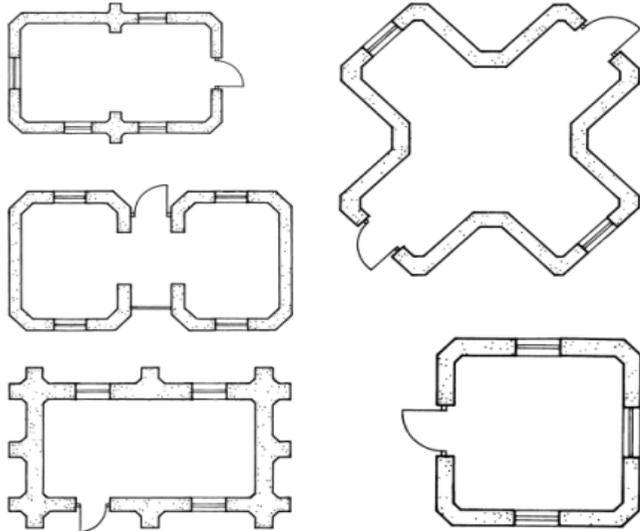
Ref. 47 Mapa de peligrosidad sísmica de España. Fuente. Ministerio de Fomento



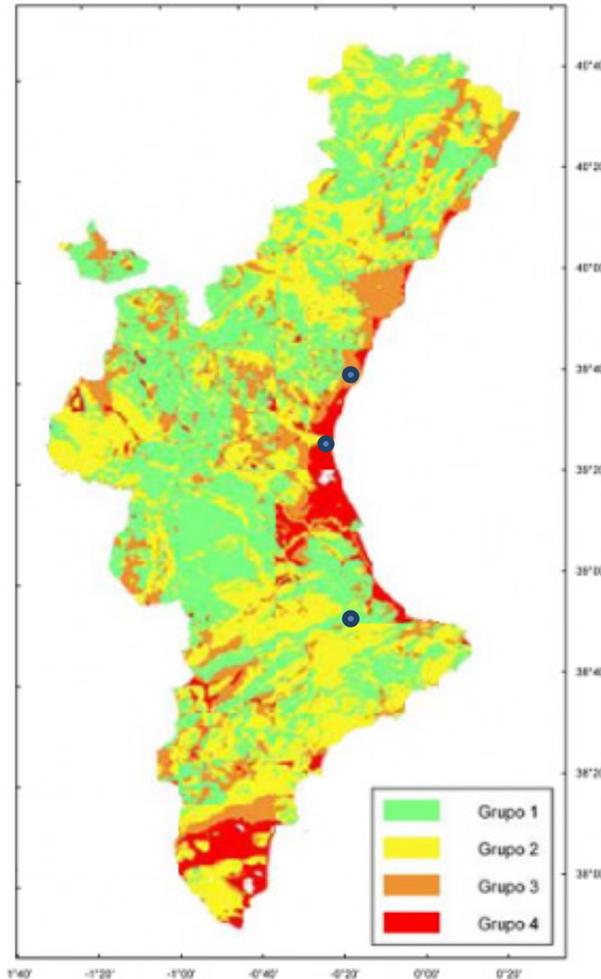
Ref. 48. **Julio Vargas Neumann**  
Asesor del Rectorado en Ingeniería Aplicada en la Pontificia Universidad Católica del Perú

Profesor del curso de Seminario de Construcción I. (Construcción con Tierra y Conservación del Patrimonio Cultural), en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Asesor de Tesis en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Diseño de Estructuras, Investigación en construcciones sismo resistentes de tierra. Diseño de Intervención en Conservación Patrimonial.



Diferentes soluciones de planta para edificios antisísmicos de tierra. Fuente. Gernot Minke. Construcción de viviendas antisísmicas de tierra.



Clasificación del terreno en la Comunidad Valenciana. De norte a sur, los puntos azules corresponden a Almenara, Bétera y Carrícola.. Fuente. Generalitat Valenciana

### Clasificación del terreno. Coeficiente del terreno.

En esta Norma, los terrenos se clasifican en los siguientes tipos:

- **Terreno tipo I:** Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla,  $v_s > 750$  m/s.
- **Terreno tipo II:** Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla,  $750 \text{ m/s} \geq v_s > 400$  m/s.
- **Terreno tipo III:** Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla,  $400 \text{ m/s} \geq v_s > 200$  m/s.
- **Terreno tipo IV:** Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla,  $v_s \leq 200$  m/s.

A cada uno de estos tipos de terreno se le asigna el valor del coeficiente C indicado en la tabla siguiente:

COEFICIENTES DEL TERRENO	
TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

Para obtener el valor del coeficiente C de cálculo se determinarán los espesores  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  y  $e_4$  de terrenos de los tipos I, II, III y IV respectivamente, existentes en los 30 primeros metros bajo la superficie.

Se adoptará como valor de C el valor medio obtenido al ponderar los coeficientes  $C_i$  de cada estrato con su espesor  $e_i$ , en metros, mediante

la expresión:

En aquellos casos especiales en que resulte  $C > 1,8$ , el espectro de respuesta definido con las reglas anteriores puede no ser aplicable a las construcciones con período fundamental mayor de TB.

En este caso, para  $T > TB$  se tomará  $\alpha(T) = 2,5$  a menos que se determine un espectro de respuesta específico del emplazamiento.

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$$

El coeficiente C no contempla el posible colapso del terreno bajo la estructura durante el terremoto debido a la inestabilidad del terreno como en el caso de arcillas sensibles, densificación de suelos, hundimiento de cavidades subterráneas, movimientos de ladera, etc.

En este punto no se ha podido comprobar in situ el tipo de terreno sobre el que trabajábamos debido a no disponer de la instrumentación necesaria, sin embargo podemos tomar como referencias los datos que arroja la Universidad de Alicante en cuanto al mapeo de tipologías de terreno en la Comunidad Valenciana:

De este modo se desprende que:

- Valencia: Zona sísmica 3
- Almenara: Zona Sísmica 3
- Carrícola: Zona sísmica 1

### El ensayo

Diferentes autores defienden las propiedades de la tierra frente al riesgo sísmico argumentando que estas pueden ser mejoradas mecánicamente mediante un diseño estructural adecuado, tal como aclaran en diferentes estudios de Craterre, de Olarte, Tolles et al, Minke, Neumann <sup>48</sup>, Barrios, Mc Henry y Norton.

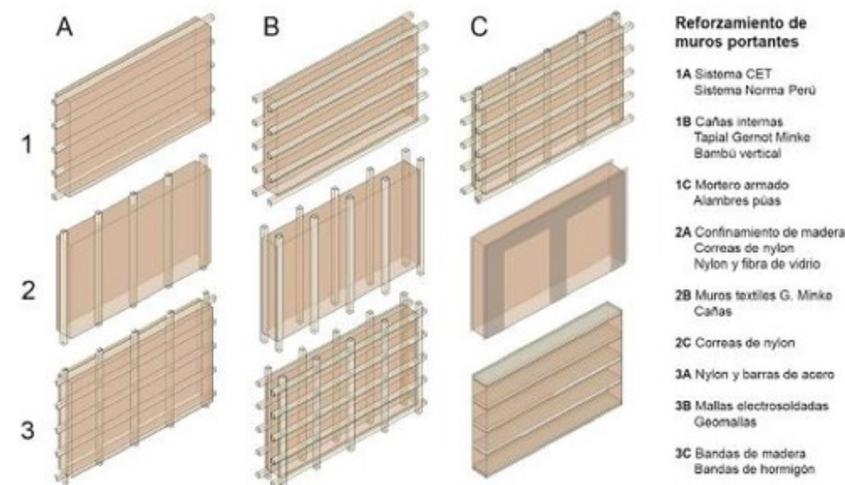
Existen numerosos estudios acerca de diferentes disposiciones constructivas y combinaciones con otros materiales para luchar contra los seísmos, especialmente en sud américa y en

especial Chile y Perú, países con un gran número de seísmos y donde debido al gran patrimonio en tierra que poseen y al extendido uso de la tierra como material de construcción hace que sea obligatorio tratar de encontrar soluciones reales al problema de los seísmo. En estos estudios se establece mediante ensayos que los encuentros en esquina en ángulo, especialmente a 90° son poco apropiados para contrarrestar el movimiento oscilante al que se sometería la estructura. En su lugar se dispondrían plantas con encuentros redondeados. Los cerramientos se podrán construir mediante diferentes técnicas antisísmicas como las que se muestran en la imagen. Esto sumado a una serie de muros interiores (tabiquería) perpendiculares a los cerramientos hará que la construcción resista empujes en ambas direcciones.

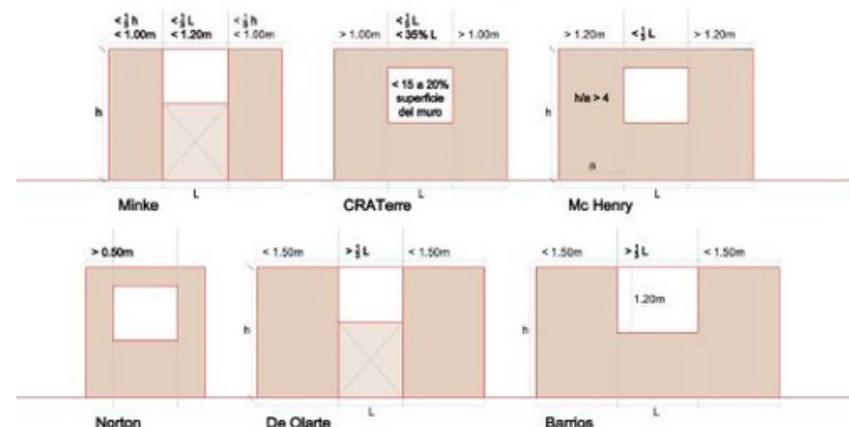
En nuestro caso nos ceñiremos a un estudio sobre los bloques y si se tuviera que modelar un espacio este tendrá una forma cuadrada o rectangular, sin atender a criterios de diseño especiales. Basándonos en las características de nuestras muestras, realizaremos unos ensayos a través de simulación mediante software para obtener una aproximación de los límites constructivos que ofrecen las muestras.

Por desgracia debido a problemas de tiempo en la programación de los ensayos en el laboratorio no ha sido posible realizar esta prueba. No obstante dejamos este punto abierto para en el futuro poder llevarlo a cabo.

La propuesta en tal caso consistirá en ampliarlo y aplicarlo a diseños constructivos como los comentados con anterioridad, especialmente para comprobar el efecto diapasón, ya que un movimiento suave en la base puede originar roturas graves en los pisos superiores, mayores cuanto mayor sea la altura.



Diferentes composiciones de muros con refuerzo antisísmico. Fuente. Julio Vargas Neumann Libro: Arquitectura de tierra frente al sismo.



Detalle constructivo de un cerramiento con refuerzo antisísmico. Fuente. Diferentes autores

### RESISTENCIA AL FUEGO EXIGIBLE A LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

ELEMENTO CONSTRUCTIVO		Resistencia al fuego mínima (RF) (min)
Medianería o muro colindante con otro edificio		RF-120
Fachada		No es necesaria*
Particiones interiores	Paredes que separan una vivienda de otra, una habitación de otra, así como las que sirvan de separación de pasillos, zonas comunes o de otros locales.	RF-60
	Paredes que delimitan pasillos y escaleras, tanto interiores como abiertos al exterior (vías de evacuación)	RF-120
	Paredes de los vestíbulos	RF-120
Uso residencial	Paredes de cajas de aparatos elevadores	RF-120
	Paredes de ocupación habitual de planta	RF-60
Uso comercial	Puertas	RF-30
	Paredes de separación de los diferentes locales	RF-60

Ref. 49. Resistencia al fuego mínima exigida por la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI g6  
Fuente. Norma Básica de la Edificación NBE-CPI g6

### RESISTENCIA AL FUEGO (RF)

Espesor de la fábrica (cm)		Con ladrillo hueco			Con ladrillo macizo y perforado	
		4-6	8-10	11-12	11-12	20-24
Sin revestir		No es usual	No es usual	No es usual	180	240
Enfoscado	Por la cara expuesta al fuego	15	60	90	180	240
	Por las dos caras	30	90	120	180	240
Guarnecido	Por la cara expuesta al fuego	60	120	180	240	240
	Por las dos caras	90	180	240	240	240

Ref. 50. Tabla con características técnicas de resistencia al fuego de una fábrica de ladrillo  
Fuente. Norma Básica de la Edificación NBE-CPI g6

### 2.-Estudio y ensayo de resistencia y estabilidad frente al fuego, de radiación calorífica en caso de incendio y de reacción frente al fuego. Influencia del calor.

Lamentablemente no se ha podido desarrollar un estudio sobre estos ensayos ya que la previsión de ensayo en las instalaciones de AIDICO ha sido alterada por el cierre de la entidad. No obstante plantearemos el proceder del ensayo y los requisitos para su ensayo en futuras investigaciones.

Diversos autores determinan que la tierra es incombustible. Sus propiedades no son alteradas en el proceso de ignifugación. Al no tener acero en su interior el muro no sufrirá spalling, propiciando su colapsocomo ocurre en el hormigón armado, si no que se mantendrá firme siempre que no contenga humedad en su interior. En caso de contener humedad o estar en proceso de secado esta se liberará súbitamente, originando grietas y disgregación.

Es de suponer que sufrirá alteraciones en su estado por mínimas que sean en una situación de incendio. Más aún durante la influencia de la impacto que ejercerá el agua lanzada a presión por los equipos de emergencia y que los forjados pueden verse afectados, comprometiendo la estabilidad de un muro de tierra.

Una propuesta de línea de investigación consistirá en estudiar el efecto del fuego sobre las construcciones de tierra de adobe y tapia en diferentes espesores, para conocer sus limitaciones en cuanto a durabilidad frente al fuego y especialmente la radiación calorífica emitida que puede alcanzar otros elementos en el lado contrario de incidencia directa del fuego.

Otra propuesta será el comportamiento de las estructuras de tierra durante una intervención de bomberos, especialmente cuando se trate de estructuras de 2 o más plantas. En un incen-

dio la actuación de los bomberos se concentra en lanzar agua contra las fachadas para enfriarlas, especialmente alrededor de los huecos en fachada y ocasionalmente al interior. Teniendo en cuenta que la estabilidad puede estar comprometida por el estado del forjado, es importante conocer cómo se comportará el muro de carga de tierra en el proceso de evacuación y extinción en las viviendas de nueva construcción.

#### Normativa

La Norma Básica de la Edificación NBE-CPI g6: "Condiciones de protección contra el fuego en los edificios", establece las limitaciones que se contemplan en el cuadro 49, con la excepción de que en los tramos próximos a la intersección con muros o techos delimitadores de sector de incendio, donde será al menos igual a la mitad exigida a dicho elemento, en una anchura de 1 m, y de 2 m si el elemento acomete a la fachada en un quiebro de ángulo inferior a 135°.

La misma norma establece los requisitos que debe tener una fábrica de ladrillo cerámico. Debido a no existir una norma específica para adobe y tapial deberemos de tomar esta como referencia 50.

#### Radiación calorífica

No se ha encontrado información acerca de la radiación calorífica que traspasaría la estructura. Esta dependerá del espesor del muro, siendo menor cuanto mayor el espesor.

El ensayo a radiación calorífica se realiza al tiempo que sucede el ensayo de resistencia al fuego. En a cara no expuesta se van registrando medidas de la temperatura a través de unos elementos llamados termopares. Estos se colocan distriuidos según especifique la Norma correspondiente, como veremos en el apartado de resistencia al fuego a continuación.

En numerosas ocasiones el elemento construc-

tivo resiste convenientemente el fuego, evitando así su propagación, sin embargo la radiación calorífica de este se transmite a la sala contigua, provocando una pérdida de calorías en los elementos existentes, facilitando, y en ocasiones logrando, que la propagación continúe.

### Reacción al fuego

Conocer la reacción al fuego de un material permite prever su comportamiento ante un incendio: cómo se iniciará, evolucionará y se propagará la combustión de este producto.

Caracteriza la inflamabilidad, la combustibilidad y la cantidad de calor generada por la combustión.

Los materiales son clasificados en cinco categorías según la propensión a alimentar un fuego: <sup>51</sup>

M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>. Al final las Euroclases (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C, D, E, F) reemplazarán la clasificación M.

El número de la denominación de cada clase indica la magnitud relativa con la que los materiales correspondientes pueden favorecer el desarrollo de un incendio:

**M<sub>0</sub>**: Material no combustible ante la acción térmica normalizada del ensayo correspondiente.

**M<sub>1</sub>**: Material combustible pero no inflamable, por lo que su combustión no se mantiene cuando cesa la aportación de calor desde un foco exterior.

**M<sub>2</sub>**: Material con grado de inflamabilidad moderada.

**M<sub>3</sub>**: Material con grado de inflamabilidad media. – M<sub>4</sub>: Material con grado de inflamabilidad alta.

Por ejemplo, el acero, ininflamable, es clasificado como M<sub>0</sub>, lo mismo que la piedra, el yeso, el

hormigón armado, etc., mientras que la clasificación de la madera puede variar de M<sub>1</sub> a M<sub>5</sub>

Para evaluar la reacción al fuego de materiales y clasificarlos según sus prestaciones, se deben determinar sus niveles de inflamabilidad, combustibilidad, toxicidad del humo y calor de combustión, entre otros.

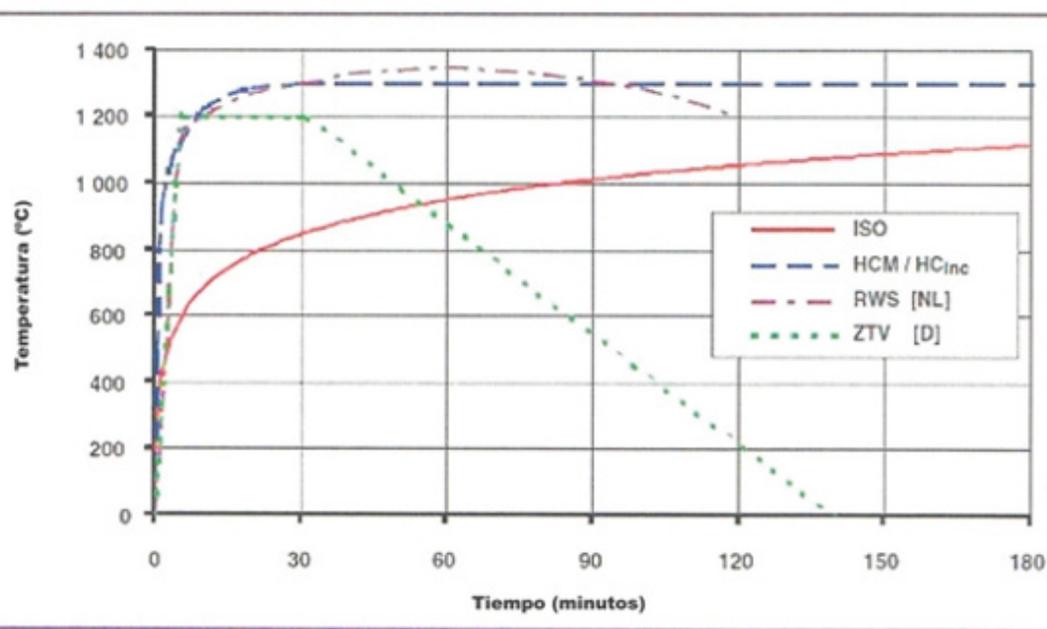
### Resistencia y estabilidad al fuego

Los productos resistentes al fuego deben permitir que las estructuras conserven sus funciones mínimas durante el periodo requerido a la evacuación de las personas, aún a pesar de las extremas condiciones de calor y presión a las que se encuentran sometidas. Los fabricantes de dichos productos, deben evaluar su resistencia, estabilidad y aislamiento al fuego según las normativas aplicables a cada producto y sector.

Los ensayos de resistencia al fuego nos mostrarán durabilidad del elemento frente al ataque de un fuego controlado en un recinto hermético. En el interior del cubo de ensayo se

REACCIÓN AL FUEGO ADMISIBLE		
<b>Materiales incluidos en paredes y techos</b>	<b>Recorrido de evacuación</b>	<b>Reacción al fuego</b>
	Recintos Protegidos	<b>M1</b>
	Uso Hospitalario	<b>M1</b>
	Otros usos	<b>M2</b>
<b>Materiales incluidos en suelos</b>	<b>Recorrido de evacuación</b>	<b>Reacción al fuego</b>
	Recintos Protegidos	<b>M2</b>
	Uso Hospitalario	<b>M2</b>
	Otros usos	<b>M3</b>

Ref. 51. Reacción admisible al fuego admisible según uso  
Fuente. Norma Básica de la Edificación NBE-CPI g6



Ref. 52. Curvas estándar según el material. En nuestro caso será la ISO.  
Fuente. Informes de AIDICO

ESTABILIDAD AL FUEGO MÍNIMA (EF), EN MINUTOS		
Uso del recinto inferior al forjado considerado		EF (min)
Vivienda unifamiliar	Plantas de sótano	EF-30
	Plantas sobre rasante < 15 m	EF-30
Vivienda Residencial, Docente, Administrativo	Plantas de sótano	EF-120
	Plantas sobre rasante < 15 m	EF-60
	Plantas sobre rasante < 28 m	EF-90
	Plantas sobre rasante ≥ 28 m	EF-120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	Plantas de sótano	EF-120 <sup>(1)</sup>
	Plantas sobre rasante < 15 m	EF-90 <sup>(2)</sup>
	Plantas sobre rasante < 28 m	EF-120
	Plantas sobre rasante ≥ 28 m	EF-180
Garajes	Uso exclusivo	EF-90

<sup>(1)</sup>EF-180 si la altura de evacuación del edificio es ≥ 28 m.

<sup>(2)</sup>EF-120 en edificios de uso hospitalario con más de tres plantas sobre rasante.

Ref. 53. Estabilidad al fuego mínima exigida en función del tipo de vivienda.

Fuente. Ayuntamiento de Madrid.

#### RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS DE HORMIGÓN SIN REVESTIR

Espesor del muro en cm.	10	12	14	16	20	25	30
Grado de resistencia al fuego (RF)	60	90	120	180	180	240	240

Ref 54. Resistencia al fuego e muros de hormigón sin revestir.

Fuente. Ayuntamiento de Madrid.

generará una potencia calorífica que alcance progresivamente los 1200°C, tratando de generar en el proceso la curva estandar ISO 834 <sup>52</sup>. Esta temperatura irá incrementando hasta que se detecte la falta de integridad del elemento o hasta que se determine la incombustibilidad del mismo.

La temperatura se medirá desde el interior con unos termopares colocados en vainas y mediante otros situados en el exterior, que registrarán el aumento de temperatura sobre la ara no expuesta.

La distribución de estos termopares se realizará dependiendo del elemento a ensayar y el material, lo que también definirá el tipo de curva a utilizar. Esto se realizará conforme indique la Norma UNE correspondiente, pudiendo ser:

UNE-EN 1364-1:2000

Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 1: Paredes.

UNE-EN 1364-3:2008

Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 3: Fachadas ligeras. Tamaño real (configuración completa).

UNE-EN 1364-4:2008

Ensayos de resistencia al fuego de elementos no portantes. Parte 4: Fachadas ligeras. Configuración parcial.

UNE-EN 1365-4:2000

Ensayos de resistencia al fuego de los elementos portantes. Parte 4: Pilares.

UNE-EN 1365-6:2005

Ensayos de resistencia al fuego de los elementos portantes. Parte 6: Escaleras.

UNE-EN 15080-12:2011

Extensión de la aplicación de los resultados

de los ensayos de resistencia al fuego. Parte 12: Muros portantes de albañilería.

UNE-EN 15254-2:2010

Extensión de la aplicación de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia al fuego. Paredes no portantes. Parte 2: Tabiques de fábrica y de paneles de yeso

UNE-EN 1365-1:2000

Resistencia al fuego de elementos portantes. Parte 1: Paredes.

Como se puede comprobar no existe ninguna Norma que hable directamente del material tierra. Sin embargo deberemos ceñirnos a la disposición constructiva correspondiente independientemente del material, es decir, si se trata de un muro de adobe sin carga, deberemos consultar la Norma "UNE-EN 15254-2:2010 Extensión de la aplicación de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia al fuego. Paredes no portantes. Parte 2: Tabiques de fábrica y de paneles de yeso"

La interpretación de los datos obtenidos en el ensayo a estabilidad al fuego exigible a la estructura portante de un edificio puede realizarse conforme a los criterios de la tabla 53.

En el caso que se lograra realizar los ensayos a fuego programados, se podría hacer una comparación respecto a los resultados obtenidos en ensayos a muros de hormigón, ladrillo y cartón yeso, recogidos por el Ayuntamiento de Madrid en el Anexo I <sup>54</sup> de su documentación para la aprobación por el servicio de Extinción de Incendios:

"Muros y tabiques

En las tablas siguientes figuran los grados de resistencia al fuego de los muros y de los tabiques de una hoja, sin revestir y enfoscados con mortero de cemento o guarnecidos con yeso, con espesores de 1,5 cm. como mínimo.

Para soluciones constructivas formadas por dos o más hojas puede adoptarse como grado de resistencia al fuego del conjunto la suma de los valores correspondientes a cada hoja:“\*“

### 3.-Estudio de la capacidad, conductividad y transmitancia térmica.

La transferencia de calor de un material se caracteriza por su conductividad térmica  $\lambda$  (W/mK). Este valor indica la cantidad de calor medida en watts/m<sup>2</sup> que penetra en un muro de 1m de espesor a una diferencia de temperatura de 1°C.

#### Conductividad Térmica:

La conductividad térmica  $\lambda$  se ha determinado basándonos en los estudios del Instituto Eduardo Torroja<sup>55</sup>, el cual arroja unos datos a partir de una densidad que engloba los valores en los que estamos trabajando.

Sin embargo según S. Bestraten, E. Hormías, A. Altemir, en su divulgación “Construcción con tierra en el siglo XXI”. los valores  $\lambda$  para diferentes materiales en función de su densidad será la que se muestra en el cuadro 56.

Se observa gran diferencia entre los valores entre sí, y aún más entre los datos desprendidos por el Instituto Eduardo Torroja y los obtenidos a través de la divulgación científica de S. Bestraten, E. Hormías, A. Altemir. Esto pone de manifiesto el desconocimiento que existe al respecto.

No disponemos del valor  $\lambda$  de conductividad térmica de cada tipo de tierra, por tanto seleccionaremos valores estandar procedentes de los estudios de S. Bestraten, E. Hormías, A. Altemir, de modo que el valor que adoptaremos para la **conductividad térmica** será para cada caso:

$$\text{Tapial} = \lambda = 1.5 \text{ (W/mK)}$$

### RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS Y TABIQUES DE FÁBRICA DE BLOQUES DE HORMIGÓN

Tipo de cámara	Tipo de árido	Tipo de revestimiento	Espesor nominal, en cm.	Grado de resistencia al fuego (RF)	
Simple	Silíceo	Sin revestir	10	15	
			15	60	
			20	120	
	Calizo	Sin revestir	10	60	
			15	90	
			20	180	
	Volcánico	Sin revestir	12	120	
			20	180	
		Guarnecido cara expuesta al fuego		12	120
				9	180
12 10 25				180 240 240	
Arcilla expandida		Sin revestir	20	120	
			20	240	
			25	240	
Doble	Arcilla expandida	Sin revestir	20	240	
Triple	Silíceo	Sin revestir	25	240	



Horno Normalizado para el ensayo de resistencia a fuego en AIDICO. Fuente. propia.

Ref 54. Resistencia al fuego exigida para muros y tabiques de fábrica de bloques de hormigón. Fuente. Ayuntamiento de Madrid.

### RESISTENCIA AL FUEGO DE MUROS Y TABIQUES DE FÁBRICA DE LADRILLO

Tipo de revestimiento	Espesor de la fábrica en cm.				
	Con ladrillo hueco			Con ladrillo macizo	
	4 - 6	8 - 10	11 - 12	11 - 12	20 - 24
Sin revestir	(1)	(1)	(1)	180	240
Enfoscado: Por la cara expuesta al fuego Por las dos caras	15	60	90	180	240
	30	90	120	180	240
Guarnecido: Por la cara expuesta al fuego Por las dos caras	60	120	180	240	240
	90	180	240	240	240
Grado de resistencia al fuego (RF)					

(1) No es usual.

Ref 54. Resistencia al fuego exigida para muros y tabiques de fábrica de ladrillo. Fuente. Ayuntamiento de Madrid.

CTE WEB

Código técnico de la edificación

01 Pétreos y suelos / Rocas y suelos naturales / Rocas o suelos sedimentarios / Arcilla o limo

Materiales	$\rho$	$\lambda$	$C_p$	$\mu$
Genérico	1200-1800	1.5	1670-2500	50

$\rho$ : Densidad, en Kg/m<sup>3</sup>  
 $\lambda$ : Conductividad térmica, en W/m·K  
 $C_p$ : Calor específico, en J/Kg·K  
 $\mu$ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional

Ref. 55. Densidad para arcilla o limo. Fuente. Instituto Eduardo Torroja.



Ensayo de muro de paja de 40cm revestido con revoco de barro de 2 cm en cada cara. Santiago de Chile.

**Santiago, en el laboratorio IDIEM de la Universidad de Chile.**

**20 de octubre de 2014 se realizó el primer ensayo de resistencia al fuego de un muro de fardos de paja revestido con tierra cruda en todo el mundo de habla hispana.**

*-El muro superó sin dificultad 120 minutos de exposición al fuego (de hecho podría haber superado mucho más, pero la prueba sólo se había contratado por este período de tiempo).*

*-La cara expuesta al fuego no sufrió fisuración (habiendo llegado a 1000°C en el interior de la cámara de combustión)*

*-No hubo presencia de humo (apenas algo de vapor por la parte inferior) ni excesivo olor.*

*-Bajas temperaturas en la cara no expuesta al fuego: aproximadamente 37°C en la parte central (se notaba caliente pero se podía tocar) y poco más de 70°C en el punto de máxima temperatura.*

Ministerio de Fomento  
Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda  
Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo

Documento de Apoyo al Documento Básico  
DB-HE Ahorro de energía  
Código Técnico de la Edificación

DA DB-HE / 1

Cálculo de parámetros característicos de la envolvente

Octubre 2013

Índice

- 1 Objeto
- 2 Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente
  - 2.1 Transmitancia térmica
  - 2.2 Factor solar modificado de huecos y lucernarios
- 3 Resistencia térmica total de un elemento de edificación constituido por capas homogéneas y heterogéneas.
  - 3.1 Límite superior de la resistencia térmica total R<sub>T</sub>
  - 3.2 Límite inferior de la resistencia térmica total R<sub>T</sub>
  - 3.3 Resistencia térmica de cavidades de aire sin ventilación R<sub>a</sub>

Notaciones y unidades

Otros documentos relacionados

Ref. 57. DA DV-HE/1 Fuente. Web oficial

material		densidad	conductividad λ
tapial	*fuente: (4,9)	1.400-2.000 kg/m <sup>3</sup>	0,6 / 1,6 W/mk
btc	(4,9)	1.700 kg/m <sup>3</sup>	0,81 W/mk
adobe	(11,12)	1.200 kg/m <sup>3</sup>	0,46 W/mk
hormigón armado	(13)	2.300-2.500 kg/m <sup>3</sup>	2,3 W/mk
hormigón en masa in situ	(13)	2.000-2.300 kg/m <sup>3</sup>	1,65 W/mk
bloque de hormigón convencional	(13)	860 kg/m <sup>3</sup>	0,91 W/mk
pared de ladrillo macizo	(13)	2.170 kg/m <sup>3</sup>	1,04 W/mk

Ref. 56. Conductividad de los materiales

Fuente. Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la Construcción Vol. 63, 523, 5-20, julio-septiembre 2011 ISSN: 0020-0883 e ISSN: 1988-3234 doi: 10.3989/ic.10.046,

Adobe= λ=0.46 (W/mK)

Valencia

Capacidad térmica

La capacidad térmica (capacidad de almacenamiento de calor) S de un material se define como el producto del calor específico C y la densidad p:

$$S = C \times p \text{ (kJ/m}^3\text{K) o (Wh/m}^3\text{K)}$$

Por tanto, considerando un valor de 1046 J/(kg•K)= 1,05 kJ/(kg•K) para el calor específico de la tierra, dado por el Prontuario de Soluciones Constructivas CTE Web:

Capacidad Térmica

Valencia

Adobe:

$$S = 1,05 \times 1542,69 = 1619.82 \text{ (kJ/m}^3\text{K) o (Wh/m}^3\text{K)}$$

Tapial:

$$S = 1,05 \times 1877,55 = 1971.42 \text{ (kJ/m}^3\text{K) o (Wh/m}^3\text{K)}$$

Adobe:

$$S = 1,05 \times 1267,21 = 1330.57 \text{ (kJ/m}^3\text{K) o (Wh/m}^3\text{K)}$$

Tapial:

$$S = 1,05 \times 1795,54 = 1885.31 \text{ (kJ/m}^3\text{K) o (Wh/m}^3\text{K)}$$

La capacidad térmica define la cantidad de calor necesaria para calentar 1m<sup>3</sup> de material a 1°C. La capacidad de almacenamiento de calor Q, para una unidad de área de muro, es S multiplicada por el espesor s del elemento:

$$Q = C \times p \times s \text{ (kJ/m}^2\text{K) o (Wh/m}^2\text{K)}$$

Por tanto:

Adobe:

$$Q = 1.05 \times 1542,69 \times 0,22 = 356.36 \text{ (kJ/m}^2\text{K) o (Wh/m}^2\text{K)}$$

Tapial:

$$Q = 1.05 \times 1877,55 \times 0,22 = 433.71405 \text{ (kJ/m}^2\text{K) o (Wh/m}^2\text{K)}$$

Alicante

Adobe:

$$Q = 1.05 \times 1267,21 \times 0,22 = 292.72 \text{ (kJ/m}^2\text{K) o (Wh/m}^2\text{K)}$$

Tapial:

$$Q = 1.05 \times 1795,54 \times 0,22 = 414.76 \text{ (kJ/m}^2\text{K) o (Wh/m}^2\text{K)}$$

Resistencia y transmitancia térmica

Para el estudio de la resistencia y la transmitancia térmica nos basaremos en la DA DB-HE / 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente, del Ministerio de Fomento.<sup>57</sup>

El cálculo de los parámetros característicos de la envolvente se realiza mediante el conocimiento del valor de la transmitancia térmica.

Para su cálculo estimaremos que se trata de un cerramiento en contacto con el aire exterior.

Este cálculo es aplicable a la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior tales como muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior.

La transmitancia térmica U (W/m<sup>2</sup> •K) viene dada por la siguiente expresión:

siendo,

RT la resistencia térmica total del componente constructivo [m<sup>2</sup> •K/ W].

$$U = \frac{1}{R_T}$$

La resistencia térmica total RT de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$RT = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

siendo,

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>...R<sub>n</sub> las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión (3) [m<sup>2</sup> •K/W];

R<sub>si</sub> y R<sub>se</sub> las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla 1 de acuerdo a la posición del cerramiento, dirección del flujo de calor y su situación en el edificio [m<sup>2</sup> •K/W].

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

siendo,

"e" el espesor de la capa [m].

"λ" Conductividad térmica del material.

Por tanto la Resistencia Térmica de nuestra muestra será:

Valencia

**Bloque Tapia**

$$R = e/\lambda = 0.22/1.5 = 0.14 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$$

**Bloque Adobe**

$$R = e/\lambda = 0.22/0.46 = 0.1012 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$$

Alicante

**Bloque Tapia**

$$R = e/\lambda = 0.22/1.5 = 0.14 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$$

**Bloque Adobe**

$$R = e/\lambda = 0.22/0.46 = 0.1012 \text{ (m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}$$

Y el valor U de Transmitancia Térmica será:  
Tapia:

$$U = 1/R = 1/0.14 = 7.14 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W}\text{]}$$

Adobe:

$$U = 1/R = 1/0.1012 = 9.88 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W}\text{]}$$

Por tanto, en nuestras muestras los resultados serán:

Provincia	Valencia		Castellón		Alicante	
Población	Bétera		Almenara		Carrícola	
Tipo ensayo/técnica	Adobe	Tapial	Adobe	Tapial	Adobe	Tapial
Transmitancia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/ W)	9,88	7,14	-	-	9,88	7,14
Resistencia Térmica (m <sup>2</sup> ·K/ W)	0,101	0,14	-	-	0,101	0,14
Conductividad Térmica (λ)	0,46	1,5	-	-	0,46	1,5
Capacidad Térmica (kJ/m <sup>3</sup> K)	1619.82	1971.42	-	-	1330.57	1885.31
Capacidad almacenamiento de calor según espesor (0,22m)	356.36	433.71	-	-	292.72	414.76
Resistencia al fuego (Estabilidad)	-	-	-	-	-	-
Reacción al fuego	-	-	-	-	-	-

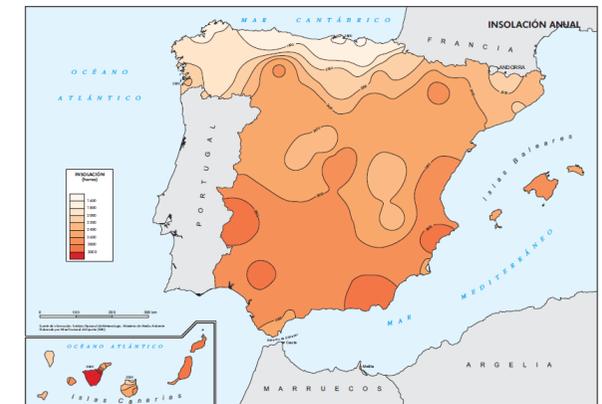
A partir de los datos calculados analizaremos los mapas que ofrece la Agencia Estatal de Meteorología para conocer las características climáticas que más nos afectan en cuanto al calor y variaciones de temperatura.

El mapa que se muestra <sup>58</sup> indica la media anual de la oscilación de térmica diaria, obtenida a partir del valor medio anual de la diferencia entre las temperaturas extremas diarias (máxima y mínima) registradas a lo largo del año.

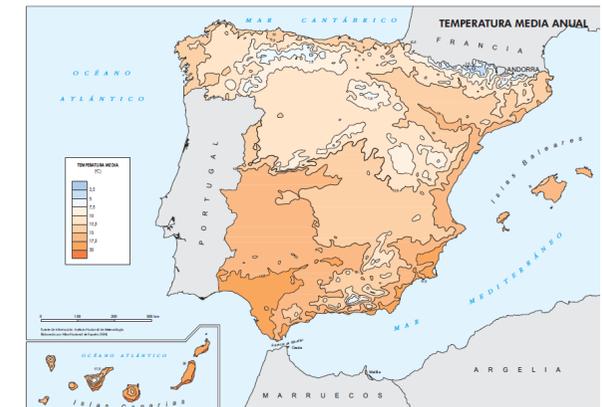
La continentalidad del interior de la Península es un rasgo que se refleja en la media anual de oscilación térmica diaria (superior a 10°C).



Ref. 58. Media anual de oscilación térmica anual  
Fuente. Ministerio de Fomento



Insulación anual  
Fuente. Ministerio de Fomento



Temperatura media anual  
Fuente. Ministerio de Fomento



Diferentes imágenes tomadas en el proceso de ensayo de aislamiento a ruido aéreo.

Fuente. propia

Este valor aumenta desde las zonas costeras, donde es inferior a 8°C, hacia el interior, donde alcanza los valores más elevados. En Baleares, al igual que en Canarias es inferior a 8°C, salvo en las zonas situadas hacia el exterior.

El siguiente mapa muestra la temperatura media anual, valor que se obtiene a partir del promedio de las temperaturas medias registradas en cada uno de los doce meses del año. Su distribución es muy irregular y está estrechamente ligado a la configuración del relieve.

El siguiente mapa muestra la insolación anual, valor que se obtiene a partir del número de horas de sol registradas a lo largo del año. La insolación aumenta de forma bastante regular de norte a sur.

Con los datos obtenidos deberemos ser capaces de establecer geográficamente por ejemplo que tipo de tierra aporta una mejor calidad a la construcción en función de la oscilación térmica diaria en la península.

#### 4.-Estudio de la transmisión acústica

En cuanto a los ensayos acústicos hay tres características que resultan de mayor interés:

- Aislamiento a ruido aéreo
- Análisis del ruido por vibración
- Absorción acústica

##### Aislamiento a ruido aéreo:

Para el ensayo normalizado a ruido aéreo es preciso la construcción de un tabique o muro en una cámara de transmisión.

Se estudió la posibilidad del montaje de un muro de adobe en el interior de la cámara, pero pese a que si era posible su ejecución, por cuestiones de tiempo y de falta de medios no se pudo ejecutar. En cuanto a la ejecución de un

muro de tapia directamente resultó imposible ya que la disposición de la cámara de ensayo no permite el acceso desde la parte superior para la compactación de la última hilada y asegurar su estanqueidad. Por tanto se decide no realizar este tipo de ensayo. Así mismo, dado que es un material homogéneo con una base constructiva pesada, el modo más conveniente para calcular, o aproximar, su aislamiento a ruido aéreo es mediante la formulación de la Ley de Masas. Conociendo la densidad se puede calcular el aislamiento para diferentes espesores.

No obstante, dado que existen muestras con diferentes tipos de tierra, procedemos a realizar los ensayos no normalizados pero que han sido empleados en estudios anteriores.

Para conocer el comportamiento de la muestra frente al impacto de la onda sonora, se caja con unas láminas de aluminio, acero y plomo la muestra. se emite una señal en uno de los laterales y se recibe en el lateral contrario.

En un primer intento probamos mediante el equipo tradicional de speaker y micrófono omnidireccional, pero los resultados no pudieron ser procesados ya que la señal reverberada en todo el laboratorio es mayor que la transmisión directa.

Decidimos cambiar entonces y emitir una señal y medir tres recepciones diferentes, todas ellas tomando el punto que esté a la misma altura y latitud que el emisor, es decir, el emisor y el receptor perfectamente enfrentados. De este modo a pesar de no tener un cálculo de aislamiento que podamos emplear, comprobamos cómo se comporta el material respecto a todas las frecuencias, esto es, el espectro conocido.

Comparando la emisión con la recepción se observa que determinados puntos experimentan subidas o bajadas de aislamiento. Lo importante entonces es comparar las gráficas de

aislamiento bruto e intentar detectar los puntos que no siguen una linealidad ascendente.

De este modo se puede concluir que la muestra de Tapia de Carrícola ofrece una caída en las frecuencias de 315 y 400 Hz. La muestra de Bétera en 200,250,315 y 400. Mientras que en adobe, Carrícola ofrece una caída en 100Hz y Bétera en 1250 y 1600. Sabiendo que el primer tercio son los graves, el segundo son los medios y el tercero los agudos... y que la molestia de tráfico y ruidos pesados son graves, que las conversaciones o música son los medios, y que pitidos y deslizamientos son agudos.

En las tablas se pueden comprobar los espectros de emisión y los espectros de recepción, medidos con altavoz y micrófono direccional. Así mismo se puede ver la media de las recepciones y el aislamiento bruto, sin embargo en este caso no debemos fiarnos del resultado del aislamiento, sino más bien de la linealidad del resultado.

Se han marcado en rojo los valores que no suponen una curva de aislamiento lineal.

*"Todo lo expuesto nos lleva a la conclusión de que para proyectar elementos constructivos con garantías de cumplir la normativa, deberíamos adoptar soluciones con una gran masa, y por ende con sensibles pérdidas de espacio útil, aumento de sobrecargas estructurales y también de costos."*

Francisco Lidón Juan Servicio de Acústica del COATV

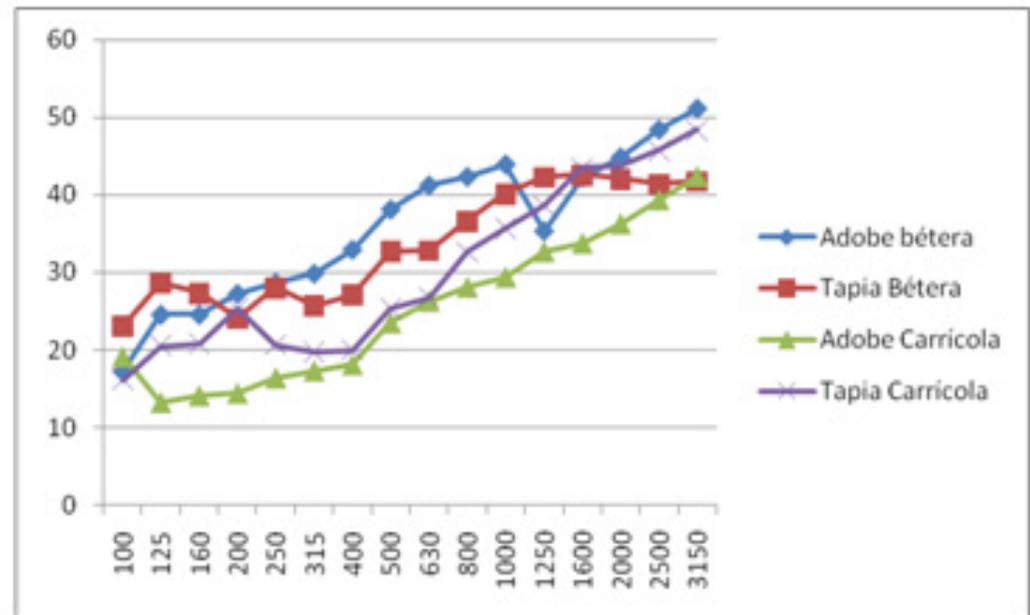
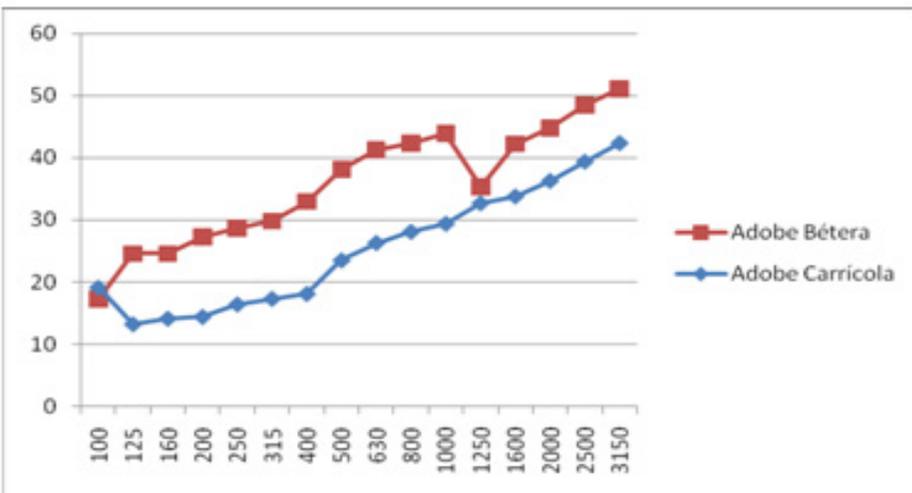
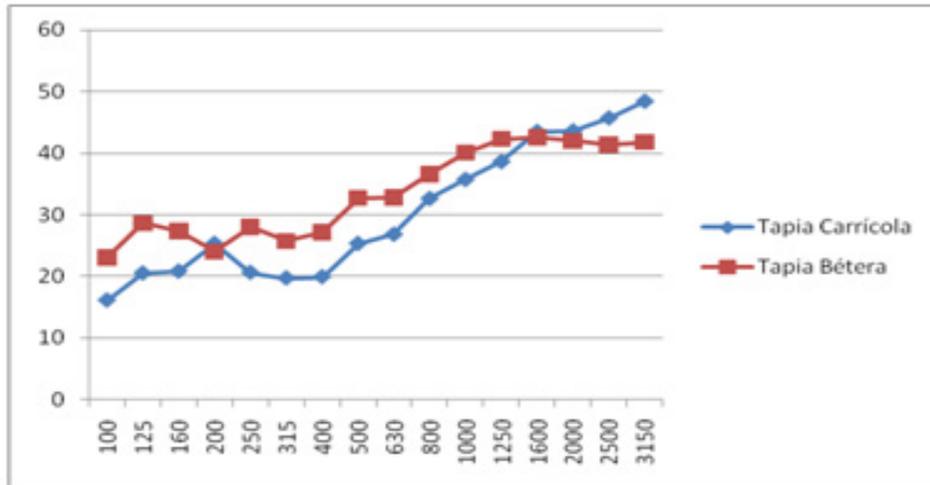
Tapia Carrícola	GRAVES					MEDIAS					AGUDAS						
Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Emisión	84,2	92	96,2	99,9	94,9	93,6	90,7	91,4	88,5	88,9	88,6	89,9	91,8	87,8	88	86,6	
Recepción (Hz)	1	68,3	71,7	75,6	74,8	74,5	74,1	71	66,3	61,9	56,5	53,1	51,5	48,5	44,4	42,5	38,4
	2	68,1	71,5	75,4	74,6	74,3	73,9	70,8	66,1	61,7	56,3	52,9	51,3	48,3	44,2	42,3	38,2
	3	68	71,4	75,3	74,5	74,2	73,8	70,7	66	61,6	56,2	52,8	51,2	48,2	44,1	42,2	38,1
Recepción media	68,1	71,5	75,4	74,6	74,3	73,9	70,8	66,1	61,7	56,3	52,9	51,3	48,3	44,2	42,3	38,2	
Asilamiento Bruto	16,1	20,5	20,8	25,3	20,6	19,7	19,9	25,3	26,8	32,6	35,7	38,6	43,5	43,6	45,7	48,4	

Tapia Bétera	GRAVES					MEDIAS					AGUDAS						
Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Emisión	90,4	95,5	98,2	97,1	94,9	88,4	89,3	90,7	88,5	88,4	86,7	88,3	88,8	86,9	86,9	85,5	
Recepción (Hz)	1	67,6	67,1	71,1	73,3	67,1	62,9	62,4	58,2	55,9	52	46,8	46,2	46,4	45,1	45,7	43,9
	2	67,4	66,9	70,9	73,1	66,9	62,7	62,2	58	55,7	51,8	46,6	46	46,2	44,9	45,5	43,7
	3	67,3	66,8	70,8	73	66,8	62,6	62,1	57,9	55,6	51,7	46,5	45,9	46,1	44,8	45,4	43,6
Recepción media	67,4	66,9	70,9	73,1	66,9	62,7	62,2	58	55,7	51,8	46,6	46	46,2	44,9	45,5	43,7	
Asilamiento Bruto	23,0	28,6	27,3	24,0	28,0	25,7	27,1	32,7	32,8	36,6	40,1	42,3	42,6	42,0	41,4	41,8	

Adobe Carrícola	GRAVES					MEDIAS					AGUDAS						
Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Emisión	83,9	91,6	95,9	95,4	92,8	89,7	87,7	88,9	85,7	85,2	83,6	86,4	86,3	84,2	83,8	81,7	
Recepción (Hz)	1	64,8	78,4	81,8	81	76,4	72,4	69,6	65,4	59,4	57,1	54,2	53,7	52,5	47,9	44,4	39,3
	2	64,7	78,3	81,7	80,9	76,3	72,3	69,5	65,3	59,3	57	54,1	53,6	52,4	47,8	44,3	39,2
	3	65,1	78,7	82,1	81,3	76,7	72,7	69,9	65,7	59,7	57,4	54,5	54	52,8	48,2	44,7	39,6
Recepción media	64,8	78,4	81,8	81	76,4	72,4	69,6	65,4	59,4	57,1	54,2	53,7	52,5	47,9	44,4	39,3	
Asilamiento Bruto	19,1	13,2	14,1	14,4	16,4	17,3	18,1	23,5	26,3	28,1	29,4	32,7	33,8	36,3	39,4	42,4	

Adobe Bétera	GRAVES					MEDIAS					AGUDAS						
Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Emisión	84,8	90,9	93	92,4	94,2	89,7	90,1	91,6	89,7	87	85,7	86,3	87	85,8	86,5	84,3	
Recepción (Hz)	1	67,8	66,6	68,7	65,4	65,8	60,1	57,4	53,7	48,7	44,9	42	51,2	45	41,2	38,3	33,4
	2	67,6	66,4	68,5	65,2	65,6	59,9	57,2	53,5	48,5	44,7	41,8	51	44,8	41	38,1	33,2
	3	67,5	66,3	68,4	65,1	65,5	59,8	57,1	53,4	48,4	44,6	41,7	50,9	44,7	40,9	38	33,1
Recepción media	67,6	66,4	68,5	65,2	65,6	59,9	57,2	53,5	48,5	44,7	41,8	51,0	44,8	41,0	38,1	33,2	
Asilamiento Bruto	17,2	24,5	24,5	27,2	28,6	29,8	32,9	38,1	41,2	42,3	43,9	35,3	42,2	44,8	48,4	51,1	

Se puede comprobar en las gráficas que en ambos casos la tierra procedente de Bétera ofrece un mejor resultado tanto en adobe como en tapial, quizá debido a su densidad y su alto contenido en arcilla. Al mismo tiempo se comprueba que el adobe de Bétera es la muestra que ofrece una mayor calidad en cuanto a aislamiento bruto, seguido por la tapia de Bétera, la tapia de Carrícola y finalmente el adobe de Carrícola.



## Ruido por vibración

El sonido, como toda onda mecánica, provoca una vibración al incidir sobre un cuerpo. El ensayo de vibración normalizado consiste en emitir o provocar una vibración controlada, medir el impacto inicial y las recepciones en diferentes puntos para poder estudiar su propagación a través del medio. Dicha propagación vendrá definida por el valor de la constante K de vibración.

Se estudia el comportamiento a vibración en todas las frecuencias para ver si existe alguna frecuencia que se vea más o menos absorbida. En este caso se ha probado en primer lugar un pistón de repetición como emisor, y la respuesta en los acelerómetros ha sido nula. Esto puede ser debido a que en la confección de la capa exterior de la muestra (revoco de barro) o en alguna capa intermedia, ha quedado una pequeña cámara de aire que impide que la vibración llegue al receptor. Tras varios intentos, la mejor solución para su obtención, o por lo menos con la que hemos obtenido valores coherentes, ha sido la de emplear un martillo amortiguado con una madera como emisor y como receptores unas pequeñas piezas que permiten alojar una aguja metálica en su interior. El acelerómetro capta vibración, y esta es descendente a medida que se aleja de la fuente.

Hemos dividido este ensayo en dos partes:

### 1.- Estudio de los modos de vibración.

Se estudia el comportamiento a vibración en todas las frecuencias para ver si existe alguna frecuencia que se vea más o menos absorbida.

Para ello se han colocado los dos espectros, se han comparado sin tener en cuenta la diferencia de valores, sólo sus inclinaciones, y se observa que trabaja igual en todas las frecuencias.

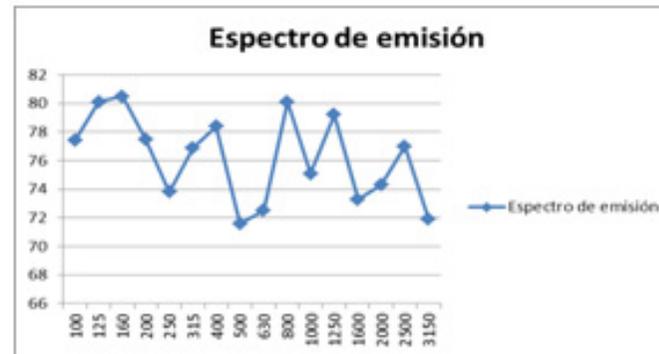
La forma de representarlo es haciendo un mapa de vibraciones de cada una de las muestras con los resultados obtenidos podremos concluir cuál de ellas es mas aislante y cual lo es menos.

#### Espectro de emisión

100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
77,4	80,1	80,5	77,5	73,8	76,9	78,4	71,6	72,5	80,1	75,1	79,2	73,3	74,3	77	71,9

#### Espectro de recepción

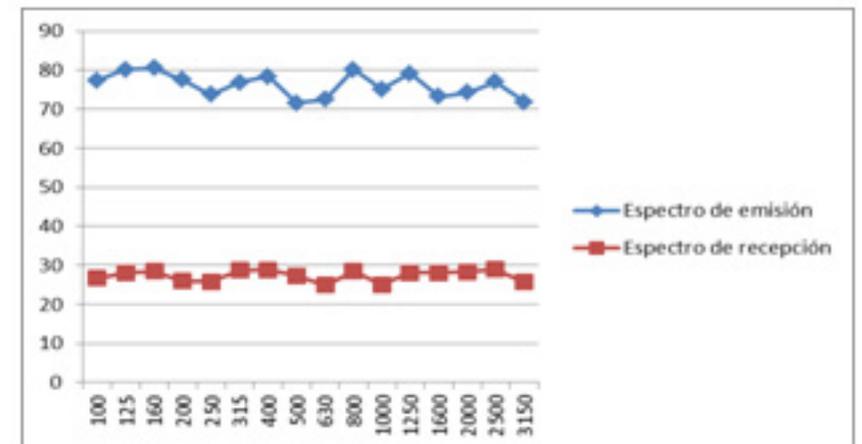
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
26,7	28,1	28,5	26	25,8	28,7	28,9	27,4	25	28,5	25,1	28,1	28,1	28,3	29	25,7



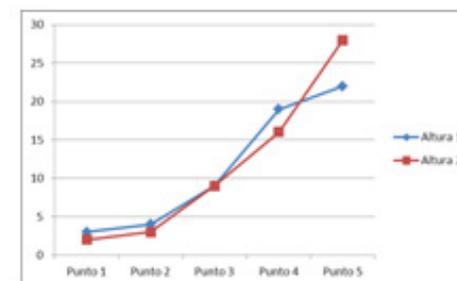
### 2.- Disipación o evolución de la vibración en cada una de las muestras

Para cada muestra hay una especie de mapeado formado por la cuadrícula de los 10 puntos medidos para cada muestra, 5 en cada altura. Para cada valor se ha sacado el resultante de todos los valores, que es un valor medio de vibración. A la derecha encontramos el valor de emisión, obtenido en el impacto.

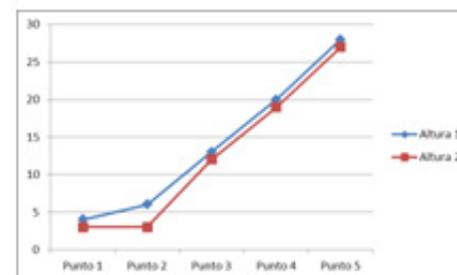
Se comprueba en este ensayo como la vibración avanza a través de la muestra, o más bien como no avanza, ya que con valores por debajo de 20, la mayoría de normativas no los tienen en cuenta. Hay que pensar que para obtener resultados se ha insertado una cánula de metal, que siempre aumenta los resultados.



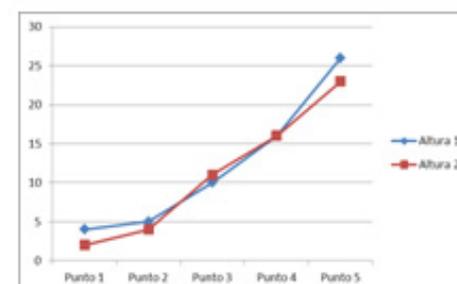
Tapia Carrícola						
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Emisión
Altura 1	3	4	9	19	22	76dB
Altura 2	2	3	9	16	28	



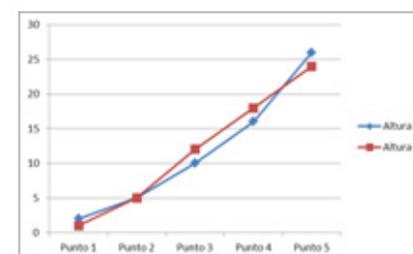
Tapia Bétera						
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Emisión
Altura 1	4	6	13	20	28	78dB
Altura 2	3	3	12	19	27	



Adobe Carrícola						
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Emisión
Altura 1	4	5	10	16	26	88dB
Altura 2	2	4	11	16	23	



Adobe Bétera						
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Emisión
Altura 1	2	5	10	16	26	78dB
Altura 2	1	5	12	18	24	



## Absorción Acústica

No tiene mucho sentido estudiarla, ya que básicamente afecta a los elementos superficiales, y en este caso la tierra ya está estudiada en diferentes estudios.

En el siguiente cuadro se hace una comparativa procedente de un estudio del COATV, en el que se ha calculado la capacidad aislante acústica de diferentes elementos en tabiquería medidos en dBA y comparados con el mínimo exigible por la NBE CA-88, que limita en 45 dBA el ruido máximo permitido entre propiedades distintas:

### 6.-Efecto del vapor y la humedad

Cuando el barro entra en contacto con el agua se expande y ablanda, reduciendo sus propiedades y llegando incluso al colapso si el efecto es continuado y no recibe tratamiento. Sin embargo debido a su porosidad, ante la influencia del vapor absorbe la humedad y se mantiene sólido, conservando su rigidez y sin expandirse. De este modo el vapor puede actuar como nivelador de humedad.

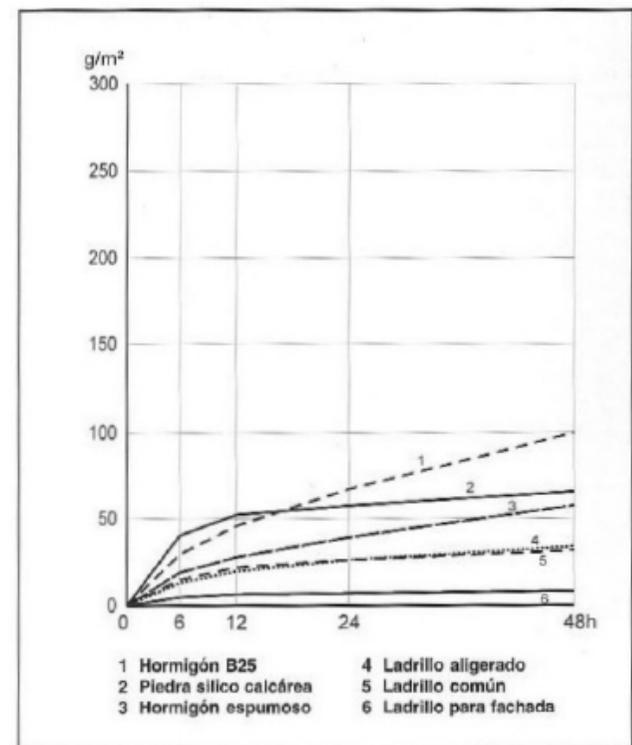
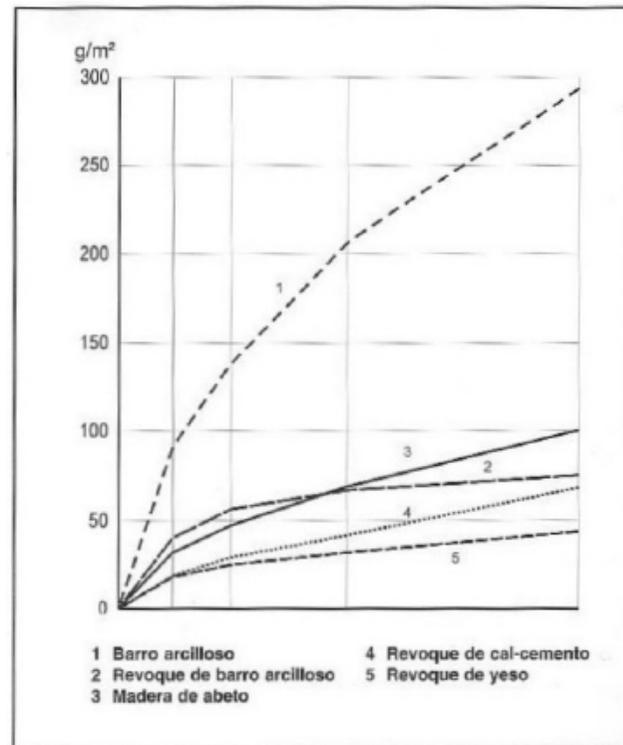
### Estudio de la humedad

Una humedad relativa menor de 40% reseca las mucosas, propiciando enfermedades como resfriados. Una humedad de un 70% resulta incómoda debido a la disminución de oxígeno en la sangre en condiciones cálida-húmedas. En estos casos se observan incrementos de dolencias reumáticas en ambientes fríos y húmedos. Sin embargo entre un 50 y 70% encontramos muchas influencias positivas, tales como la reducción de polvo fino en el aire, activación de los mecanismos de protección de la piel contra los microbios, disminuye la vida de muchas bacterias y virus y reduce los olores y la electricidad estática de los objetos. Es decir, una humedad relativa entre 40 y 70% será cómoda e incluso beneficiosa para el usuario.

Extracto del libro de Gernot Minke, Manual de construcción en Tierra:

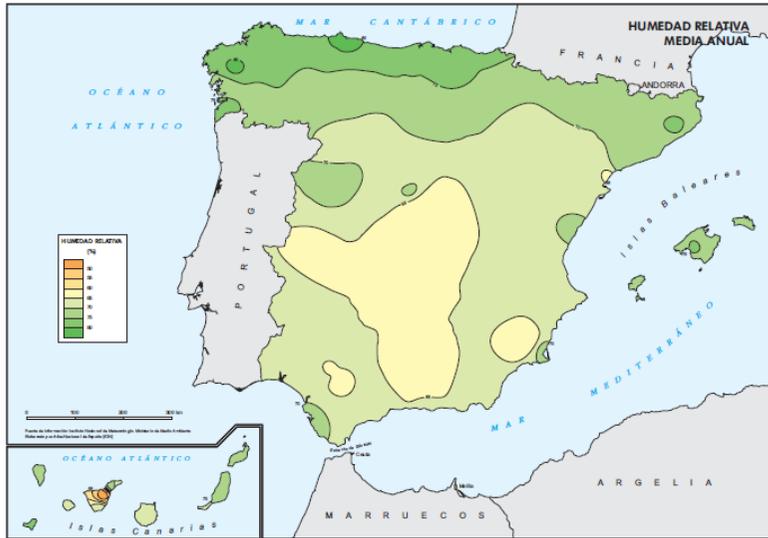
*"mediciones realizadas durante un lapso de cinco años en diferentes ambientes de una vivienda construida en 1985 en Alemania, donde los muros exteriores e interiores están contruidos con tierra, mostraron que la humedad relativa se mantiene constante durante el año variando de 45 a 55%"*

Lamentablemente no ha sido posible realizar los ensayos en cuanto a respuesta frente a humedad, sin embargo podemos obtener resultados de otros ensayos obtenidos con muestras de otro tipo de tierra para mostrar las propiedades del barro como regulador de humedad, especialmente frente a otros materiales:



Curvas de absorción en relación al tiempo, de muestras de diferentes materiales de 1.5cm de espesor, a una temperatura de 21°C con un incremento súbito de la humedad ambiente de 50% a 80%- Fuente. Gernot Minke

Medianeras entre usuarios o entre propiedades distintas (mínimo exigible según NBE CA-88 = 45 dBA)		
Solución constructiva	CA-88	Observaciones
Fábrica de ladrillo cerámico perforado de 11.5cm de espesor	43 dBA	No cumple la partida
Fábrica de ladrillo cerámico perforado de 14cm de espesor	46 dBA	Probablemente no cumplirá
Fábrica de ladrillo cerámico perforado de 24cm de espesor	52 dBA	Puede cumplir pero muy justo
Fábrica de bloques de hormigón de 19cm de espesor	47 dBA	Probablemente no cumplirá
Fábrica de doble tabicón y cámara, de ladrillo cerámico hueco de 14cm de espesor cada uno	46 dBA	Probablemente no cumplirá
Fábrica de doble muro y cámara, de bloques de hormigón de 19cm de espesor cada uno	57 dBA	Probablemente no cumplirá



Ref. 59. Mapa de España con los niveles de humedad relativa media anual.  
Fuente. Ministerio de Fomento



Mapa de España con los registros de las inundaciones históricas.  
Fuente. Ministerio de Fomento

En el siguiente mapa <sup>59</sup> se muestra la humedad relativa media anual, valor que se obtiene a partir del promedio de la humedad registrada en los doce meses del año. La humedad relativa media anual oscila entre el 75% y el 80% en las zonas costeras atlántica y cantábrica, y en torno al 72% en la mediterránea. La humedad media anual decrece hacia el interior, hasta tomar valores en torno al 60% en la Submeseta Sur.

Dada la influencia del mar, la humedad relativa es significativa en los dos archipiélagos, sobre todo, en aquellas islas que presentan menor altitud, o en las que se forman nieblas frecuentes por el efecto del relieve.

Son significativos los reducidos valores de humedad relativa registrados en el interior de la isla de Tenerife, que se explican por la notable altitud del Teide, alejado de la influencia del mar y por encima del mar de nubes.

Con los datos obtenidos deberemos ser capaces de establecer geográficamente por ejemplo que tipo de tierra aporta una mejor calidad a la construcción en función de la humedad relativa con la que es necesario lidiar en cada región.

Lamentablemente no ha sido posible realizar los ensayos respecto a la humedad. Dejamos el capítulo abierto y lo planteamos como recomendación en futuras investigaciones.

### Estudio del agua

Otro factor a tener en cuenta relacionado con la tierra es el efecto que el agua produce en ella. El agua produce sobre el adobe y el tapial, un efecto erosivo similar al ejercido sobre el suelo sin vegetación. No obstante existen diversas técnicas que la cultura popular ha desarrollado en diferentes partes del mundo para solventar este problema. Para evitar el efecto negativo del agua de lluvia que se acumula en el suelo en momentos de precipitación intensa, los edificios construidos con tierra se sustentan sobre ci-

mientos de piedra (o de cualquier otro material resistente al agua, hasta una altura en la que el agua no pueda llegar a ella. Para los casos de lluvia racheada (que cae con cierta inclinación por acción del viento) existen otras soluciones como colocar aleros o recubrir el muro con una capa de cal. En México una técnica ancestral de origen prehispánico consiste en recubrir las paredes de adobe o tapial con una mezcla de baba del nopal (conocida en otros sitios como chumbera o tunera) y cal para dotarla de capacidad impermeable.

Las lluvias, la nieve, las heladas y las inundaciones son los grandes enemigos de la arquitectura de tierra. Para conocer las características de nuestras muestras será necesario hacer unos ensayos que nos muestren que efectos produce el agua sobre ellas. Una vez obtenidos los resultados se analizará con los diferentes mapas que zonas requerirán un mayor esfuerzo en su composición o dónde no es recomendable construir con tierra: inundaciones históricas y la frecuencia de lluvias. En la actualidad las situaciones de riesgo hidrológico tienden a aumentar como consecuencia de la ocupación de los fondos de los valles, o incluso los lechos, por edificaciones e infraestructuras.

Con el mapa de precipitaciones medias anuales <sup>60</sup> comprobaremos el valor que se obtiene a partir del promedio de las lluvias registradas en los doce meses del año- En España este valor se distribuye de forma irregular, aunque mantiene una estrecha relación con la configuración del relieve.

En el mapa se puede observar que:

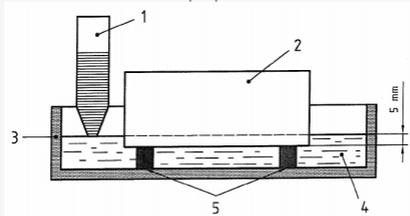
- Las precipitaciones disminuyen de norte a sur.
- Las precipitaciones en la vertiente atlántica son superiores a las de la mediterránea.

Es fácil observar que las precipitaciones más importantes tienen lugar en las laderas de los

sistemas montañosos situadas a barlovento de los vientos húmedos, frente a las de sotavento, donde las cantidades son en general leves.

### Ensayo de Capilaridad

El ensayo de capilaridad lo haremos conforme indica la Norma UNE41410:



donde:

- 1.- Depósito. Nivel constante
- 2.- Bloque
- 3.- Cubeta
- 4.- Agua potable
- 5.- Soportes regulables

### Valencia:

La muestra corresponde a una pieza de adobe extraída de la zona de la Torre Bofilla, en Bétera.

Como se ha visto en ensayos anteriores la muestra es arcillosa y presenta una gran resistencia. Quizá hubiera sido conveniente corregir las proporciones de arcilla y arena para evitar retracciones en su secado, pero en la construcción del adobe se comprobó que no era necesario.

La muestra se ha introducido en un recipiente con agua y se han medido los tiempos y centímetros de ascenso del agua por capilaridad.

### Alicante:

La muestra ensayada corresponde a un bloque de adobe de tierra procedente de Carrícola. Esta muestra es arenosa, y desde un primer

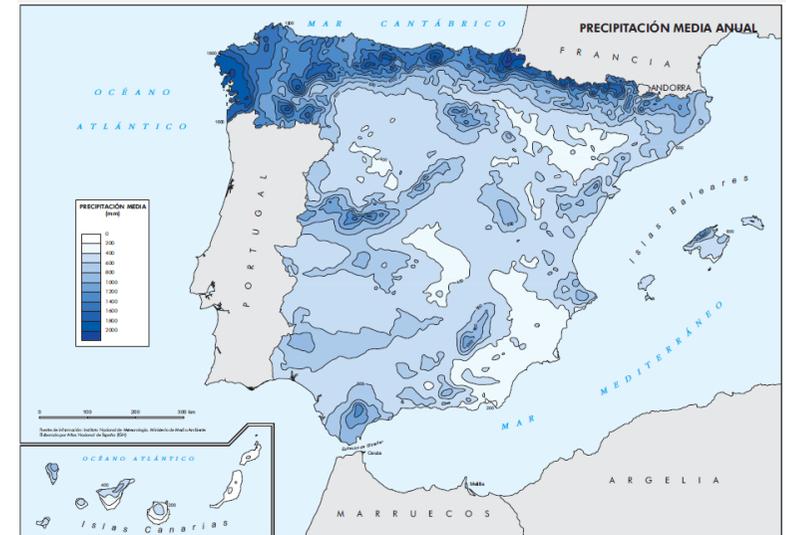
momento observamos que era necesario estabilizarla con arcilla. Sin embargo, como se ha explicado con anterioridad, se ha dejado la muestra inalterada.

El ensayo efectuado ha consistido en comprobar la absorción de la muestra. Para ello se ha dispuesto en el interior de un recipiente con agua, se ha introducido y se ha medido la marca de agua inicial y se han ido tomando medidas de la progresiva absorción que deja notar a través del cerco de humedad que muestra en la superficie. La capilaridad ha sido evidente desde el primer momento. A los 3 minutos la marca había ascendido 2cm, y a los 20min había ascendido 4. Esto ha significado que al cabo de 2h la muestra haya estado completamente saturada de agua. De hecho, pese a la alta resistencia que presenta al tacto, la baja consistencia debida a la falta de arcilla ha comenzado a disolver la muestra en contacto con el agua.

Ha quedado evidenciado la baja conveniencia del uso de tierra sin una mezcla correcta de arcilla+arena+grava.



Ensayo a capilaridad de la muestra de adobe procedente de Bétera  
Fuente. propia

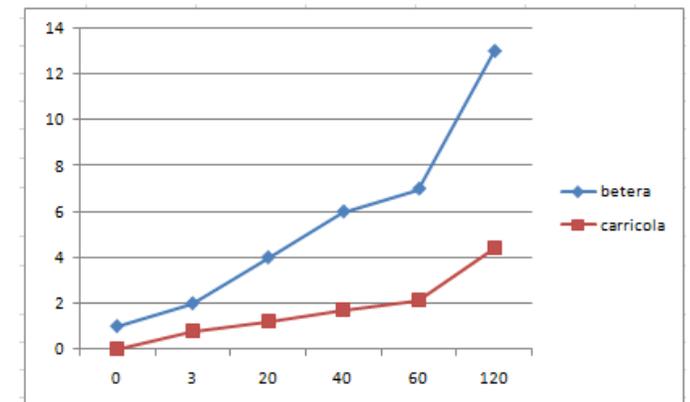


Ref. 60. Mapa de España con los niveles de precipitaciones medias anuales.  
Fuente. Ministerio de Fomento

Adobe Bétera						
Minuto	0	3	20	40	60	120
Ascenso (cm)	1	2	4	6	7	13

Adobe Carrícola						
Minuto	0	3	20	40	60	120
Ascenso (cm)	0,5	0,8	1,2	1,7	2,1	4,4



Tablas y gráfica comparativa representativas de la evolución durante el ensayo de capilaridad de ambas muestras.  
Fuente. propia

## 4.-CONCLUSIONES Y COMENTARIO FINAL

### CONCLUSIONES

Para hacer más fácil la lectura, las conclusiones serán comentadas en el siguiente orden:

- 1.- Análisis del propósito inicial
- 2.- Estado real de la arquitectura de tierra
- 3.- Influencia medioambiental
- 4.- Regularización de la Arquitectura de Tierra.
- 5.- Análisis de las encuestas a profesionales de la construcción.
- 6.- Proyecto y gestión
- 7.- UNE 41410: BTC
- 8.- Limitaciones a la A.T.
- 9.- Problemas contemporáneos de la A.T.
- 10.- Dificultades en los ensayos

### 1.- PROPÓSITO INICIAL

En vista del creciente interés en la arquitectura tradicional como alternativa sostenible a la actual, pareció conveniente estudiar la posibilidad y conveniencia de crear una base de datos en la que se especificaran las limitaciones que esta tendría en diferentes áreas de la Península Ibérica en función de las condiciones geográficas

que existieran, y con vistas a favorecer la aut-construcción y promover la ejecución de obra nueva en tierra por medio de la eliminación de aquellos factores que intimidan al posible usuario ante el uso de este material.

### 2.- ESTADO REAL DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA EN ESPAÑA

A raíz de la investigación llevada a cabo, se ha visto que la arquitectura de tierra está desarrollando su incursión en la construcción actual muy poco a poco, pero a un ritmo constante. Fuentes consultadas muy involucradas con la construcción tradicional y bioconstrucción así lo afirman basándose en su experiencia en obras que han desarrollado y desarrollan en España. Afirman que donde existe mayor demanda es en zonas de interior, rurales y para gente que busca paz y tranquilidad en la naturaleza. La Comunidad Valenciana sería una de las zonas donde menos se estaría desarrollando, mientras que en Castilla se están llevando a cabo obras de nueva planta y rehabilitaciones.

La demanda va en aumento, pero a una velocidad muy pequeña. Esto puede deberse a una mayor difusión y puesta en conocimiento de

estas técnicas, pero sigue siendo algo que se mueve en círculos muy reducidos.

Se realizan numerosos encuentros de técnicos que intercambian investigaciones y experiencias, se realizan cursos y jornadas de voluntariado. Esto demuestra que el número de técnicos interesados puede considerarse elevado, sin embargo lo que sorprende es que lo que más se precisa es mano de obra dispuesta a trabajar con tierra y jefes de obra. Por tanto quizá nos encontremos ante una situación de falta de formación.

### 3.- INFLUENCIA MEDIOAMBIENTAL

Se ha demostrado el alto consumo energético y los elevados niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> que provienen de la industrialización de materiales de construcción. Se ha comprobado cómo la elevada producción de materiales innovadores y su incorporación en la obra suponen un desgaste ambiental muy grande y el uso de sus propiedades no siempre es bien concoido por los técnicos, que navegan en un mar de posibilidades (y de dudas) ante la avalancha de productos que ofrece el mercado.

Es preciso por tanto promocionar los materiales naturales en la construcción, ya sea a nivel estructural y cerramientos, como aislantes. El mercado es más reducido que el primero, aunque ofrece muchas opciones de calidad y buenos resultados. Esto no significa que se renuncie al hormigón, ladrillo y acero. Más bien significa que una correcta combinación de todos ellos puede dar como resultado viviendas muy eificientes, resistentes, duraderas y con menores costes ambientales en su ejecución.

### 4.- REGULARIZACIÓN DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA

Se ha originado un debate en torno a la conveniencia o no de la creación de una regularización de la tierra como material de construcción. Ex-

isten diferentes versiones y escenarios con un mismo punto en común: es imprescindible para la sostenibilidad el uso de técnicas tradicionales de construcción.

La consecuencia de la normalización de la tierra podría ser muy beneficiosa desde el punto de vista de aquellos técnicos y usuarios escrupulosos con las normativas y que a raíz de su creación tendrían más en consideración su uso. Establecer unas normas de uso, conveniencia, limitaciones, recomendaciones, etc. y definir técnicas constructivas a nivel normalizado que lo diferencien de las numerosas recomendaciones, manuales y blogs que circulan sin ninguna supervisión o control ni con estándares de calidad.

Otra consecuencia menos beneficiosa podría suponer justamente el efecto contrario. En el caso de una regulación y aumento de exigencias normativas creadas se originaría una disminución de técnicos interesados en su uso, por huir quizá de una presión normativa con un producto ya de por sí difícil de comercializar. La arquitectura de tierra no necesitaría por tanto una normalización, necesitaría más bien darse a conocer más. Se aboga por tanto más en una continuación de aprendizaje tradicional que por una regularización.

Al margen del debate parece que lo que sin duda necesita la arquitectura de tierra es mayor difusión a nivel técnico, en universidades y post grados. Fomentar su uso a través de propaganda a nivel Estatal, desde los Ministerios de Cultura y Medio Ambiente. Mostrar al ciudadano de a pie que no es algo a lo que temer.

Es importante también que el problema de la falta de conocimiento de los usuarios se ataje desde la raíz. El usuario no sabe, ni siente que tenga la necesidad de saber, acerca de calidades de los materiales de construcción. El usuario por lo general optará por aquello que es-





téticamente le resulte más atractivo y confiará en que el técnico haya decidido correctamente los materiales utilizados y en que se haya ejecutado conforme a una normativa que por supuesto desconoce. Es por tanto tarea de los proyectistas y arquitectos inculcar al ciudadano de a pie los beneficios de este tipo de arquitectura a través de sus promociones y proyectos. Es un debate interesante por todas las aportaciones que puede generar. A día de hoy sigue abierto.

### 5.- ENCUESTAS A PROFESIONALES DE LA CONSTRUCCIÓN

Las encuestas revelan que existe un gran desconocimiento entre los profesionales de la construcción. Saben que existe la arquitectura de tierra y conocen alguna de sus propiedades, sin embargo la creencia más extendida es que se trata de una arquitectura desfasada. Reciben información docente muy escasa a modo de historia de la arquitectura pero enseguida se diluye en un mar de nuevas tendencias mucho más modernizadas. Ven un gran problema la inexistencia de normativa regulatoria y optarían por su uso si esta existiera.

Aquí es necesario hacer una observación que surgió en una conversación con el arquitecto Pedro Bel. Si es cierto que los alumnos, futuros profesionales, no reciben suficiente información acerca de las técnicas de arquitectura de tierra, ni sus propiedades ni sus posibilidades actuales, cómo se explica que muchos de los materiales innovadores que no son mostrados en las universidades, si son utilizados una vez comienzan sus andaduras en la construcción. La respuesta es sencilla, se trata de interés. Si no existe interés no importarán las normas ni la docencia.

Es por tanto una tarea fundamental fomentar el interés en este tipo de arquitecturas, planteando ejemplos actualizados y dejando atrás

los toscos ejemplos de siglos pasados, haciendo que entonces no sea cuestión del material a utilizar si no del diseño, la seguridad y la durabilidad la concepción de una arquitectura tradicional en una época contemporánea.

### 6.- PROYECTO Y GESTIÓN

A través de los encuentros y entrevistas se confirma que tanto el proyecto de ejecución como la gestión administrativa de proyectos de arquitectura de tierra son completamente idénticos al resto, haciéndolos completamente viables de cara a la administración.

No existe un problema en ninguno de estos dos puntos, más allá de la ignorancia que pueda existir por parte de un técnico que deba revisar el proyecto. Por las experiencias relatadas, la gestión administrativa únicamente desea comprobar que el proyecto se vaya a ejecutar en una zona adecuada, que tenga el visado del Colegio correspondiente y que se abonen las tasas que convenga. Todo lo demás recaerá sobre el técnico o técnicos que se responsabilizarán de la obra en todos sus aspectos. El técnico competente deberá utilizar para la elaboración del proyecto la escasa normativa que existe en España como la UNE 41410, complementada por estudios, ensayos independientes y normativas extranjeras.

### 7.-UNE 41410:BTC

Como se ha explicado en su punto correspondiente, una norma UNE no es de obligado cumplimiento, pero si una recomendación. A falta de una normativa más extensa o firme, es un muy buen punto de partida para tomar referencias acerca de las exigencias en cuanto a BTC y sus ensayos.

Sin embargo parece evidente que la Norma UNE41410 tiene carencias y está incompleta al no permitir que se garantice el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en el CTE. Esta carencia se acrecenta con las empre-



sas de fabricación del BTC que ofrecen unas fichas técnicas incompletas e insuficientes. La creación de unas normas relativas a adobe y tapial pueden tomar como modelo la UNE 4141, mejorando aquellos aspectos que se deben mejorar. Su fomento puede ir en la línea de complementar y desarrollar la UNE 41410 para BTC.

## 8.- NECESIDAD DE ESTABLECER LIMITACIONES A LA ARQUITECTURA DE TIERRA

En este punto no se ha llegado a la conclusión de si es necesario o no establecer unas limitaciones constructivas de la arquitectura de tierra en la Península. Es posible que estas limitaciones sean las establecidas por el mismo sentido común del constructor y su buen hacer. Sin embargo en vistas a una posible normalización hemos realizado unos ensayos sobre muestras de tierra recogidas en Alicante y Valencia. Estas tierras no se han alterado. No se ha añadido arena ni arcilla a su composición original.

Lo que se pretende con esto es demostrar las consecuencias de utilizar cualquier tierra que se pueda tener en posesión sin atender a unos requisitos mínimos y conocimientos técnicos, especialmente en cuanto a la autoconstrucción. Efectivamente se ha comprobado que no todas las tierras responden del mismo modo a las exigencias mínimas de durabilidad y confort. Es preciso establecer unos requisitos mínimos de conocimiento de técnicos y usuarios autoconstructores a fin de evitar posibles desastres.

Así pues se comprobó que las tierras procedentes de Carrícola tenían una base muy arenosa, mientras que las procedentes de Bétera eran arcillosas.

De este modo cuando se utilizaron las tierras de Carrícola para la tapia, este se levantó sin problemas y presentaba alta resistencia, sin em-

bargo una vez terminado exigía su revoco para evitar el progresivo desprendimiento de las diferentes capas superficiales de arena, que con el tiempo terminarían por debilitarlo y destruirlo. En cuanto a los ladrillos de adobe se debería hacer el mismo proceso de protección mediante revoco. Se pudo comprobar como a pesar de su alta resistencia aparente, en contacto con el agua su durabilidad se vio reducida a mínimos, llegando a disolverse literalmente.

Sin embargo la tapia de Bétera se mostró en todo momento muy resistente, llegando a presentar incluso cierto monolitismo. Así como los ladrillos de adobe, que tuvieron una buena resistencia al agua.

## 9.- PROBLEMAS CONTEMPORÁNEOS DE LA ARQUITECTURA DE TIERRA

Tal como se ha explicado anteriormente, los principales problemas son el desconocimiento sobre la arquitectura de tierra a nivel universitario y popular, y la controversia que existe en cuanto a la inexistencia de normativa específica.

Pero al margen de estos dos factores nos topamos con un inconveniente que nos ha limitado mucho: Los marcos de ensayo

Han sido numerosos los problemas que ha supuesto la falta de regularización de los ensayos con tierra. Con excepción de ensayos a resistencia, podríamos citar como problemas los que hemos experimentado con los marcos de ensayo al fuego, que no están adaptados para cualquier elemento a ensayar y los requisitos de su ensayo nos obligaban a variar espesores y medidas que pueden llegar a alterar los resultados esperados para un proyecto específico. No existen al alcance marcos de ensayo que faciliten los ensayos con tierra o simplemente no están muy extendidos dada la baja demanda. Otro ejemplo es en acústica, donde el ensayo





de transmisión acústica no se pudo hacer debido a que no es posible cerrar un muro de tapia con un techo ya definido por no poder apisonar la última hilada.

Son inconvenientes fácilmente solucionables con la elaboración de aparatosos apeos o con el diseño de nuevos elementos soporte aptos para este material. Pero a día de hoy se puede afirmar que los elementos de ensayo existentes no están diseñados para los ensayos de la tierra, aunque algunos puedan utilizarse.

### 10.- PROBLEMAS EN LAS FASES DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS

Se han identificado 8 fases:

#### 1.- Establecer zonas de muestreo.

Aunque la idea principal es ofrecer la posibilidad de utilización de cualquier tierra para su uso como material de construcción, en esta fase hemos determinado que para los ensayos es preciso establecer una zona de muestreo y ensayo con criterio. Esto es, puesto que la tierra no se encuentra con iguales propiedades en diferentes puntos por próximos que estén, es conveniente que la tierra seleccionada sea aquella que se encuentre en zonas que se contemplen construcciones en las que haya sido empleada con anterioridad. Por tanto se seleccionaron tierras próximas a las torres árabes de Bétera y Carrícola para su ensayo.

#### 2.- Obtención de permisos.

Está claro que la tierra es un elemento de bajo coste, sin embargo los terrenos suelen ser de propiedad privada, y están especialmente controlados en zonas que, como las escogidas, puedan estar consideradas como zona arqueológica. Por tanto fue necesario solicitar permiso a ambos ayuntamientos y comunicar al SEPRONA nuestra actividad y propósito. Estos trámites son lentos y se suelen gestionar por correo electrónico, sin embargo tanto Bétera como Carrícola respondieron ofreciendo más

facilidades que problemas, llegando incluso a implicarse hasta cierto punto. No obstante de Almenara no llegamos a recibir ninguna comunicación, así que no fue posible su muestreo. Es una labor de burocracia necesaria para poder trabajar con tranquilidad. Se recomienda su gestión inmediata para obtener respuesta lo antes posible.

#### 3.- Logística: Recogida y transporte del material a ensayar

Los puntos están alejados de la Universidad Politécnica de Valencia. Carrícola está a 103km de Valencia y Bétera a 23km. Aunque el mayor problema ha sido lograr un medio donde poder cargar la tierra. No fue posible contar con ningún vehículo de gran capacidad, por tanto el transporte se tuvo que hacer en un utilitario de reducidas dimensiones, cargando el material en capazos de 30 litros y debiendo hacer varios viajes. Esto supuso unas inversiones económicas y de tiempo considerables.

En el caso planteado a gran escala, si se tuviera que recoger muestras de diferentes puntos de la Península es recomendable utilizar un vehículo de carga, como una furgoneta, ya que es muy probable que solo se pueda realizar un único viaje.

#### 4.- Construcción de encofrados

Es posible encontrar encofrados ya fabricados, o incluso se puede utilizar encofrados convencionales para la construcción de muestras de tapial. Sin embargo opté por la elaboración propia para, de ese modo, comprobar qué dificultades puede existir en su construcción. Además ofrece la ventaja de poder confeccionarlo a nuestro antojo, cosa que resultó ser de gran utilidad debido a los cambios que me vi obligado a hacer durante la ejecución.

#### 5.- Gestión del espacio de acopio, secado y trabajo

Se requiere de una amplia zona donde acopiar

la tierra y donde almacenar el material. Especialmente es importante una zona donde las muestras puedan secarse convenientemente. Se trabajó en hasta 3 lugares diferentes: en la vivienda personal para la construcción del tapial y la confección de los adobes, la nave de AIDICO donde se realizarían los ensayos de resistencia al fuego y en el laboratorio de acústica de la escuela de Arquitectura Técnica. Para ello debí solicitar permisos a los responsables de los laboratorios, haciendo de esta gestión algo burocrático.

#### 6.- Adaptación de las muestras a los marcos de ensayo

Se pudo comprobar que existen grandes limitaciones en cuanto a realizar ensayos con el material tierra. Debido a esto debí modificar medidas y adaptarme a los marcos de ensayo existentes aunque no fuera lo más conveniente para los resultados.

#### 7.- Construcción de las muestras

El tapial requiere un trabajo realmente extenuante. Especialmente para una sola persona. Es recomendable que el trabajo sea desempeñado por mínimo dos personas, a ser posible 4 para facilitar el transporte de la tierra al interior del tapial. Existen manuales que explican el proceder del compactado, pero la realidad siempre es muy diferente.

Hay que cuidar mucho las esquinas y los bordes, porque es muy fácil limitarse a apisonar la zona central y olvidar las partes más vulnerables. La tierra debe verse ligeramente húmeda, no mojada, y el nivel de humectación variará en función del tipo de tierra. De este modo, en el caso de la tierra procedente de Bétera apenas fue necesario humedecerla por ser muy arcillosa y sin embargo la procedente de Carrícola se humedeció más por ser más arenosa. Esto se puede determinar por ensayo/error. De este modo en ocasiones ocurrió que el pisón se quedaba con grandes cantidades de

barro adherido en su base al haber un exceso de agua, dificultando el apisonado y, por tanto, propiciando su mala ejecución. Es conveniente disponer de un dosificador de agua en spray para controlar la humectación.

En cuanto a las muestras de adobe se vivió una realidad muy diferente con cada muestra, también debido a la cantidad de agua utilizada. La muestra proveniente de Carrícola (arenosa) resultó muy cómoda de mezclar con la paja y el agua. Luego al desencofrar resultaba muy cómodo puesto que el molde se separaba fácilmente del paralelepípedo. En este caso resultó de ayuda humedecer la superficie de la adobera. Sin embargo la tierra procedente de Bétera (arcillosa) resultó más difícil de trabajar al mezclarla. Requería más agua para su correcto amasado, lo que incrementó su adherencia y provocaba que en el desmoldado no se separara del molde, rompiéndose el bloque. Tuve que idear un modo de desmoldarlo por medio de plásticos que separarían las superficies del molde y del barro (imagen XXXX), de modo que al desmoldar el plástico resbalara y se “auto extendía” en el suelo manteniendo el bloque entero, a salvo del contacto con el suelo directo y con unas superficies suaves e incluso esquinas (puntos débiles) redondeadas. Es un modo que no descarto utilizar en todos los casos puesto que el desmoldado es más cómodo y las formas son más suaves y sin esquinas débiles.

#### 8.- Determinar ensayos a realizar en función de la disponibilidad

Una vez las muestras estuvieron finalizadas no todos los ensayos fueron posibles de realizar. Tuvimos que lidiar con el inconveniente y en parte desgracia del cierre de las instalaciones de AIDICO, modificando el organigrama, y no pudiendo rectificar los cambios que hice en los espesores para adaptar las muestras a los marcos de ensayo.

Una vez situado en la UPV, también tuve que renunciar a algunos ensayos. Algunos por falta de





tiempo, otros por falta de medios o imprevistos, como los ocurridos en AIDICO. Recomendamos reservar instalaciones con tiempo suficiente para que no ocurran estos imprevistos.

### COMENTARIO FINAL

Aunque en un principio puede parecer que no exista mucha información acerca de la construcción con tierra, durante el proceso de investigación de este proyecto he encontrado infinidad de documentos, blogs, manuales libre, manuales financiados por entidades privadas y públicas, libros, webs, ensayos independientes, recomendaciones, Tesis, TFM, comunicaciones en congresos, etc. hablando sobre esta temática.

Se invierte mucho dinero y tiempo en desarrollar estudios y documentos que lejos de ser investigaciones productivas son en realidad en muchas ocasiones repetitivos y no muestran un real propósito de evolución.

Ha resultado curioso comprobar que en numerosas ocasiones se utilizan las mismas imágenes, los mismos recursos, los mismos conceptos, pero era al mismo tiempo increíblemente frecuente encontrar informaciones contradictorias, incompletas e incorrectas.

Ante la falta de una regularización oficial, hay que tener un gran cuidado con de donde se extrae la información, especialmente cuando se trata de características técnicas, resistencias y valores de importancia. Es preciso consultar bibliografía muy específica para encontrar datos fiables.

Es quizá este un motivo por el que puede ser recomendable un documento oficial que recoja exigencias, requisitos, limitaciones, prescripciones, dosificaciones, metodologías de ensayo y valores de ensayo de referencia oficiales, tal como tienen en otros países, que aleje a cualquier interesado en la materia de posibles errores constructivos que pueden afectar a la reputación de la tierra.

Por otra parte, el fomento de la A.T. nace en el mismo técnico y se extiende hacia el usuario. Es preciso dar a conocer la arquitectura de tierra contemporánea en las universidades a fin de que sea el profesional quien en el futuro pueda despertar el interés de su público y la arquitectura de tierra tenga un reconocido valor y sea una opción viable para aquellos a quienes seduzca.

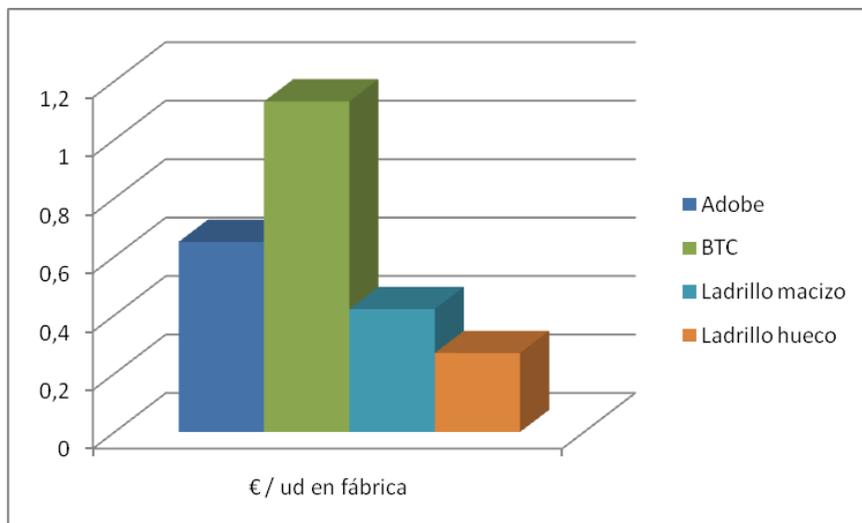
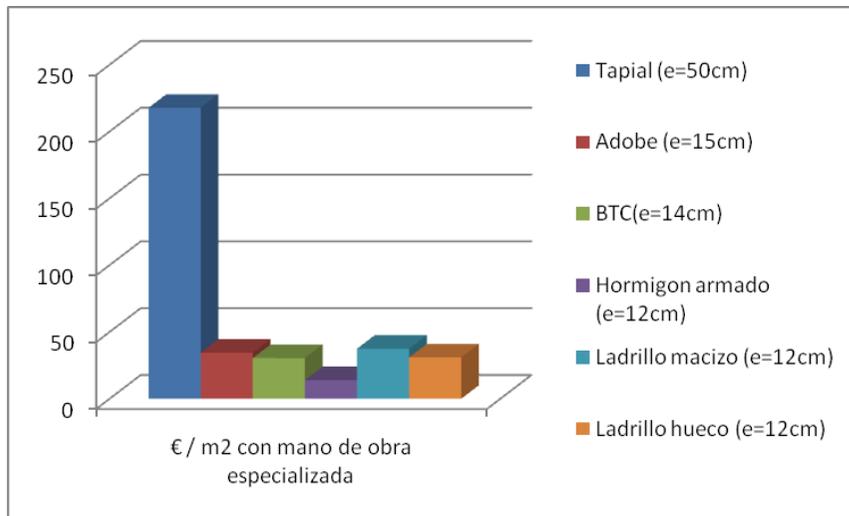
Solo dándole la importancia que merece es cuando la tendrá

# FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se muestra un listado de posibles líneas de investigación que aportarían más información en la línea del presente proyecto.

- Estudio del comportamiento de las obras de tierra de nueva planta durante la intervención de los bomberos. Efectos del agua a presión contra fachadas afectadas por el fuego considerando la baja capacidad resistente de los forjados.
- Análisis de la distribución de las arquitecturas de tierra en la Península Ibérica. (Anexo II)
- Análisis económico de la rentabilidad de tapias prefabricadas en cortas o largas distancias. Impacto ambiental.
- Estudio de combinación de elementos y materiales actuales e innovadores de construcción con la arquitectura tradicional.
- Estudio de las posibles repercusiones de la inclusión en el CTE de la arquitectura de tierra. ¿Acierto o desastre?.
- Continuación del presente proyecto: Establecimiento de las limitaciones de la arquitectura de tierra en diferentes zonas geográficas de la Península.
- Estudio de la viabilidad de una normativa reguladora que favorezca la autoconstrucción.
- Impacto económico, ambiental y estético de la ejecución de viviendas de tierra. Periodo de amortización.

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS RECOPIRADOS



## ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	RESISTENCIA ACÚSTICA (e=0,30m)	RESISTENCIA AL FUEGO	ESPESOR	min
ADOBE	0,53-1,72 N/mm2	0,46 W/mk	53,04	0,15 m	90	
TAPIAL	3,2 N/mm2	0,6-1,6 W/mk	57,85	0,15 m	90	
BTC	1,787 Kg/m3	0,81 W/mk	56,32	0,15 m	90	
HORMIGÓN ARMADO	2,03 – 5,09 Kp/mm2	2,3 W/mk	59,16	0,16	120	
LADRILLO HUECO	>=0,5 Kp/mm2	0,22 W/mk	47,56	0,11/0,20	120	
LADRILLO MACIZO	>= 1 Kp/mm2	1,04 W/mk	58,61	0,11/0,20	120	

## ANÁLISIS ECONÓMICO

	Densidades	Precio ud	m2	m3 (e=1m)
Adobe	1.200-1.500 Kg/m3	0,65 eur	34,45 (e=15cm)	-
Tapial	1.900-2.200 Kg/m3	-	217,8 eur (e=50cm)	837,44
Btc	1.700-2.000 Kg/m3	1,13	30,51 (e=14cm)	-
Hormigon armado	2.300-2.500Kg/m3	-	14 eur (e=12cm)	196,07
Ladrillo macizo	2300 Kg/m3	0,42 eur	37,5 eur (e=12cm)	162'33
Ladrillo hueco	770 Kg/m3	0,27 eur	31 eur (e=12cm)	-

## ANÁLISIS DE CONSUMOS EN PRODUCCIÓN

	Consumo de agua	Consumo energía electrica
Fabricación de adobes	150 Kg/Ton	-
Fabricación tapial	80 Kg/Ton	-
Fabricación BTC	250kg/Ton	-
Fabricación Hormigón	67,5 Kg/Ton	275-360 Kwh/Ton
Fabricación de ladrillos	77 Kg/Ton	53,10 Kwh/Ton

## ANÁLISIS DE EMISIONES POR KG Y M<sup>3</sup>

	DENSIDAD	EMISIONES POR KG	EMISIONES POR m <sup>3</sup>
ADOBE	1.200Kg/m <sup>3</sup>	0,06 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	74 Kg CO <sub>2</sub> /Kg
TAPIAL	2.200 Kg/m <sup>3</sup>	0,004 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	9,7 Kg CO <sub>2</sub> /Kg
BTC	-	-	41,2kg CO <sub>2</sub> /Kg
HORMIGÓN ARMADO (2% acero)	2.500 Kg/m <sup>3</sup>	0,18 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	455 Kg CO <sub>2</sub> /Kg
LADRILLO HUECO	670 Kg/m <sup>3</sup>	0,14 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	95 Kg CO <sub>2</sub> /Kg
LADRILLO MACIZO	1.600 Kg/m <sup>3</sup>	0,19 Kg CO <sub>2</sub> /Kg	301 Kg CO <sub>2</sub> /Kg

Fuente. Elaboración propia a partir de diferentes autores:

-Documento de investigación de la Univeridad de la Frontera. Facultad de Inegiería, Ciencias y Administración. Departamento de Ingeniería de obras Civiles.

-Construcción en tierra del S XXI. Ignacio Fernandez Fernandez.

-Bioterre

-Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. Cuerpo Académico de Prevención de Desastres NaturalesFacultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas (México).

-Oscar Hernández et Al. (1981) reportan un valor aceptable de resistencia a flexión de 3 kg/cm<sup>2</sup> para el adobe. Se concluye que el material ensayado posee una resistencia a flexión inferior a la que se ha obtenido en otros trabajos.

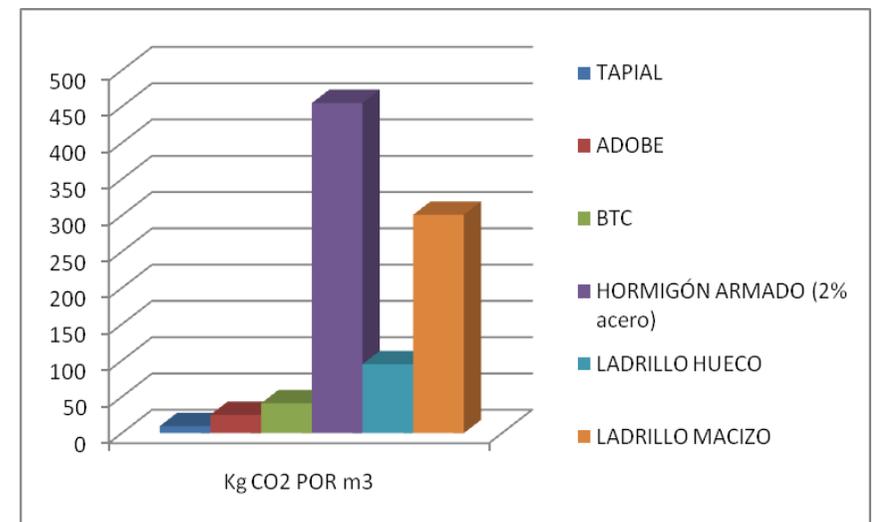
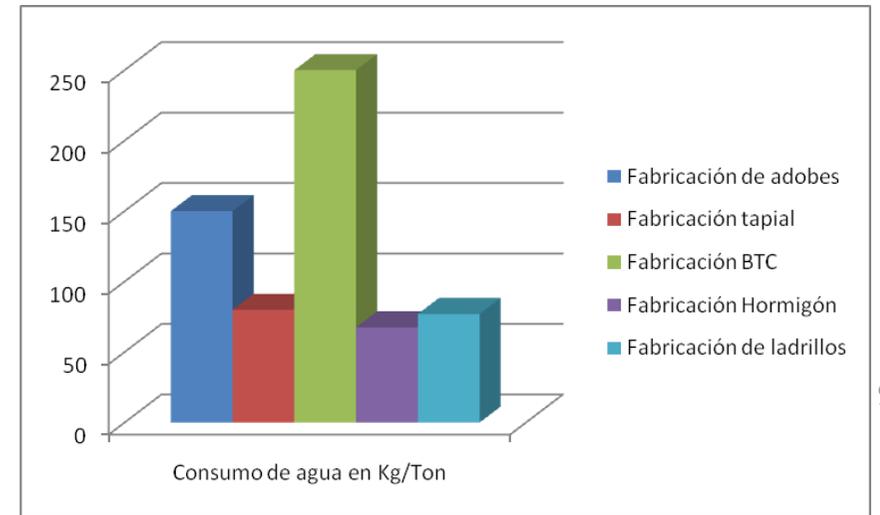
-Iniciación al análisis del cumplimiento del CTE mediante el empleo del BTC como material de construcción.

-Comportamiento a carga lateral de muros de adobe confinados. Julio Vargas Neumann.

-Fichas técnicas de la Adobera del Norte.

-Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante l muestreo, extracción y rotua de probetas testigo. Revuelta Crespo, D. , Gutiérrez Jiménez, J.P.

-CYPE Generador de precios de la construcción



# ANEXO I. COSTES POR M<sub>3</sub> DE DIFERENTES MUROS

Fuente. TFM Intervención en tapia en el S.XXI  
Ignacio Fernandez Fernandez

## RESULTADO ECONÓMICO DE LA EJECUCIÓN DE MUROS DE TAPIA EN LA ACTUALIDAD Y COMPARACIÓN

Efectuamos un comparativo de los precios de-  
scompuestos de distintas tipologías de muro  
para un mismo espesor, 40 cm.

96

m3 Muro de tapia Tierra Calicostrado, 2-3 caras vistas				
Unidades	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
h	Especialista Restaurado	21,22	1,25	26,53
h	Encargado Construcción	24,30	1,25	30,38
h	Oficial 1ª Construcción	15,92	20,95	333,48
h	Peón especializado Construcción	15,48	16,75	259,29
m3	Mortero Mixto de Cemento Blanco y Cal	91,61	0,47	42,74
m3	Tierra estabilizada con cal con corrección granulométrica	45,01	1,20	54,01
m3	Pino silvestre primera	475,79	0,08	35,68
m2	Baldosín catalán 10x20	2,84	0,03	0,07
h	Pisón compactador neumático	9,34	5,88	54,87
				<b>837,05 €</b>

m3 Muro de mampostería ordinaria irregular				
Unidades	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
h	Oficial 1ª Construcción	15,92	3,00	47,76
h	Peón especializado Construcción	15,48	1,50	23,22
h	Especialista Cantero	16,82	0,75	12,62
t	Mamp Irregular Piedra Caliza	19,59	2,63	51,42
t	Perpiaño caliza compacta	28,24	0,55	15,53
t	Ripio Caliza Compacta	16,85	0,31	5,22
m3	Mortero Mixto de Cemento Blanco y Cal	91,61	0,33	29,77
2%	Costes Directos Complementarios	185,55	0,02	3,71
3%	Costes Indirectos	189,26	0,03	5,68
				<b>194,94 €</b>

### m3 MURO DE TAPIA DE TIERRA CALICOSTRADA; 2-3 CARAS VISTAS.

Formación de muro tapial calicostrado a dos o tres caras vistas con un espesor entre 30-50 cm., mediante el compactado de tierra de similares características a las existentes, en tongadas de compactación no mayores de 10 cm mediante pisón manual o eléctrico y la colocación de encofrado de madera (tapialeras) recuperable respetando las hiladas y dimensiones longitudinales originales. Se aplicara al supuesto de cajón en muro nuevo continuo, realizado con hormigoncillo de cal y tamaño máx. de árido de 10 mm en paramento exterior con un espesor de 10-15 cm. El muro recrecido deberá alcanzar una densidad no menor de 2090 Kg/m<sup>3</sup>. El paramento visto presentará similar aspecto al de los muros existentes y se introducirán en el muro de fragmentos cerámicos macizos colocados a testa para diferenciar la intervención del muro original.

### 4.1. m3 MURO DE MAMPOSTERÍA ORDINARIA IRREGULAR; 1 CARA VISTA.

Muro de mampostería ordinaria irregular, de 40 cm. de espesor, careada a 1 cara, ejecutado con mampuesto irregular de piedra de caliza compacta sin labrar, aprovechamiento de un 20% de mampuesto propio, presentando una cara preparada para formar parte del paramento visto, con las siguientes características: peso específico 2.6 kg/dm<sup>3</sup>, porcentaje de absorción de agua en peso del 0.2%, porcentaje de porosidad aparente en volumen del 0.4%, resistencia a la compresión de 500 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a flexo-tracción de 60 kg/cm<sup>2</sup>, tomado con torta de mortero de cal y cemento blanco de dosificación 4:1:6 de 2-3 cm. de espesor, incluso replanteo, nivelación, aplomado, perpiaños para arriostamiento transversal, (aproximadamente 30% del volumen), evitando la concurrencia de más de tres aristas de mampuesto en un vértice, ripio de piedra para acuñado, mermas y limpieza, ejecutado según NTE-EFP.

### m3 MURO DE TAPIA DE MAMPOSTERÍA Y HORMIGÓN DE CAL; 2-3 CARAS VISTAS.

Muro de tapia de mampostería hormigonada, de 40 cm. de espesor, dos o tres caras vistas, mediante la colocación de encofrado de madera (tapialeras) recuperable, realizado a base de piedra calcárea, aparejada en orden de hiladas, tomadas con hormigón de cal y cemento de resistencia 15 N/mm<sup>2</sup> confeccionado en obra, con reutilización de las piedras existentes en el lugar en un 20 % de las necesidades, incluso replanteo, aplomado y encofrado de madera de pino, humedecido de los mampuestos, nivelación y limpieza. Los paramentos se dejaron con aspecto similar al de los muros existentes, respetando el modulaje de tapialeras originales y se introducirán en el muro fragmentos de cerámica, macizos, colocados a testa, en los encuentros de la nueva intervención y los muros originales. En las partes bajas del muro, y a criterio de la DF, se facilitará la salida de las aguas pluviales a través de mechinales.

### m3 MURO; HORMIGÓN ARMADO, ENCOFRADO A 2 CARAS.

Formación de muro de 40 cm de espesor medio, encofrado a dos cara y ejecutado en condiciones complejas con encofrado metálico con acabado tipo industrial para revestir; realizado con hormigón armado HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, con una cuantía aproximada de acero UNE-EN 10080 B 500 S de 60 kg/m<sup>3</sup>. Encofrado y desencofrado de los muros de hasta 3 m de altura, con paneles metálicos modulares. Incluso p/p de formación de juntas, elementos para paso de instalaciones, y sellado de orificios con masilla elástica. Incluye: Replanteo del encofrado sobre la cimentación. Colocación de la armadura con separadores homologados. Colocación de elementos para paso de instalaciones. Formación de juntas. Limpieza de la base de apoyo del muro en la cimentación. Encofrado a dos caras del muro. Vertido y compactación del hormigón. Desencofrado.

Curado del hormigón. Sellado de orificios.

### m3 MURO; FÁBRICA DE LADRILLO CARA VISTA, 2 CARAS VISTAS; ESPESOR 50 CM.

Muro de fábrica vista con aparejo español y 50 cm. espesor. Juntas de 1 cm. Construida con ladrillo rojo liso 24x11.5x5 cm., recibido con mortero bastardo de cal y cemento de dosificación 1:1:6, incluso medios de elevación carga y descarga, replanteo, nivelación, parte proporcional de mermas y roturas, humedecido de las piezas y limpieza, construido según NBE-FL-90.

m3 Muro de tapia de mampuesto y hormigón de cal; 2. 3 Caras Vistas.				
Unidades	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
h	Especialista Restaurado	21,22	1,16	24,62
h	Encargado Construcción	24,30	1,16	28,19
h	Oficial 1ª Construcción	15,92	15,24	242,66
h	Peón especializado Construcción	15,48	14,37	222,45
m3	Mortero Mixto de Cemento Blanco y Cal	91,61	0,50	45,81
t	Mamp Irregular Piedra Caliza	19,59	0,70	13,71
t	Ripio Caliza Compacta	16,85	0,25	4,21
m3	Pino silvestre primera	475,79	0,08	35,68
m2	Baldosin catalán 10x20	2,84	0,03	0,07
2%	Costes Directos Complementarios	617,40	0,02	12,35
3%	Costes Indirectos	629,75	0,03	18,89
				648,64 €

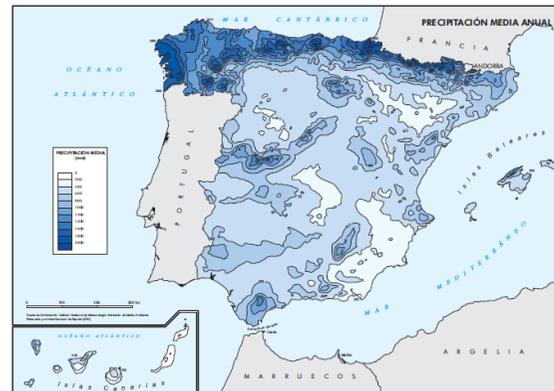
m3 Muro de Hormigón Armado; Acero 60 kg/m3				
Unidades	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
h	Peón especializado construcción	15,48	0,70	10,84
h	H 25 blanda tamaño máximo 20 lia	54,00	1,15	62,10
h	Vibrador gasolina aguja ø30-50mm	2,32	0,15	0,35
h	Costes Directos Complementarios	73,28	0,02	1,47
m3	B 500 S corruø32 e/muros	0,88	60,00	52,80
m2	Encofrado muro alt <1.5 2 caras	27,41	2,50	68,53
				196,07 €

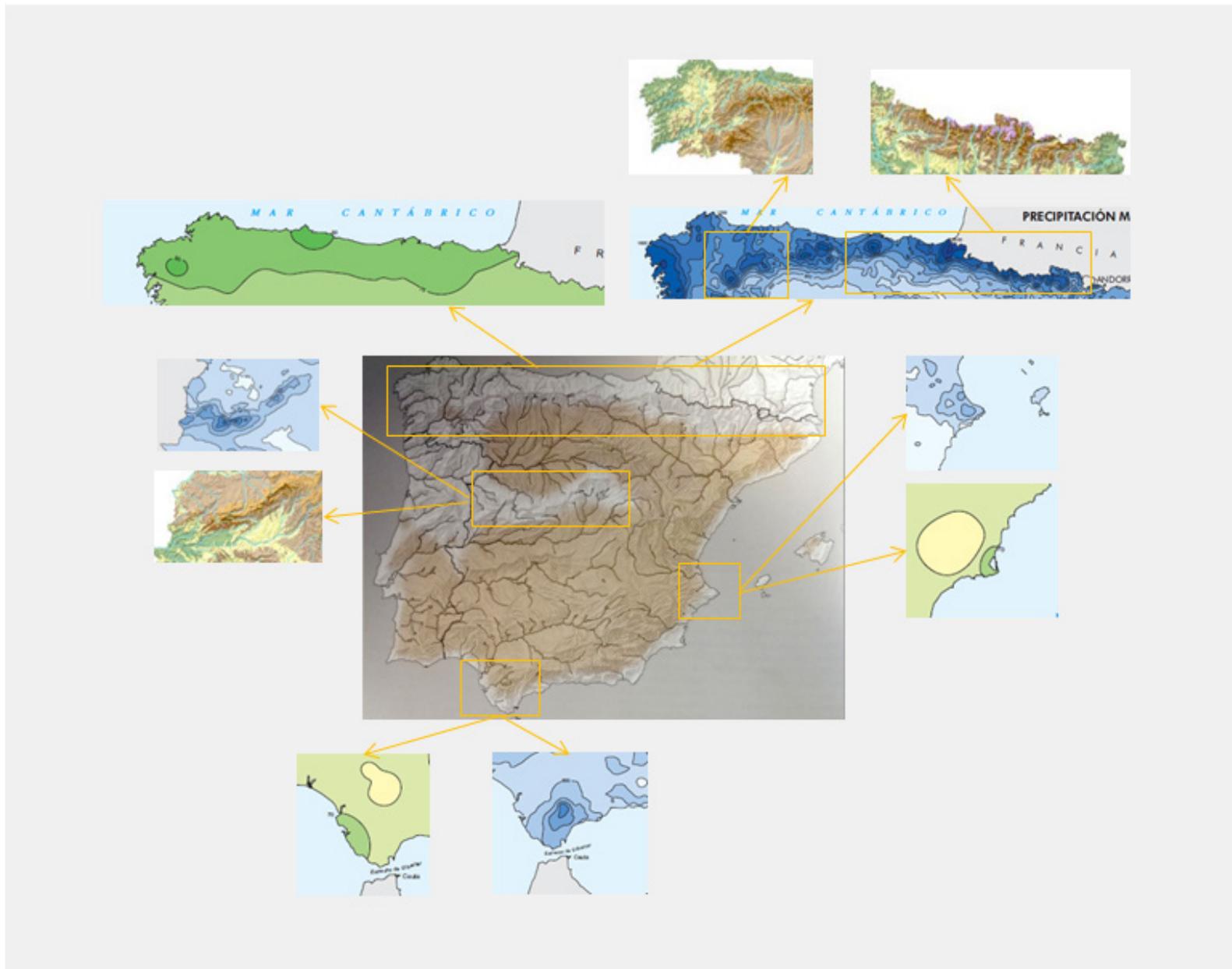
m3 Fabrica ladrillo cara Vista, 2 Caras Vistas				
Unidades	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
h	Oficial 1ª Construcción	15,92	1,60	25,47
h	Ayudante Construcción	15,65	1,60	25,04
h	Peón especializado construcción	15,48	1,00	15,48
h	LCV rustico rj 24x11.5x5	0,12	550,00	66,00
m3	Mortero Mixto de Cemento Blanco y Cal	91,61	0,29	26,57
m3	Agua	1,11	0,53	0,59
2%	Costes Directos Complementarios	159,15	0,02	3,18
				162,33

# ANEXO II. RELACIÓN ENTRE EL CLIMA Y LA CONSTRUCCIÓN EN TIERRA

Relación de mapas según diferente acción meteorológica y comparación con la distribución geográfica de arquitectura tradicional de tierra (fuente Fernando Vegas y Camila Mileto)

Se plantea una línea de investigación acerca de la peculiar distribución desigual de la tapia y de la arquitectura de tierra en general a lo largo de la península. Esta distribución es fruto del desarrollo tecnológico que desarrollaron las diferentes regiones, que con el saber popular conocían los lugares más propicios para este tipo de construcciones. A través de los mapas se comprueba como de algún modo esta arquitectura tan vulnerable al agua huye de aquellas zonas propensas a mayores intensidades de lluvias y humedad. Tal es el caso que incluso se ve cierta semejanza con la distribución que definen los mapas 2 y 4, correspondientes a la humedad relativa media anual y precipitación media anual. Se puede comprobar cómo en las zonas centro y costeras, en lugares en concreto y separadas entre sí, incluso en ocasiones aisladas, la presencia de arquitectura de tierra es escasa. Consideramos que esta línea de investigación puede resultar interesante y aportar información importante acerca de qué zonas son más adecuadas para estas construcciones basándonos en la sabiduría de los antiguos constructores. Este estudio puede dar información que contribuya al mapa de limitaciones constructivas de la arquitectura de tierra en la Península.







# BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Algorri, E.: "La construcción con tierra en el Código Técnico de la Edificación". Más es menos, Construir en Barro. Una Arquitectura de Futuro (2009). Centro de Estudios Benaventanos Ledo del Pozo. ISBN: 978-84-936651-4-2.
- 2.-Rauch, M.; Kapfinger, O.: Rammed Earth, Lehm un Architektur. Ed. Birkhäuser, Basel, 2001. ISBN 3-7643-6461-0.
- 3.-Maldonado, L.; Vela Cossío, F.; Hoz, J.: Diccionario de construcción tradicional. Tierra. Editorial Nerea, San Sebastián, 2003. ISBN: 84-89569-80-0.
- 4.-Bauluz, G.; Bárcena, P.: Bases para el diseño y construcción con tapial. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, 1992. ISBN 8474338395.
- 5.-Smallcombe, J.; Abey, J.: "Cob bus shelter at the Eden Project". Devon Earth Building Association newsletter, Issue spring (2005), pp. 5-9.
- 6.-Normativa de construcción con tierra neozelandesa NZ 4297:1998.
- 7.-Ficha técnica del Bloque BTC Bioterre, fabricante: Grup Planas.
- 8.-Font, F.; Hidalgo, P.: Arquitecturas de Tapia. Col.legi Oficial d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Castelló, Castellón, 2010. ISBN 978-84-613-3143-7.
- 9.-Walker, P.; Keable, R.; Martin, J.; Maniatidis, V.: Rammed Earth, Design and construction guidelines.
- 10.-Ed. BRE Bookshop, 2005. ISBN 1-86081-734-3.
- 11.-Rael, R.: Earth architecture. Ed. Princeton Architectural Press, Nueva York, 2009. ISBN 978-1-56898-767-5.
- 12.-Guigou, C.: La tierra como material de construcción. Colegio Oficial de arquitectos de Canarias, 2002. ISBN: 84-600-9721-8.
- 13.-Domínguez Alonso, M.: "Propiedades térmicas de los adobes". Ponencia presentada en el IX Encuentro Internacional de Trabajo Navapalos, (1994). publicado en Arquitectura de tierra. Encuentros Internacionales de Navapalos. Centro de Publicaciones Ministerio de Fomento, Madrid, 1999. ISBN 84-498-0387-X.
- 14.-Catálogo de soluciones cerámicas. Hyspalit e Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, 2008. Dep. legal M-41050-2008.
- 15.-Código técnico de la edificación. Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006. Ministerio de Vivienda. DBSI.
- 16.-Código técnico de la edificación. Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006. Ministerio de Vivienda. DBHR.
- 17.-Bobes, A.: Les eines del bioclimatisme. Escola Sert, Barcelona, 2007.
- 18.-Hegger, M.; Auch-Schwelk, V.; Fuchs, M.; Rosenkranz, T.: Construction materials manual. Ed. Birkhäuser, Basel, 2005. ISBN-10: 3-7643-7570-1.
- 19.-Artículo. Construir con tapial: Piscina en Toro. Enrique Antelo Tudela, Santiago Sánchez Iglesias, Cristóbal Crespo González y Antonio Raya de Blas. Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidade da Coruña eISSN 2173-6723.
- 20.-Documento de investigación de la Univeridad de la Frontera. Facultad de Inegiería, Ciencias y Administración. Departamento de Ingeniería de obras Civiles.
- 21.-Construcción en tierra del S XXI. Ignacio Fernandez Fernandez.
- 22.-Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. Cuerpo Académico de Prevención de Desastres Naturales Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas (México).
- 23.-Oscar Hernández et Al. (1981) reportan un valor aceptable de resistencia a flexión de 3 kg/cm<sup>2</sup> para el adobe. Se concluye que el material ensayado posee una resistencia a flexión inferior a la que se ha obtenido en otros trabajos.
- 24.-Iniciación al análisis del cumplimiento del CTE mediante el empleo del BTC como material de construcción.
- 25.-Comportamiento a carga lateral de muros de adobe confinados. Julio Vargas Neumann.
- 26.-Fichas técnicas de la Adobera del Norte.
- 27.-Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante l muestreo, extracción y rotua de probetas testigo. Revuelta Crespo, D. , Gutiérrez Jiménez, J.P.
- 28.-CYPE Generador de precios de la construcción.
- 29.-Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporánea en tierra. Arquitecto Gatti Fabio. TFM UPC. Director Tesina: Arch. Jaume Avellaneda Diaz-Grande.
- 30.-The earth building normative documents in the world. J. Cid, F. R. Mazarrón, I. Cañas.
- 31.-Rammed earth walls and its industrialization (formworks and ramming systems), A. von Mag, M. Rauch.
- 32.-Instituto EcoHabitar
- 33.- La restauración de la tapia en la península Ibérica. Fernando Vegas y Camila Mileto.
- 34.- TFM. Arquitectura de tierra del Shark Andalus. Pablo Guillén Marzal.





