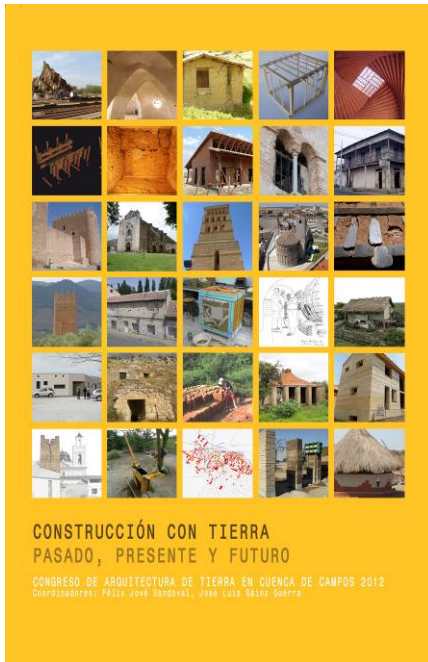




Construcción con Tierra Pasado, presente y futuro

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2012.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-616-3485-9

D.L.: VA 257-2013

Impreso en España

Abril de 2013

Publicación online.

Para citar este artículo:

Castellarnau, Á; "CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA CON MUROS DE TAPIAL EN AYERBE, HUESCA. FASE 1: ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS." En: *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 259-268. Disponible en internet: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/25in-castellarnau.pdf>

URL de la publicación: <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>

Este artículo sólo puede ser utilizado para la investigación, la docencia y para fines privados de estudio. Cualquier reproducción parcial o total, redistribución, reventa, préstamo o concesión de licencias, la oferta sistemática o distribución en cualquier otra forma a cualquier persona está expresamente prohibida sin previa autorización por escrito del autor. El editor no se hace responsable de ninguna pérdida, acciones, demandas, procedimientos, costes o daños cualesquiera, causados o surgidos directa o indirectamente del uso de este material.

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Copyright © Todos los derechos reservados

© de los textos: sus autores.

© de las imágenes: sus autores o sus referencias.

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA CON MUROS DE TAPIAL EN AYERBE, HUESCA.

FASE 1: ESTRUCTURA Y CERRAMIENTOS.

IX Congreso de Tierra en Cuenca de Campos, Valladolid, 2012

Àngels Castellarnau Visús

Arquitecta y co-directora de PERIFERIA.

arquitectura y sostenibilidad scp.

Avda. Duque de Bivona 6, 22800 Ayerbe, Huesca .ESPAÑA

Teléfono +34 974380829, +34 630726062

email: acv@periferia.com.es

PALABRAS CLAVE: tapial, tierra, arquitectura Km 0

Resumen.

El proceso de desaprender los sistemas constructivos convencionales, empieza por detectar aquellos en los que podemos introducir materiales locales. Observando la construcción tradicional hemos detectado múltiples soluciones constructivas que resuelven los problemas habituales de la edificación mediante materiales locales y poco manufacturados. Estos materiales locales utilizados en la arquitectura vernácula los hemos adaptado a los procesos constructivos actuales.

La construcción con tierra, tanto de muros de adobe como de tapiales, está profusamente

extendida en la zona de intervención. Lo evidencia que es un sistema adaptado al clima y al lugar, y que vamos a encontrar en la zona los elementos necesarios para desarrollarla.

Son de aplicación las técnicas de diseño y dimensionado de una edificación con muros de carga con luces entre 3 y 5 metros para una vivienda de planta baja +2. Los muros de carga de tapial resolverán la estructura y el cerramiento y los forjados se construirán mediante escuadrías de madera de pino y tabla de madera nacionales.

Los materiales utilizados en la estructura y cerramientos de la nueva construcción son:

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

Procedencia	Material
Km 0	tierra, paja, arena, grava
Km 100	cemento, cerámica
Km 200	Cal, madera

El diseño de la construcción debe responder a criterios básicos de estabilidad mediante los que la estructura portante, pesada y de gran capacidad resistente a compresión se auto sustenta.

Además de los cálculos de capacidad resistente de los muros a compresión, se han construido trabas y cruces para evitar desplazamientos de los paños producidos por las fuerzas horizontales (forjados, viento, sismo), se ha comprobado la esbeltez de los muros, y comprobado la dimensión/posición de los huecos y se han evitado las cargas puntuales.

Estos criterios aplicados han desencadenado en interesantes detalles constructivos, soluciones que, por otro lado, se encuentran fácilmente en la construcción tradicional.

En cuanto a la selección de tierras se ha hecho análisis granulométrico mediante el método de sedimentación discontinua y análisis de carbonatos.

Para mejorar la durabilidad de los muros de tapial se ha ejecutado con el sistema de “tapia real”, ejecutando el revoco de mortero de cal a la vez que se ha construido el muro.

Esto permite una perfecta adhesión del revoco con el muro, valiéndonos de la perfecta compatibilidad de la tierra utilizada y la cal.

La única dificultad de la ejecución de la obra ha radicado en el proceso de inmersión de la empresa constructora en el sistema constructivo y en adaptarse a los medios técnicos de la misma, así como en la valoración económica de los trabajos por parte de la empresa constructora, dado que el sistema han tenido que reaprenderlo.

Introducción

El perfil de un “cliente dispuesto”, suele responder a un perfil de persona confiada, reflexiva y que escucha las opiniones de sus asesores para al fin llegar a una conclusión y resolución consciente. En este caso al ser un proyecto para una vivienda propia, todo este proceso ha sido interiorizado, de auto aprendizaje y digestión de conocimiento y enmarcado en un aura de ilusión, oportunidad y reto.

La zona donde se ubica la edificación, el Prepirineo Aragonés, cuenta con una profusa tradición de construcción con tierra tanto en técnicas de adobe como en técnicas de tapial y en técnicas mixtas de mampostería y tapial. Esta arquitectura tradicional, escondida tras revocos de tierra y cal, se revela en las partes traseras, en los edificios de poca entidad y en las ruinas, por eso se asocia a las edificaciones “pobres”.

Pero al acercarse a los edificios monumentales de la zona también descubrimos estas técnicas que han perdurado durante al menos 10 siglos... lo cual nos llevó a pensar que la construcción con tierra podía ser una alternativa real y funcional para la construcción de la nueva edificación a la que nos enfrentábamos.

Lo que nos separaba de poder poner en práctica estas técnicas era el desconocimiento de los límites del material, las tierras de la zona, su comportamiento y sus posibilidades en cuanto a la puesta en obra y el desconocimiento de las técnicas de construcción de estos sistemas por la inexistencia de profesionales que las utilizasen en la actualidad (el problema del eslabón roto de la cadena del conocimiento tradicional) habiéndose quedado éstas fuera del circuito de la construcción convencional actual. Con estas carencias nos pusimos manos a la obra para poder darle forma a este nuevo reto.

En esta exposición se pretende explicar la aproximación y el proceso de proyecto y construcción de la parte de tapial ejecutada en la vivienda, sin entrar en el resto de componentes de la edificación que al servicio de un pensamiento sostenibilista se adentran en otras batallas que también ponen al límite otros materiales como la madera, la arcilla, el agua, la luz, la energía, etc...



Figura 1. Construcciones de tapia en en Agüero (a 10 km. de Ayerbe) y su suelo (Àngels Castellarnau).

La Tierra como material de construcción

Arquitectura Km 0

Las emisiones de CO₂ de los materiales de construcción se producen básicamente en la fabricación y en el transporte de los materiales.

Para cuantificar la energía invertida en la fabricación de los materiales tenemos en cuenta la energía invertida en la extracción de las materias primas, la manipulación de éstas (triturado, fundido...etc.), la fabricación del material de construcción (extrusión, cocción, secado...etc.).

Para cuantificar la energía invertida en el transporte de los materiales tenemos en cuenta, a groso modo, los transportes desde el punto de extracción de la materia prima al punto de fabricación, de la fábrica a los almacenes y finalmente de los almacenes a las obras, y todos estos recorridos habitualmente transcurren entre diferentes países.

Hablar en términos de energía equivale a hablar en términos de emisiones de CO₂.

La mochila energética que llevan los materiales de construcción es considerable. La manera más eficiente de reducirla es utilizar materiales locales poco manipulados, éstos son los materiales que llamamos de Km0. La tierra (de Km0), se utilizará en los cerramientos y la estructura portante lo que supone, respecto al total del peso de la edificación, cerca de un 80%. Para la selección del resto de los materiales de la obra, el origen y su manipulación es un factor determinante.

Tapial

La técnica del tapial consiste en la construcción de muros de carga mediante tierra húmeda que se vierte en unos moldes (encofrados de madera) a tongadas de unos 15 cm y se compacta con un pisón ya manual, ya mecánico.

Confort higro-térmico

El muro de tapia tiene un comportamiento frente a la humedad del aire interior basado en la absortividad y la transpirabilidad del muro, perfectamente adaptado a los climas cálidos secos como el nuestro. La tierra tiene gran capacidad para absorber el vapor de agua del aire interior del edificio y cederlo en función de las necesidades de humedad interiores, de manera que el aire interior se mantiene con un nivel constante y óptimo de humedad (la tierra absorbe los excesos y regula los defectos).

La inercia de la tierra que compone el muro permite atenuar las pérdidas y ganancias de temperatura del interior respecto al exterior de la vivienda. En invierno la temperatura exterior es muy baja, la T° interior (generada por la calefacción y la radiación solar directa) se almacena en los paramentos de gran inercia (muros y suelos) y se cede hacia el interior conforme disminuye la T° interior, esto mantiene una T° interior más constante y no dependiente de la T° ambiente. En verano el funcionamiento es el contrario, la T° exterior calienta el muro retardando la llegada del calor al interior de la vivienda. Esto minimiza las necesidades de calefacción/climatización basadas en el aporte energético suponiendo un ahorro energético y económico.

En nuestro caso hemos mejorado el comportamiento térmico mediante la adición de fibras naturales de paja de cebada, de producción propia, que reducen la conductividad del muro haciéndolo más aislante, llegando a obtener un aislamiento equivalente al de un muro convencional de bloque cerámico+aislamiento+trasdosado de ladrillo hueco.

El sistema que hemos utilizado para el revestimiento exterior e interior del muro con el fin asegurar la durabilidad frente al agua es el de "tapia real", que consiste en ejecutar el revoco de mortero de cal (con árido local y cal de 140 km) a la vez que se ejecuta el muro, de manera que se asegura una óptima adherencia del revoco al muro. La cal, a diferencia del cemento, tiene unas propiedades de transpirabilidad y absortividad parecidas a la tierra, además la adherencia entre ambos materiales es perfecta pues sus composiciones son muy parecidas (la tierra utilizada cuenta, como veremos, con un 25 % de carbonatos).

El resultado es un muro monolítico, compacto, pesado, aislante y transpirable que nos ayuda a regular el contenido de humedad y temperatura de los espacios interiores proporcionando el confort en las estancias de la vivienda.

Eficiencia estructural +bajo impacto

Al construir una estructura de muros de carga, conseguimos dotar al muro de "todas las funciones" que puede tener (cargar-estructural, fachada-cerramiento/ aislamiento).

Este sistema estructural, no en vano el tradicional y el más generalizado en la zona, es el óptimo para conseguir el reparto homogéneo de las cargas transmitidas a los muros por la estructura, los elementos constructivos y el uso del edificio. De esta manera las cargas llegan repartidas a la base de los muros y así se transmiten a los cimientos pudiéndose por tanto eliminar (salvo en ocasiones puntuales) los armados de cimentación. Ésta ventaja supone una reducción considerable de los impactos ambientales y de emisiones de CO2 tanto en la fase de fabricación como en la fase de demolición del edificio.

Esta distribución repartida de las cargas nos permite optar por la utilización de materiales en masa, como la tierra o el hormigón en masa utilizado en muros de sótano y cimentación, que son fácilmente reutilizables tras la fase de demolición y al final de su vida útil pueden volver a la naturaleza con un mínimo impacto ambiental.

Low tech

La construcción low tech pretende optimizar la utilización de materiales, y contar con una baja carga tecnológica en la ejecución y el uso de la edificación.

El sistema constructivo del tapial precisa de poca cualificación técnica en ejecución y utiliza maquinaria simple y conocida por los operarios que la realizan. La energía incorporada en la construcción de tapia proviene de las máquinas de extracción, masado y vertido del material, evitando la energía incorporada por la cocción a altas temperaturas o transportes (presentes en otros materiales utilizados actualmente en construcción). El tapial es una de las técnicas constructivas de menor impacto ambiental que existen.

Material tierra

Como en nuestro caso, en la mayoría de casos, para la construcción del tapial, la tierra se extrae de una parcela cercana al emplazamiento de la obra (<1 km), sino la misma parcela y generalmente, en caso de usarla, la paja es de producción propia (<1 km).

La tierra debe analizarse para conocer la granulometría y el contenido de posibles sustancias (carbonatos). La mayoría de tierras son válidas para la construcción con tierra y pueden mejorarse (estabilizarse) con la adición de los componentes que se deducen de los análisis y los ensayos de campo.

La tierra es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica, si el suelo del que procede no ha sufrido contaminación; es totalmente reciclable y se puede reintegrar directamente a la naturaleza tras su deconstrucción. Además es inerte y no combustiona.

Eslabón en la cadena de conocimiento

La pérdida del conocimiento tradicional nos desliga de nuestro entorno y la arquitectura es refleja estos procesos de desnaturalización que está sufriendo nuestra sociedad. La arquitectura tradicional está conectada al medio, a los materiales de su entorno, a los ciclos naturales, a la escala humana, a la economía humana, a la ecología, al paisaje... La recuperación de un sistema constructivo tradicional nos permite reconstruir un eslabón en la cadena de conocimiento evitando pérdidas innecesarias de leyes transmitidas a lo largo de innumerables generaciones.

La revalorización de los materiales existentes en el lugar como la cal, el yeso, la madera, la piedra, la tierra (seca o barro), las fibras (caña, lana, paja, lino, cáñamo...), los arbustos (boj...) nos acerca a la gestión eficiente de nuestro territorio (reducción del input energético) y autosuficiente y reduce la dependencia de materiales, energía y generación de residuos de otros territorios. A la vez que se fomenta una economía local y de escala humana.

La cuestión económica del tapial

El hecho de que el 80% del material de construcción sea local (incluso propio como es nuestro caso) supone un evidente ahorro eco-

nómico, si a esto le sumamos una ejecución de la obra altamente mecanizada (se mezcla mecánicamente, se eleva mecánicamente, se vierte mecánicamente y se apisona mecánicamente), el coste económico puede resultar más que competitivo respecto a los sistemas constructivos convencionales.

Los altos rendimientos de obra superan ampliamente los rendimientos de otros tipos de muro de carga, a pesar de parecer un sistema constructivo basado en la mano de obra, cabe recordar que el muro, una vez desencofrado, está terminado.

Las obras donde se puede optimizar este sistema constructivo deben de tener una buena accesibilidad y se debe de poder acceder con la maquinaria desde cualquier punto de la edificación, con esta premisa el ahorro económico del sistema respecto a otros sistemas convencionales está asegurado.

Proceso de Diseño

Diseño Estructural

Se plantea un sistema estructural a base de muros de carga.

El terreno, con fachada a calles Norte y Oeste y en pendiente hacia el Este. Se encuentra en zona urbana, con una accesibilidad para la maquinaria aceptable. Se construye una planta semienterrada a base muros de con-

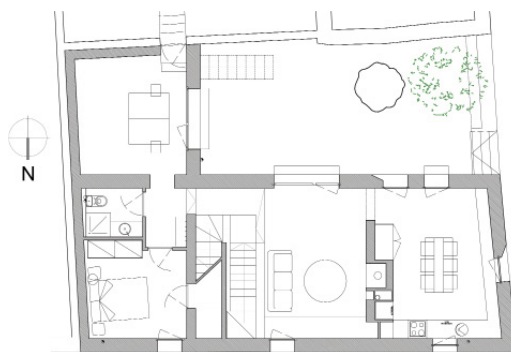


Figura 2. Planta baja de la vivienda (Àngels Castellarnau)

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

tención de hormigón masa, salvo el muro de contención de la calle a Oeste (vehículos) que se construirá de hormigón armado. Toda la cimentación corrida bajo los muros se construye de hormigón en masa con refuerzos metálicos en los puntos donde la cimentación recibe cargas puntuales (para evitar el punzonamiento).

En la cabeza de éste zócalo de HM se coloca un zuncho armado que asegurará el reparto de las cargas de la tapia de las plantas superiores. Sobre esta base se construyen muros de carga de tapial de 45 cm de espesor dispuestos de manera similar a cualquier otro tipo de muro de carga y se traban los paños en este caso a $< 6\text{m}$ de longitud, de manera que tenemos unas cajas cerradas trabadas entre sí.

En el interior de la tapia se coloca un zuncho continuo de madera que asegura el reparto de las cargas de los muros y los forjados de la planta superior. Los muros de la segunda planta, también de tapia, se coronan con zuncho de madera embebido en la tapia que recoge la estructura de la cubierta de cerchas de madera.

El cálculo de los muros tanto de tapial como de hormigón y de las zapatas se ha hecho de forma manual, comprobando acciones verticales, esfuerzos normales, excentricidades

de 1º y 2º orden en las secciones más desfavorables y en los nudos representativos.

Se ha tenido especial cuidado con la ubicación y dimensiones de los huecos, respetando los criterios de estabilidad de las construcciones de muros de carga (distancia a los muros de traba, huecos pequeños, evitando cargas puntuales, esbeltez de los muros...). Por el diseño arquitectónico (...una cuestión de asoleo...) se construye una doble altura en el salón, ésta aumenta la esbeltez de los muros de tapial poniéndolos al límite. Se definen los puntos débiles en cuanto al cambio del estado de cargas para estimar la posibilidad de colocar refuerzos en el interior de la tapia.

La zona donde estamos construyendo no es una zona sísmica; a pesar de ello y dado que estamos construyendo una edificación experimental, decidimos colocar refuerzos verticales de madera a lo largo de todo el muro cada 1m aprox. que atarán los zunchos de madera de sendas plantas y ayudarán a la tapia a soportar eventuales solicitaciones horizontales (esbeltez, viento, sismo...).

También se colocan unas grapas de madera horizontales en los nudos de los muros en las esquinas y en las trabas cada 80 cm de altura aprox. con el fin de que pudieran corregir eventuales asientos diferenciales de los muros o los cimientos...Más adelante comenta-



Figura 3. Ejecución de la tapia apisonado mecánico (Àngels Castellarnau)



Figura 4. Encofrados de madera (Àngels Castellarnau)

remos los problemas en ejecución que se han derivado de la colocación de estos refuerzos.

Caracterización de suelos

Los ensayos pretenden conocer las proporciones de cada componente de la tierra para evaluar su aptitud para el comportamiento estructural que tendrá la tierra en el muro y valorar la necesidad de correcciones y estabilizaciones de la misma.

Tras ensayos sencillos de campo se seleccionaron dos tierras a las que se sometió a ensayo de granulometría por el método de la sedimentación discontinua, a ensayo de tamizaje y a ensayo de carbonatos.

Los ensayos los hicimos en la escuela Politécnica Superior de Huesca (Universidad de Zaragoza) de la mano del profesor David Badía Villas. El perfil granulométrico de la tierra seleccionada:

Diam.	Material
grava > 2mm	25
2mm > arena > 0,2 mm	6
0,2 mm < limo < 0,02 mm	23
arcilla < 0,002 mm	22
carbonatos	24
Total	100

La tierra con que contamos tiene unas características óptimas para su utilización en la tapia, como era de esperar, pues las edificaciones colindantes son también de tierra local. Se opta por la adición de fibras de paja con fines térmicos como se ha comentado anteriormente, sin obviar la mejora en cuanto a retracciones que aportará en la mezcla.

Puesta en obra

Tras realizar un ensayo de puesta en obra en el que se comprueba la dosificación y trabajabilidad de la mezcla, la dosificación del mortero de cal, la trabajabilidad del sistema de encofrado, la aptitud de la maquinaria del constructor y la cuadrilla necesaria para reali-

zar los trabajos, se planifica la obra.

Se despiezan los encofrados para planificar las tapieras a ejecutar cada día, así se reduce la cantidad de material de encofrado necesario y el acopio de la tierra. La tapia se ha construido de forma continua, es decir, de forma que se ha montado un encofrado continuo de hueco a hueco.

Este sistema tiene ventajas e inconvenientes, las ventajas radican principalmente en:

- la desaparición de las juntas verticales
- la optimización del tiempo de mezclado y llenado (grandes masadas), del tiempo de encofrado, del tiempo de ejecución del mortero de cal y del tiempo de desencofrado.

Las desventajas son:

- la necesidad de mayor material de encofrado
- al contar con largos paños ciegos en la fachada norte aparecen juntas oblicuas que quedan a la vista en el paño acabado
- la necesidad de contar con andamiaje en todo el perímetro de la obra

Los cajones de los huecos se van colocando en el muro conforme la tapia llega a la altura del hueco. Estos cajones de encofrado cuentan con los premarcos de carpintería, que al desencofrar quedarán fijados a la obra. Esto permite trabajar el detalle con el fin de evitar puentes térmicos en las jambas y en los dinteles de los huecos.

El revoco exterior e interior (de 3cm de media), se ha ejecutado a base de un mortero de cal hidráulica NHL-5 con mezcla 4-1, y en el núcleo del muro contiene una mezcla de:

- 60 % en volumen de la tierra seleccionada (extraída directamente del suelo, dado que no contiene gran cantidad de piedras de diám.> 5cm que dañarían la maquinaria).
- paja de cebada en una proporción de un 40% de paja en volumen. Existe una cantidad de paja límite en cuanto a trabajabilidad.
- 10% de agua (varía en función de la hora de trabajo y de la humedad que contiene la tierra). La mezcla debe estar húmeda, de manera que se hidraten las arcillas (lo que favorece el apisonado), y seca para permitir el amasado y apisonado directos.

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

La ejecución de la obra se inició con los medios técnicos con que contaba el constructor, lo cual, al no poder elegir la capacidad óptima de la maquinaria, rebajó el rendimiento de ejecución. Se contó con una mezcladora de unos 0,3 m³ de capacidad y una pala telescópica de 1 m³ (2 masadas de mezcla), la pala se aproximaba al encofrado y se vertía a mano.

Empezada la obra, surgió la posibilidad de alquilar una mezcladora mayor, lo que mejoró el vertido que pudo realizarse a través de la salida inferior con un tubo flexible de 2 m. mejorando sustancialmente el rendimiento.

La inserción de los refuerzos verticales en el interior del muro complicó la ejecución del vertido. Al ser éstos de madera y encontrarse cerca del revoco interior aparecieron juntas de retracción en el mortero lo que nos obligó a sustituirlos por tirantes de acero. Aun así la existencia de estos montantes nos permitió fijar con más seguridad los cajones de los huecos con los premarcos de carpintería.



Figura 5. Mezcladora horizontal (Àngels Castellarnau)



Figura 7. Vertido de la tierra en el interior del encofrado (Àngels Castellarnau)



Figura 6. Desencofrado de la tapia (Àngels Castellarnau)



Figura 8. Fachadas sur y oeste acabadas (Àngels Castellarnau).

Conclusiones

Este tipo de edificación precisa de una definición exhaustiva en fase de proyecto, dado que instalaciones, premarcos y terminaciones en los encuentros se ejecutan definitivamente con la tapia. Esto supone una total implicación del arquitecto/a, como conocedor de todos los detalles de la obra, en el proceso constructivo, así como una complicidad de éste/a con los constructores pues en la ejecución recae el mérito del éxito del sistema.

La simplificación de materiales y la generalización de los detalles constructivos han simplificado significativamente la ejecución.

Una vez obtenida la composición óptima de la mezcla, se debe asegurar la trabajabilidad de la misma lo que incide directamente en el rendimiento de la obra. Así como es precisa una minuciosa planificación de los medios tanto mecánicos como humanos, pues el hecho de faltar o sobrar una persona puede llegar a mejorar/empeorar el rendimiento más de un 50%.

Un año después de su ejecución y una vez

entrada en carga la estructura no se han observado fisuras ni desperfectos en la textura. No se han detectado problemas que no puedan solucionarse fácilmente en construcciones futuras.

Así mismo podemos concluir que la tapia es un sistema constructivo económica y técnicamente competitivo para resolver la mayoría de edificaciones a las que nos enfrentamos. Y que la tierra es un material al alcance de casi todas las manos, económico y manipulable, lo que del lado del aspecto social de la arquitectura permite el reencuentro entre el hábitat, los hábitos y los habitantes.

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA.

Bibliografía

MINKE, Gernot. (1994). *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación a la arquitectura actual*. Ed: Editorial Fin de Siglo. Uruguay.

DOAT, Patrice. HAYS, Alain. HOUBEN, Hugo. MATUK, Silvia. VITOUX, François. (1985) *Construire en terre*. Ed: Editions Alternatives, París, Francia.

BÁRCENA, Pilar. BAULUZ, Gonzalo. (1992). *Bases para el diseño y construcción con tapial*. Madrid: Ed. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España.

CUCHÍ, Albert, tesis. (1995) *Tesis Doctoral. Las construcciones de tierra en Cataluña. La técnica de la Tapia*. ETSAB Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. UPC

BARBETA, Gabriel. (2000) *Tesis Doctoral. Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. ETSAB Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. UPC