



## Construcción con Tierra Patrimonio y Vivienda X CIATTI 2013

Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos  
2013.

Coordinadores: José Luis Sáinz Guerra, Félix Jové  
Sandoval.

ISBN: 978-84-617-0473-6

DL: VA 470-2014

Impreso en España

Junio de 2014

Publicación online.

Para citar este artículo:

BOSCH, Monserrat, NAVARRO, A., ALLEPUZ, L, et. al. "Proyecto casa S-LOW: Construcción del prototipo y experiencia docente". *En: Construcción con tierra. Patrimonio y Vivienda. X CIATTI. Congreso de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2013. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2013. P. 259-266. Disponible en internet:*

<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2014/259-266-bosch.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.



## PROYECTO CASA S-LOW: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y EXPERIENCIA DOCENTE

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

*Montserrat Bosch, Arquitecta Técnica*

*Antonia Navarro, Doctora en Geología*

*Luís Allepuz, estudiante de Grado en Ciencias y Tecnologías de la edificación*

*Cristian Poza, estudiante de Grado en Ciencias y Tecnologías de la edificación*

*Grup de recerca Gicited EPSEB.*

*Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). España.*

*PALABRAS CLAVE: Tapia, madera, docencia universitaria.*

### 1. Antecedentes

El sector de la construcción vive un momento complicado que precisa de nuevas estrategias y actitudes para adaptarse a los momentos cambiantes. Después de unos años en los que parecía que todo valía, finalmente hemos empezado a adquirir verdadera conciencia del impacto que el sector de la edificación genera en el medio ambiente y de la responsabilidad que tenemos cada uno de los agentes que intervenimos en los procesos arquitectónicos y constructivos.

Desde la universidad, con una estructura poco flexible que impide modificaciones ágiles de los programas docentes (y en un contexto

de recortes presupuestarios que impide organizar actividades extraordinarias como talleres o viajes académicos), hay que buscar alternativas imaginativas y estimulantes (tanto para el profesorado como para el alumnado) que permitan incorporar conceptos como “impacto ambiental”, “coste energético”, “construcción bioclimática”, etc.

Desde el Grupo Interdisciplinar de Ciencia y Tecnología en Edificación (GICITED), organizamos anualmente las “Jornadas Low Tech”, que recogen durante dos días diversas experiencias de arquitectura y construcción de bajo impacto ambiental, a partir de materiales como la tierra, la paja, la madera, la caña común, el bambú y la técnica de bahareque,

el desarrollo de materiales compuestos a partir de fibras naturales (algas, lana de oveja, cáñamo) etc. Estas Jornadas nos permiten conocer, contactar y establecer relación con otros grupos de investigación universitarios, con industriales que desarrollan materiales sostenibles, y con profesionales del sector que apuestan por nuevas maneras de proyectar y construir que, a menudo, se basan en técnicas tradicionales.

Las “Jornadas Low Tech” también son una plataforma de difusión entre el estudiantado de arquitectura y de ingeniería en edificación de otras maneras de construir que, en general no aparecen en los programas formativos, y complementan la línea de intensificación de contenidos medioambientales que bajo el paraguas del Diploma de Ampliación de Competencias “Impacto Ambiental de la Edificación y Rehabilitación Energética” (DAC IA) se imparte en la EPSEB desde hace dos años, a los estudiantes que muestran un interés específico por estos temas.

El Diploma, que es una titulación propia de la EPSEB conlleva la obligatoriedad de cursar tres asignaturas optativas de 3 créditos ECT y realizar un Proyecto Final de Grado (PFGs) en la misma línea de intensificación de impacto ambiental, lo que obliga al estudiantado a proponer trabajos que van desde las propuestas de intervención en edificación existente para rehabilitar energéticamente los edificios a la investigación en materiales alternativos de construcción aplicables, por ejemplo a lo que llamamos construcción low tech.

Dentro de esta línea de PFGs y Proyectos Final de Máster tutorados por distintos profesores del Grupo de investigación, se han realizado investigaciones relacionadas con las tecnologías actuales de construcción en tierra (Gatti, 2012), su comportamiento en edificación existente, (Navarro Farré, 2009) y (Badia Grañana, 2013), metodología de control de calidad en obra (Morera Roca, y otros, 2012) o análisis de su comportamiento con la adición de fluidificantes (Quinto Bilbao, 2013). También se han dirigido desde el GICITED otros trabajos relacionados con materiales diversos de bajo impacto ambiental, básicamente vegetales, como la caña común (Arundo Donax) (González Bejarano, y otros, 2012).

El proyecto que aquí presentamos, construido con madera, tierra compactada y mantas vegetales, es fruto de una colaboración universidad/empresa en la que se encuentran implicados arquitectos externos, profesorado y estudiantado de la Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (EPSEB-UPC), investigadores del Grupo de Investigación GICITED, y diversos industriales del sector de la edificación. Es una experiencia docente que se ha mostrado eficaz para la incorporación de contenidos medioambientales en el currículo del estudiantado y que además permite seguir trabajando, en continuo, sobre diversos aspectos relacionados con la construcción en tierra, los materiales de bajo impacto ambiental y en la investigación en materiales y su comportamiento.

## 2. El Proyecto Casa S-Low

El Proyecto Casa S-Low es un prototipo de construcción en tierra y estructura de madera de los arquitectos Sandra Martín-Lara y Ángel Estévez. En su búsqueda por encontrar la participación de la universidad en los trabajos de investigación que pretendían llevar a cabo en el prototipo, contactaron con el GICITED y después de valorar el proyecto se estableció un marco de colaboración que permitió construir el prototipo en los terrenos de la Universidad Politècnica de Catalunya (UPC), entre los edificios de las escuelas de Arquitectura e Ingeniería en Edificación, en una clara apuesta por convertir la colaboración en un ejercicio docente accesible al máximo número de estudiantes, principal objetivo de la experiencia.

El proyecto consistía en la ejecución del prototipo como fase inicial, con una serie de trabajos en paralelo en cuanto a caracterización de las tierras, detección de los problemas de ejecución, resolución de conflictos y propuestas de mejora. Y una vez construido el prototipo se procedió a su instrumentación para verificar el comportamiento térmico de los cerramientos, tanto verticales como de cubierta, realizados con distintas soluciones.

El proyecto tiene una duración prevista de 1 año, por lo que ha implicado a distintos estudiantes que han realizado, sobre el prototipo, diferentes Proyectos Finales de Grado (PFG) en fases de 4/6 meses, que



Figura 1. Proceso de ejecución del prototipo. Fuente: Allepuz, Poza.

se han ido solapando para conservar el “know how” de todo el proceso y se han mantenido también constantes las tutoras de los diferentes trabajos para garantizar la continuidad de la experiencia.

### 3. Construcción del prototipo

El prototipo Casa S-Low es un elemento cúbico formado por 2 módulos de forjado de madera (superior e inferior), y 10 módulos de cerramiento de madera estructural y tierra compactada que constituyen un espacio construido en planta de 3,54 x 3,54 m con una altura de 2,9 m.

**Cimentación:** se realizó una cimentación superficial mediante bloques de hormigón formando una zapata corrida y se rellenaron los huecos con escombros y mortero. Por encima de la zapata se colocó una capa de mortero superficial para nivelar el conjunto.

**Estructura:** sobre la cimentación se apoya el forjado sanitario formado por un módulo compuesto de 2 paneles prefabricados de Panel de virutas de madera unidas entre sí con un aglomerante mediante la aplicación de calor y presión (OSBIII 4,68 m<sup>2</sup>/panel) con un aislamiento térmico de fibra de celulosa. La estructura vertical del prototipo está realizada con un entramado de madera OSBIII con uniones atornilladas entre sí y la estructura de cubierta ajardinada está formada por dos

módulos (4,68 m<sup>2</sup>/panel) prefabricados de OSBIII apoyados y atornillados a la estructura vertical.

**Cerramiento (tapia):** el perímetro exterior del prototipo está compuesto por muros de tapia de 50 cm de grosor ejecutados in situ mediante medios manuales, extrayendo las tierras de un solar de Castellbisbal (Barcelona) dosificada en obra. Algunas caras del revestimiento están estabilizadas con diferentes aditivos como cemento y arlita. Existen dos accesos al prototipo ejecutados con una lámina de OSBIII de 15mm de grosor unida a la estructura mediante 4 bisagras atornilladas.

**Cerramiento (panel sandwich):** una de las fachadas está ejecutada con un cerramiento tipo sándwich, compuesto del propio panel de la estructura, el mismo aislamiento de fibra de celulosa utilizado en el forjado y un panel exterior formado por lamas machihembradas de madera de pino contrachapado.

**Cubierta:** la cubierta ajardinada del prototipo está dividida en dos mitades, aprovechando el espacio para realizar un estudio completo del comportamiento térmico e higrométrico de las dos soluciones de cubierta construidas. La superficie de la cubierta orientada a sur está compuesta de un termopolímero elastómero de caucho de etileno propileno dieno (EPDM), aislante de poliestireno extruido, lámina retenedora 500g, lámina nodular de polietileno de alta densidad, geotextil antiaíces, una mezcla de granito-arena-abono orgánico como sustrato y un tepe (tapiz vegetal). La superficie de la cubierta orientada a norte está compuesta de (capa inferior a superior): EPDM, aislante de poliestireno extruido, lámina retenedora 500g, espuma de poliuretano y el mismo tepe.

Durante la ejecución del prototipo se procedió, en paralelo, a realizar un estudio de caracterización de la tierra que se pretendía utilizar para la construcción del prototipo, utilizando ensayos normalizados de suelos. Posteriormente durante la ejecución de la obra también se realizaron periódicamente ensayos “in situ” para verificar que las dosificaciones que se estaban realizando en cada momento eran las correctas para la construcción de los muros de cerramiento.



Figura 2 Ensayos organolépticos, granulométricos, cuchara de Casagrande y compactación "Proctor". Fuente: Allepuz, Poza.

#### 4. El ejercicio docente

El ejercicio docente que da contenido a esta ponencia ha consistido en el estudio y caracterización de las tierras que debían utilizarse para la construcción del prototipo, aunque los estudiantes trabajaron también directamente en la ejecución del módulo. Estos trabajos han permitido acercar al estudiantado a diversas técnicas de laboratorio, les han obligado a buscar la normativa de referencia, a diseñar alternativas experimentales, a cotejar ensayos empíricos con normalizados y a saber interpretar los resultados. (Bestraten, y otros, 2011)

Dado que la tierra era el material principal para la realización de la tapia de cerramiento, era necesario establecer los criterios para una correcta elección y realizar un buen estudio previo que permitiera definir una dosificación adecuada y una humedad óptima para la realización de la tapia. También se han tenido que interpretar los resultados empíricos de obra con los resultados de ensayos normalizados.

Se seleccionaron dos muestras de tierra de diferentes emplazamientos (muestra 1 Cerdanyola del Vallés, Barcelona; muestra 2



Figura 3. Prototipo ya construido e instrumentalizado para el estudio de su comportamiento termohigrométrico. Fuente: Allepuz, Poza.

Castellbisbal, Barcelona) y se caracterizaron siguiendo la normativa de suelos ya que no existe una normativa específica de tapia.

Los ensayos que se realizaron tanto en laboratorio como “in situ” fueron los siguientes:

*Ensayos de laboratorio:*

Para clasificar las tierras según la clasificación unificada de Casagrande:

Ensayo de granulometría (UNE 103-101): Mediante tamices normalizados se determinaron las dimensiones de las partículas de la tierra objeto de estudio, así como el porcentaje y peso de cada tamaño en referencia a la muestra total.

Ensayo de determinación del límite líquido “Casagrande” (UNE 103-103-94): Se determinó la humedad en la cual una muestra perdía la plasticidad y pasaba a ser líquida.

Ensayo de determinación del límite plástico (UNE 104-93): Se determinó la mínima cantidad de agua necesaria para que la muestra fuese moldeable.

Ensayo de granulometría de suelos finos por sedimentación (UNE 103-102): De una muestra de 300g con  $\varnothing < 0,08$  mm se determinó el porcentaje de arcillas.

Para determinar la densidad óptima

Ensayo de compactación “Proctor” (UNE 103-501-94): Se utilizó para conocer la cantidad de agua que se debía añadir a la tierra para conseguir la densidad óptima.

**Ensayos “in situ” empíricos:** siguiendo la metodología utilizada por el Centro Internacional de la Construcción con Tierra (CRATerre)<sup>1</sup>:

Para clasificar las tierras:

Ensayo organoléptico: este ensayo se realizó a partir de tres sistemas de identificación: visual, táctil y olfativo, y se registró la descripción que se percibía con cada sentido.

Ensayo de determinación de la cohesión: Se realizaron dos ensayos diferentes para determinar un mismo resultado: mediante



Figura 4. Detalle de los elementos de cerramiento y sus texturas. Fuente: Allepuz, Poza

la caída de una bola y mediante la prueba de la cinta, obteniendo dos referencias para obtener con más exactitud el valor de cohesión de la tierra.

Para determinar la densidad de la tapia ya colocada:

Ensayo densidad: Se realizó un ensayo en la tapia ya ejecutada para obtener la densidad exacta, en función de la cantidad de agua añadida y de la compactación.

## 5. Resultados

Una vez verificados los resultados de los ensayos de laboratorio, y cotejados con los empíricos de las dos muestras estudiadas, los criterios para la elección de la tierra fueron:

Estéticos: la muestra 1 presentaba un color beis tirando a blanco mientras que la muestra 2 presentaba una tonalidad más rojiza, que se consideraba más adecuada desde el punto de vista estético para la ejecución del prototipo.

Composicional: la muestra 1, estaba compuesta por más de un 77 % de arcillas, es decir, una composición poco heterogénea y demasiado plástica, en comparación con el 64 % de la muestra 2.

Durabilidad: la muestra 1, al contener más porcentaje de arcillas, necesitaba más agua para llegar al porcentaje de humedad óptimo para hacer la tapia, por lo que la previsible retracción sería mucho mayor que la que previsiblemente sufriría la muestra 2.4. Este dato era de especial relevancia, ya que las retracciones provocan la aparición de numerosas grietas, lo que disminuye la resistencia a compresión de la tapia, y genera problemas de durabilidad en presencia de humedad, una incidencia que repercutiría en una reparación de los muros más complicada y laboriosa por las previsible deficiencias que aparecerían.

Económico: al margen de las consideraciones organolépticas, existía otro motivo que ayudó a la decisión de escoger las tierras de la muestra 2 y era el coste económico del transporte desde su origen hasta el emplazamiento del prototipo, lo que ayudó a la decisión (bajo criterios económicos puesto que el coste del transporte de la muestra 1 debía ser financiada por la dirección facultativa, mientras que el transporte de la muestra 2 hasta la obra era gratuito).

En cuanto a la ejecución del prototipo, se ha comprobado que los sistemas, metodologías, materiales y procedimientos propuestos para la construcción de casas S-Low se ajustan a la funcionalidad y al planteamiento propuesto para poder aplicarse en la futura construcción de las casas S-Low.

Aún así, y puesto que éste era uno de los objetivos de la construcción del prototipo, se detectaron posibles mejoras a incorporar en el proyecto, cambios procedimentales y análisis de los materiales que permitan la ejecución de las viviendas S-Low con total garantía de calidad. Del conjunto de mejoras propuestas, se exponen a continuación las más relevantes:

Mejorar el asentamiento de la estructura de madera sobre la cimentación para evitar posibles movimientos estructurales derivados de las vibraciones provocadas durante la ejecución de los muros de tapia.

Para contrarrestar las deficiencias de ejecución de la cimentación o el asentamiento de la estructura de madera, se propone una solución constructiva muy utilizada en estructuras de madera con cimentación de





Figura 5. Cableado en el interior del elemento de cerramiento para la instrumentación y recogida de datos térmicos. Fuente: Allepuz, Poza

hormigón armado consistente en la ejecución de una capa de mortero de nivelación de 10 mm y, sobre esta capa, el montaje de unas pletinas metálicas unidas a la cimentación y atornilladas a la estructura de madera.

Introducir algunas mejoras en el diseño del encofrado utilizado para la ejecución de los muros de tapia.

Aunque desde la empresa *Casa S-Low* se apostaba, en un principio, por una ejecución de las viviendas mediante técnicas mayoritariamente manuales, la construcción del prototipo ha demostrado la necesidad de introducir maquinaria para la ejecución de los muros de tapia como el uso de pisón neumático y la pala cargadora/cribadora.

## 6. Conclusiones

La experiencia del proyecto *Casa S-Low* permite extraer distintas conclusiones: desde el punto de vista docente, ha permitido al estudiantado que ha participado en la construcción del prototipo conocer

directamente, desde una percepción sensorial de primera mano, las dificultades de un proceso constructivo con técnicas tradicionales, e incluso la dureza del trabajo manual. En este sentido ha sido inestimable la colaboración durante la ejecución de las paredes de tapia del operario Assis Ouzadouh, integrante de la asociación Centre d'Estudis sobre el Territori i l'Arquitectura Rural (CETAR)<sup>2</sup>.

Asimismo como experiencia docente, han comprobado las dificultades que el uso de la tierra como material de construcción comporta, tanto desde el punto de vista normativo, con unas exigencias que difícilmente pueden garantizarse en un material heterogéneo y que no sufre procesos industriales que comportan un control de calidad exhaustivo, como la ausencia de referentes en la formación académica recibida durante el transcurso de sus estudios universitarios.

Los estudiantes han aprendido también a trabajar en grupo durante todo el proceso de ejecución del prototipo: participando en las reuniones previas al inicio de la obra; aprendiendo a proponer alternativas tecnológicas y a defenderlas; colaborando y trabajando con los distintos personajes que intervienen en el proceso constructivo (arquitectos, industriales, operarios); gestionando permisos (con los responsables del Campus universitario, o con los técnicos de mantenimiento); facilitando sinergias y corresponsabilizándose del impacto ambiental de la actuación (escombros, recursos energéticos, suministros de servicios, planificación de acopios, etc.); diseñando e incorporando las medidas de seguridad e higiene en el trabajo que garantizaran una correcta ejecución; desarrollando las campañas de ensayo, definiendo los protocolos y registrando rigurosamente los resultados obtenidos; y documentando todo el proceso para garantizar la continuidad del proyecto a manos de nuevos estudiantes.

Como proyecto docente, hemos comprobado que implicar al estudiantado en proyectos alternativos e innovadores les motiva extraordinariamente, por lo que su dedicación se intensifica y permite su maduración como responsables de sus propios avances. En este sentido cabe destacar que el éxito de esta primera fase del proyecto ha permitido garantizar su continuidad con la incorporación de nuevos estudiantes que

trabajan actualmente en la monitorización termohigrométrica de las distintas soluciones de cerramientos realizadas; en el control y caracterización de las soluciones de cubiertas vegetales y su comportamiento térmico; o trabajos en paralelo como el estudio de revestimientos de tierra con fibras vegetales compatibles con los cerramientos de tapia existentes o el estudio y caracterización de aislamientos de fibras vegetales con aglutinantes naturales.

Consideramos que la construcción con tierra debería reconsiderarse como una verdadera alternativa constructiva aunque ciertamente es preciso impulsar su industrialización y mecanización para conseguir una optimización de los procesos de ejecución, así como también consideramos necesario impulsar trabajos de investigación desde la universidad que permitan la adición de materiales que aporten estabilización y protección frente a la humedad de los cerramientos.

Para que la ciudadanía reconozca las propiedades y valores de la arquitectura en tierra también se hace imprescindible el establecimiento de una normativa específica y de procesos de control de calidad pertinentes (tanto del material en si como de los procesos de ejecución), lo que permitiría a los profesionales incorporar este material en la práctica constructiva habitual y a su vez haría imprescindible su incorporación a los temarios de la docencia universitaria.

Finalmente, podemos concluir que la propuesta *Casa S-low* resulta una alternativa constructiva adecuada, aplicable y mediambientalmente más sostenible que la construcción basada en materiales con unos costes de extracción, producción, transporte y deposición elevados como los que actualmente se usan en nuestra arquitectura más cercana.

## Citas y Notas

<sup>1</sup> Craterre: <http://craterre.org/>

<sup>2</sup> CETAR: <http://cetar-emporda.tumblr.com>

## Bibliografía

BADIA, Ana. *Análisis de la tapia en obra*. - Barcelona : UPC, 2013. - Proyecto final de grado Ingeniería en Edificación (EPSEB-UPC).

BESTRATEN S. y HORMÍAS E. *La tierra, material de construcción [Publicación periódica]*. - Madrid : Informes de la construcción, 2011. - 523 : Vol. Vol 63.

GATTI Fabio. *Arquitectura y construcción con tierra*. - Barcelona : UPC, 2012. - Proyecto Final de Máster (ETSAB-UPC).

GONZÁLEZ, S. y SILVA, E. *Arundo Donax L.: material de construcción*. - Barcelona : UPC, 2012. - Proyecto Final de Grado Ingeniería en Edificación (EPSEB-UPC).

MORERA, G. y PALLARÈS, Á. *Criterios de ejecución y control de calidad en la construcción en tierra de una vivienda en Martorelles (Barcelona)*. - Barcelona : UPC, 2012. - Proyecto final de grado Ingeniería en Edificación (EPSEB-UPC).

NAVARRO, L. *Construcciones de tierra en la llanura de Lérida*. - Barcelona : UPC, 2009. - Proyecto final de carrera Arquitectura Técnica (EPSEB-UPC).

QUINTO E. *Construcción con tierra: La fluidificación de la arcilla*. - Barcelona : UPC, 2013. - Proyecto final de grado Ingeniería en Edificación (EPSEB-UPC).