

# Arquitectura en Tierra

Patrimonio Cultural

XII CIATTI 2015

Congreso de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos 2015.

Coordinadores: Félix Jové Sandoval, José Luis Sáinz Guerra.

ISBN: 978-84-617-4586-9

D.L.: VA 620-2016

Impreso en España

Agosto de 2016

Publicación online.

## Para citar este artículo:

GUERRERO BACA, Luis Fernando; SORIA LÓPEZ, Francisco Javier. "Sostenibilidad de la edificación con tierra vertida compactada (TVC) en viviendas sociales para México". En: *Arquitectura en tierra. Patrimonio Cultural. XII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca de Campos 2015*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2015. Pp. 143-152

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.



## SOSTENIBILIDAD DE LA EDIFICACIÓN CON TIERRA VERTIDA COMPACTADA (TVC) EN VIVIENDAS SOCIALES PARA MÉXICO

XII CIATTI 2015. Congreso Internacional de Arquitectura de Tierra  
Cuenca de Campos, Valladolid.

*Luis Fernando Guerrero Baca. UAM-Xochimilco, México.*

*Blas Antonio Tepale Gamboa. Maestría en Arquitectura de la UNAM, México.*

*Francisco Javier Soria López. UAM-Xochimilco, México.*

*PALABRAS CLAVE: autoconstrucción, estabilización de suelos, puzolanas.*

### 1. Introducción

Como es sabido, la diversidad de técnicas de construcción que ha desarrollado el hombre a lo largo de la historia es tan amplia como la multiplicidad de ámbitos en los que se manifiesta. Las condiciones del medio ambiente, asociadas a la disponibilidad de recursos naturales y humanos han permitido y acotado desarrollos tecnológicos que fueron depurados con el correr de los siglos, y muchos de los ellos perviven hasta nuestros días.

Entre las condicionantes fundamentales que

desde tiempo inmemorial fueron identificadas para la construcción con tierra, destaca la búsqueda del necesario equilibrio entre la cantidad de agua requerida para mezclarla y la posibilidad de modificar físicamente los componentes constructivos, a fin de incrementar su densidad y, consecuentemente, su resistencia mecánica así como a los agentes climáticos.

Dentro de las diversas técnicas de construcción con tierra desplegadas en México a lo largo de la historia, el barro modelado ha sido una de las menos estudiadas, a pesar de la amplia difusión que tuvo en la época prehispánica en

el norte del territorio nacional. Este sistema basado en la transformación manual de tierra en condiciones húmedas, permitió la edificación de grandes conjuntos como la serie de complejos habitacionales denominados “Casas en Acantilado” a lo largo de la Sierra Tarahumara, así como la ciudad de Paquimé, sitio arqueológico considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad por UNESCO.

Pero, a partir de la conquista española, la técnica de la tierra modelada fue desplazada por la construcción con adobe que, aunque ya se utilizaba profusamente desde varios siglos antes de nuestra era, se destinaba principalmente a la edificación de templos y palacios, así como para la conformación de los núcleos de basamentos piramidales.

La técnica que se conoce genéricamente como Tierra Vertida (*terre coulée* en francés y *poured earth* en inglés) es un sistema que buscó hacer más eficiente el trabajo de la tierra modelada a partir del uso masivo de materia prima y del apoyo de moldes para el desarrollo de muros. Los moldes se quitan cuando la tierra es suficientemente resistente para mantener su forma y se desplazan para la construcción de componentes subsiguientes hasta concluir el total de los espacios habitables. Utiliza un material en forma de lodo líquido que contiene agregados arenosos y grava para desempeñar la misma función que el concreto convencional de cemento.<sup>1</sup>

Este procedimiento constructivo ha tenido un desarrollo relativamente reciente y no ha adquirido el nivel de difusión que se esperaría, en parte, debido a que el contenido de agua necesario, incide en la retracción volumétrica de los componentes edificados. Para tratar de revertir este fenómeno se han probado diferentes dosificaciones y texturas a fin de encontrar el punto óptimo de humedad. Asimismo, se ha examinado la introducción de sustancias estabilizantes como el yeso, la cal o el cemento para reducir los requerimientos hídricos e incrementar tanto la velocidad de fraguado como la resistencia a la compresión.

En México es un sistema que no ha sido utilizado más que en la edificación de proyectos experimentales como es el caso de los trabajos desarrollados en la Universidad Autónoma de Tamaulipas en donde se ha tratado de conformar componentes constructivos con resistencias y comportamientos higrotérmicos

comparables con las realizadas con hormigón de cemento.<sup>2</sup>

Pero, con el interés de recuperar y optimizar la edificación ancestral de barro modelado a partir de su combinación con la lógica constructiva de la tapia, en la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco en la Ciudad de México, desde el año de 2012 se llevan a cabo experimentos para conseguir procedimientos constructivos que además de ser apropiados a las condiciones climáticas regionales y de bajo impacto ambiental, resulten sostenibles desde el punto de vista económico y social.

De este modo, en actividades de colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México y el Proyecto San Isidro, en Tlaxco, Tlaxcala, se ha desarrollado el sistema constructivo al que se denomina Tierra Vertida Compactada (TVC) que surge de la lógica constructiva de la tierra modelada de origen prehispánico y de la tierra vertida convencional.

Sin embargo, la técnica resuelve el problema de la retracción y el equilibrio hídrico mediante la compactación, asociada a la estabilización con cal combinada con agregados que poseen propiedades puzolánicas. Estos materiales cumplen con los requerimientos de la sostenibilidad por su abundancia y por el bajo impacto ambiental que genera su obtención.

Además, en este sistema se procura hacer más eficiente la edificación empleando encofrados livianos que permitan la compactación manual con el apoyo de herramientas ligeras, con el fin de que puedan ser fácilmente empleados en procesos de autoconstrucción asistida, como la que predomina en la producción social de viviendas rurales y de las periferias urbanas de todo México.

El origen de la propuesta surge de no considerar a los muros de tierra vertida como estructuras monolíticas que tienden a fisurarse, sino más bien como mamposterías de grandes bloques, procurando que en su diseño estructural desarrollen respuestas flexibles ante sismos.

Además, se construye con encofrados pequeños y ligeros, fácilmente desplazables por auto-constructores y que por la dimensión



Figura 1. Taller comunitario en el Centro de Formación para el Desarrollo Sustentable de la Mixteca, Nochixtlán, Oaxaca. Foto: Luis Guerrero.

final de los componentes constructivos se pueden desmoldar en poco tiempo para crear edificaciones que resulten competitivas con las que se realizan con tecnologías convencionales basadas en el empleo de materiales de origen industrializado como el cemento o el yeso.<sup>3</sup>

Con esta técnica se han realizado prototipos tanto de secciones de muros aislados como de espacios habitables completos, en los que se han podido documentar y perfeccionar diversos detalles del procedimiento constructivo. Además, estas obras se han realizado como parte de talleres de transferencia de tecnología en los que participaron estudiantes, profesores, constructores y público en general, con lo que se ha podido optimizar su metodología de operación y verificar su aplicabilidad (Figura 1).

En esta ponencia se detallan los alentadores resultados que se han obtenido acerca de la hidratación óptima, dimensiones, espesores de las capas a compactar, costos, tiempos de ejecución, rendimientos materiales, resistencia a la humedad y capacidad de carga. Se trata de información sumamente relevante que aporta indicadores reales acerca del potencial para el desarrollo de un hábitat sostenible desde el punto de vista económicos, ambiental y social.

## 2. Ensayos de laboratorio

Existen diversos antecedentes respecto al hecho de que las tierras que poseen una elevada relación proporcional de arcillas de alta plasticidad, permiten obtener componentes constructivos más densos y resistentes a la compresión. Sin embargo, éstos tienden a sufrir retracción durante su secado con lo que se generan fisuras o agrietamientos que debilitan al conjunto y, sobre todo, son precursores de problemas de deterioro derivados de la afectación del ingreso del agua y de agentes bióticos. En el polo opuesto, las tierras con escasa proporción de estas arcillas son más estables durante su secado pero son menos resistentes a la abrasión con lo que resultan vulnerables ante afectaciones mecánicas e hídricas, y en condiciones sísmicas, demandan muros con espesores elevados.<sup>4</sup>

Es por esto que uno de los factores determinantes de la durabilidad de los componentes constructivos de tierra, está vinculado con el equilibrio de la textura de sus componentes. Muchos procesos de estabilización tradicional emplean tierras arcillosas porque adquieren mayor cohesión y resistencia pero para controlar su retracción se estabilizan agregándoles arena gruesa. Los resultados son parcialmente eficientes porque, si bien se mantiene una porosidad adecuada que garantiza el intercambio de



Figura 2. Módulo experimental realizado en 2014 con TVC. Mide 2.4m de lado y los muros poseen 14cm de espesor. Zacatenco, México D.F. Foto: Luis Guerrero.

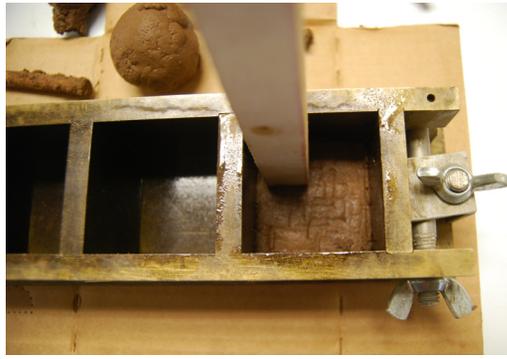


Figura 3. Compactación por capas de las probetas, UAM-Xochimilco, México D.F. Foto: Luis Guerrero.

aire y vapor de agua con el medio, disminuye la resistencia a la compresión de los componentes constructivos.

Por otra parte, durante milenios se ha puesto en evidencia la importancia de dotar a las mezclas de tierra de abundantes cantidades de agua que permitan activar las arcillas y distribuir las en el conjunto mediante cuidadosos métodos de mezclado, el cual es optimizado gracias al reposo de los lodos por uno o más días. Ese proceso es parte de la clave del éxito del sistema constructivo con adobes en todo el orbe, el cual permite conformar piezas prefabricadas muy resistentes a la manipulación y transporte.

Con la idea de disminuir el espesor de los muros de tierra para obtener mejores rendimientos de la materia prima, estables ante sismos y que además ocupen superficies menores como las que se demandan en zonas urbanas por el incremento de los costos de terreno, se decidió experimentar la realización de muros de tierra arcillosa vertida, estabilizada con triturados de rocas de origen volcánico que son abundantes en México, ligeras, permeables y que, gracias a la forma irregular de sus partículas y poros, desarrollan muy buena adherencia con la tierra (Figura 2).

Es importante aclarar que las condiciones de temperatura en las que se han probado estos sistemas constructivos no requieren de muros gruesos y con alta inercia térmica, debido a que las zonas centrales del país poseen climas templados con inviernos en los

que sólo uno o dos días se llegan a presentar menos de 0°C y los veranos rara vez superan los 32°C.

Entonces, se procedió a experimentar los medios para incrementar la densidad de los muros equilibrando la compactación con la hidratación. Siglos de experiencia en la construcción de componentes de tapia han demostrado que la tierra para ser adecuadamente compactada, requiere de muy bajos niveles de hidratación, los cuales giran en torno al 10%, dependiendo de la granulometría del material.<sup>5</sup>

Como se sabe, cuando se pretende compactar capas de tierra con espesores mayores a los 8cm, se presenta un fenómeno de amortiguamiento caracterizado por un diferencial de densidad entre las partes altas en contacto con el pisón y las zonas más profundas. Este fenómeno se vuelve crítico al aumentar la cantidad de agua presente en el suelo. La tierra húmeda atenúa los golpes de las herramientas para compactar y solamente adquieren densidad las capas altas en 2 a 4 cm de espesor.

A partir de los resultados obtenidos de experiencias anteriores<sup>6</sup>, se planteó que una de las aportaciones experimentales para el mejoramiento de resistencia y durabilidad de los muros, dependería del incremento de su densidad mediante menores esfuerzos de compactación, compensados por una mayor hidratación de la tierra. Se aumentó el volumen de agua a poco más del doble de la

Probetas	Material y Relación	Agua	Estabilizante
A	Tierra (compactada)	17,50%	0
B	Tierra (no compactada)	26,25%	0
C	Tierra+Arena (1:2)	17,50%	0
D	Tierra+Arena (1:1)	21,25%	0
E	Tierra+Tepojal (1:1)	20%	0
F	Tierra+Tepojal (2:1)	25%	0
G	Tierra+Tepojal+Cal (1:1:0.05)	25%	Cal 5%
H	Tierra+Tepojal+Cal (2:1:0.1)	26,25%	Cal 10%
I	Tierra+Cal (1:0.05)	25%	Cal 5%
J	Tierra+Cemento (1:0.05)	26,25%	Cemento 5%
K	Tierra+Tepojal+Cemento (2:1:0.05)	26,25%	Cemento 5%

Tabla 1. Materiales y dosificaciones utilizadas para la elaboración de los once tipos de probetas.

requerida para la tapia, pero combinando esta estrategia con la compactación en estratos delgados de material dentro del molde.

Los primeros experimentos que se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco consistían en comparar muestras de tierra natural y morteros de tierra estabilizada con una roca volcánica extrusiva conocida localmente como tepojal o tepetzil, la cual tiene mucho parecido con la piedra pómez, aunque con perfiles amorfos. En todos los ensayos se utilizó tierra traída de la región de Tlaxco, Tlaxcala, en el centro de México, debido a que se previó construir una vivienda en ese sitio, la cual serviría como una prueba piloto de la técnica.

Con esta tierra de características arcillosas, se hicieron probetas cúbicas de 5 x 5 x 5cm de cada una de las muestras y se dejaron secar a fin de hacer evaluaciones de su resistencia a la compresión y absorción capilar. Se desarrollaron inicialmente dos grupos de probetas, las primeras (Tipo B) se realizaron llenando por completo los moldes con material en estado plástico, solamente vibrándolo sin ejercer presión.

Para el segundo grupo (Tipo A) el llenado de los moldes se realizó sobreponiendo gradualmente cuatro capas de tierra de 1.5 cm de espesor, las cuales se compactaron manualmente una por una, con la ayuda de un trozo de madera que tenía una base de

1.5 x 1.5 cm de superficie y 15cm de longitud (Figura 3).

Siguiendo esta misma estrategia se pasó a la etapa de estabilización con hidróxido de calcio tanto solo como en combinación con materiales puzolánicos. También se hicieron series de probetas con cemento solamente como referente pues desde el principio de los experimentos había sido descartado como alternativa de construcción por resultar un material considerado poco sostenible.

Se elaboraron entonces nueve tipos de probetas adicionales, dando un total de once tipos. Se utilizaron letras de la A a la K para su nomenclatura y análisis. Las mezclas tuvieron como cargas y estabilizantes en sus diferentes combinaciones: arena, tepojal, cal hidráulica y cemento (Tabla 1).

### 3. Resultados

Partiendo del análisis comparativo de la elaboración de las series de probetas de tierra natural compactada y no compactada, se observa que el requerimiento de agua para las probetas Tipo B fue mayor en un 66.6% con respecto a las del Tipo A, debido a que para poder ser vertida y vibrada se necesita alcanzar un estado semilíquido que permita su trabajabilidad. En cambio el estado plástico de la Probeta Tipo A posibilita que las partículas adquieran la forma del contenedor con ayuda de la compactación por capas.

Probetas	Material y Relación	Resistencia promedio a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Tierra (compactada)	74,2
B	Tierra (no compactada)	54,5
C	Tierra+Arena (1:2)	54,5
D	Tierra+Arena (1:1)	37,86
E	Tierra+Tepojal (1:1)	40,62
F	Tierra+Tepojal (2:1)	40,1
G	Tierra+Tepojal+Cal (1:1:0.05)	19,9
H	Tierra+Tepojal+Cal (2:1:0.1)	18,37
I	Tierra+Cal (1:0.05)	17,62
J	Tierra+Cemento (1:0.05)	22,12
K	Tierra+Tepojal+Cemento (2:1:0.05)	21,96

Tabla 2. Resultados promedio obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión.

Otro aspecto que resulta digno de resaltar es el tiempo de secado de las probetas, ya que las del Tipo A requirieron sólo de algunos minutos para poder ser desmoldadas pues el estado del material permite que las partículas una vez acomodadas en el molde liberen humedad y puedan mantener la forma. En cambio, una vez vertido y vibrado el material de las probetas Tipo B, se requirió por lo menos 24 horas de secado en el molde, por contener mayor cantidad de agua.

Este aspecto también resulta clave desde el punto de vista de la sostenibilidad del sistema constructivo propuesto, ya que el tiempo y el agua son recursos muy valiosos que deben ser cuidados y optimizados durante los procesos constructivos tanto por cuestiones económicas como ambientales.

Por otra parte, con respecto a la retracción volumétrica, se pudo observar que las Probetas Tipo B redujeron su tamaño entre 2 y 3mm por lado. En cambio las Probetas Tipo A nunca mostraron pérdidas de volumen superiores a 1mm, lo que las hace mucho más estables y menos propensas al agrietamiento.

Una vez que las probetas se secaron por completo por periodos de 14, 21 y 28 días, fueron sometidas a ensayos de compresión en una prensa manual digital ELVEC, modelo E 657-1 (ASTM C39; AASHTO T22) y los resultados promedio que se obtuvieron se muestran en la tabla 2.

Es digna de llamar la atención la diferencia entre las probetas Tipo A ensayadas con respecto al resto de los grupos. Este tipo realizado con la tierra compactada sin estabilizar alcanzó un promedio de resistencias de 74.2 kg/cm<sup>2</sup>, siendo aproximadamente 40% superior con respecto al resto de probetas.

Con los resultados obtenidos se puede determinar que las resistencias más altas se alcanzan con la tierra en estado natural lo que responde al hecho de que la densidad es mayor que el resto, al tener menor proporción de materiales áridos. En cambio la disminución más notable se presenta en las probetas elaboradas con tepojal y cal, en un orden de 20 a 25 % derivado de la menor densidad con respecto al resto de las probetas. Se evidencia un leve incremento en la capacidad de carga cuando la cal se sustituye por cemento.

Durante los ensayos se observó que, a diferencia de lo que se ha documentado<sup>7</sup> en tierras que presentan otra composición arcillosa, la estabilización con cal de la tierra de Tlaxco, reduce drásticamente su resistencia a la compresión. Sin embargo, esta capacidad de carga registrada resulta adecuada para la aplicación constructiva que se le dio posteriormente en el diseño de una vivienda de dos niveles.

Por otra parte, la cualidad más relevante de este proceso de estabilización, se deriva de su importante resistencia ante las afectaciones

del medio ambiente, que era otra de las variables a considerar debido a que en la zona de trabajo, resulta ser el principal factor de vulnerabilidad de la construcción con tierra.

Una vez obtenidos los resultados de los esfuerzos mecánicos se procedió a analizar la resistencia a la humedad de los diferentes tipos de probetas. Para ellos se realizaron dos tipos de pruebas. La primera de absorción capilar basada en la Norma Italiana (*NORMAL 11-85, Assorbimento acqua per capillarità*) que analiza el incrementando en el peso de las probetas en lapsos de tiempo determinados (cada 30 segundos) hasta llegar a la saturación o degradación de la muestra. Y la segunda que es de carácter cualitativo y consistió en la inmersión total de probetas en recipientes con agua, a fin de documentar su tiempo de disgregación total.

Los resultados de la primera serie de evaluaciones permitieron observar que las probetas con los materiales en estado natural así como las estabilizadas con arena fueron las que presentaron menores coeficientes de absorción. En un nivel intermedio se encuentran las muestras estabilizadas solamente con tepojal, mientras que las que mostraron un mayor coeficiente de absorción fueron las probetas elaboradas con tepojal, cal y cemento respectivamente. Esto significa que éstas últimas tienen la capacidad de absorber y liberar la humedad contenida de manera más rápida sin afectar la estabilidad del sistema ya que los cementantes evitan su degradación.

Los ensayos de la Inmersión Total en agua, permitieron conocer el comportamiento de tres tipos de probetas frente a la acción más drástica de afectación hídrica, poniendo en evidencia su degradación gradual hasta llegar a la destrucción total. Las probetas de Tipo B que tenían tierra natural se desintegraron por completo a los 40 minutos. Las probetas Tipo A que tenían también tierra natural pero que habían sido compactadas por capas llegaron a un punto de falla similar a las primeras pero en un proceso que alcanzó los 130 minutos. Por lo que se evidencia que el material que es vertido y vibrado muestra una destrucción 325% más rápida que los ejemplares compactados.

Sin embargo, el resultado más destacable de los ensayos se deriva de las probetas Tipo H,

hechas de tierra compactada por capas pero estabilizada con cal y tepojal. Estas probetas que se introdujeron en recipientes con agua al mismo tiempo que las del Tipo A y B, pasados más de seis meses siguen manteniendo la forma y conservando sus características originales, sin desprendimiento de material.

El tipo de arcillas que compone la tierra estudiada, en combinación con el material de origen volcánico desarrollaron una reacción puzolánica<sup>8</sup> con la cal, de manera que se consolidó el sistema y, sin volverse impermeable, adquirió notable resistencia a la humedad, aun estando en las peores condiciones posibles, es decir, totalmente sumergido. Esta prueba confirma el potencial que representa el uso de este recurso como protección ante uno de los factores más agresivos del patrimonio construido con tierra: el agua.

De esta manera se logró caracterizar un material constructivo que aunque tuvo una notable disminución en su resistencia a la compresión, en comparación con su condición natural, presenta inigualables ventajas en su trabajabilidad, velocidad de secado y resistencia a la afectación por humedad que se pudiera presentar por absorción capilar, escurrimientos o precipitaciones pluviales.

Pero además, por contener cal y el tepojal que es muy poroso, disminuye el peso de los bloques y por consecuencia se reducen las dimensiones requeridas en la cimentación. Y finalmente esta condición le confiere cualidades de aislamiento térmico al sistema, gracias a la presencia del aire contenido en los poros del material volcánico.

Con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Materiales se procedió a llevar a cabo la construcción de una vivienda de tierra vertida compactada, desarrollada en dos niveles de altura, en los terrenos del Proyecto San Isidro, Tlaxco, Tlaxcala. El diseño fue realizado y supervisado por la Arq. Alejandra Caballero con la asesoría constructiva de los autores del presente texto.

Para optimizar el trabajo se proyectó una modulación a partir de bloques de 1.10m x 0.6m x 0.35m. La longitud de las piezas surgió del análisis de muretes realizados en experiencias anteriores desarrolladas en talleres comunitarios en donde se pudo

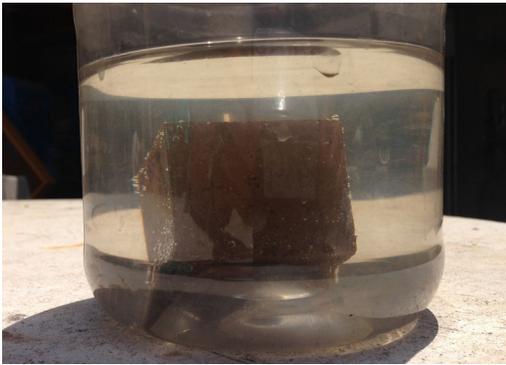


Figura 4. Integridad de una probeta de TVC estabilizada con cal y tepojal que lleva sumergida más de seis meses. UAM-Xochimilco, México D.F. Foto: Luis Guerrero.



Figura 5. La dimensión de los encofrados facilita su transportación y colocación, además de propiciar una rápida compactación. Tlaxco, Tlaxcala, Foto: Blas Antonio Tepale.

observar que generalmente a distancias de 1.2 m se presentaban fisuras verticales en los componentes monolíticos. Además, ese tamaño responde adecuadamente a las características dimensionales de la madera comercial en México.

El proceso de trabajo se llevó a cabo de manera totalmente manual por una pareja de albañiles. El mezclado de la tierra con tepojal, cal y agua se realizaba con palas a pie de obra. Luego se transportaba la tierra en baldes a la construcción y se vaciaba dentro del encofrado cuidando controlar el espesor de cada capa, el cual no debería superar los 4 cm antes de compactarse.

Gracias a la humedad de aproximadamente 23% de la tierra, la compactación resultaba sencilla y rápida. Se utilizó una especie de mazo de madera de perfil cuadrangular de 10 x 10 cm de base y 80 cm de longitud. Con diez o doce golpes en la tierra localizada en el borde interno del encofrado y otros tantos en las áreas centrales, cada capa quedaba suficientemente compactada como para recibir la siguiente.

A diferencia de lo que sucede en la construcción con tapia que requiere que los tapias estén conformados por gruesos tablones, la ligereza de los mazos y la poca fuerza de golpeo necesario, permite utilizar tablas de 1.5 cm de espesor con lo que los moldes resultan sumamente manejables (figura 5).

Se pudo documentar que trabajando de manera continua es posible llenar el molde en un lapso de 45 minutos y, gracias a la escasa cantidad de agua de mezclado se podía descimbrar inmediatamente. Esto significa que en una jornada de trabajo de 8 horas se realizaron 8 módulos (5.28 m<sup>2</sup>) incluyendo el trabajo de preparación y acarreo de las mezclas.

#### 4. Conclusiones

En los momentos actuales en que los recursos naturales se vuelven cada vez más limitados ante el crecimiento de la población mundial, se hace imperativa la búsqueda de alternativas de edificación que aprovechen racionalmente la energía y las materias primas, y que además generen la menor cantidad posible de desechos al medio ambiente.

Para los países en desarrollo esta condición tiende a hacerse crítica porque las comunidades pobres que están acostumbradas a la autoconstrucción de sus viviendas, cada vez con mayor frecuencia pasan por alto los saberes constructivos de origen ancestral que heredaron de sus antepasados y caen en la destructiva dinámica de la dependencia de los materiales constructivos industrializados y de alta tecnificación.

En el caso de México estos procesos han incidido de manera radical en la generación de espacios inseguros e insalubres que se construyen mal con materiales que prometen ser de larga duración pero que, al ser



Figura 6. Primer nivel concluido. Tlaxco, Tlaxcala, Foto: Alejandra Caballero.



Figura 7. La bóveda de adobe que conforma el entrepiso de la casa fue diseñada por el Arq. Ramón Aguirre. Tlaxco, Tlaxcala, Foto: Luis Guerrero.

utilizados de forma inadecuada, en pocos años se deterioran.

De este modo se entra en un círculo vicioso de pobreza y dependencia en el que los entornos rurales y periferias urbanas día con día son alterados de manera irreversible por la generación de estructuras ajenas a las condicionantes geográficas locales y que, para colmo, no satisfacen las condiciones mínimas de confort higrotérmico de sus habitantes.

Es por ello que el diseño de mejoras en la construcción tradicional con tierra, la cual es conocida por la mayor parte de las comunidades de origen tradicional del país, puede resultar altamente sostenible desde el punto de vista ecológico, económico y social. Además, permite conformar espacios realmente habitables siguiendo una serie de principios de edificación que han probado su eficacia a lo largo de milenios.

Este es el caso de la propuesta que se ha descrito en el presente texto en la que, a partir de una serie de adecuaciones a procesos edilicios existentes y mediante la incorporación de materiales locales de muy bajo impacto ambiental como la cal y el tepojal, fue posible desarrollar componentes constructivos de un elevado potencial de aplicación en viviendas sociales para México.

Entre las ventajas del sistema de la tierra

vertida compactada, estabilizada con cal y materiales de origen volcánico destaca la generación de elementos constructivos más ligeros, porosos y, por lo tanto, térmicamente aislantes y permeables al vapor de agua con lo que se favorece un adecuado control de las condiciones higrotérmicas de los espacios interiores. Además, el uso de la cal garantiza una destacable resistencia ante los embates de la lluvia, al tiempo que se propicia que los espacios tengan un secado más rápido cuando este fenómeno se presenta.

Los tiempos de construcción resultan equiparables con los que caracterizan a los sistemas convencionales de edificación con la ventaja de que los propios habitantes, pueden llevar a cabo procesos de autoconstrucción sin ninguna complicación técnica y utilizando materia prima surgida de su propio suelo. Adicionalmente, en caso de que los inmuebles se dañen o deterioren las reparaciones pueden ser realizadas sin complicación alguna con lo que se fortalece la independencia y el trabajo solidario.

Las construcciones realmente sostenibles no son las que cumplen con las normas y estándares generados e impuestos por las instituciones vinculadas con la producción industrial, sino las que permiten elevar la calidad de vida de sus habitantes, tejen relaciones sociales y fortalecen las raíces de las comunidades al valorar su historia, tradiciones y entorno natural.

## Bibliografía

- ARANDA, Y. y SUÁREZ, E. "Análisis experimental para determinar la productividad térmica en la tierra vertida". En *Memorias del 14 SIACOT*, FUNDASAL/ PROTERRA, San Salvador, 2014. El Salvador.
- BORGES Faria Célia Neves Obede. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. (1). RED IBEROAMERICANA PROTERRA. Bauru-SP FEB-UNESP / PROTERRA. Brasil.
- FERNÁNDEZ, C. *Mejoramiento y estabilización de suelos*. Ed. Limusa. México D.F., 1992. México.
- GATTI, FABIO. (2012). ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA, Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Catalunya.
- GUERRERO, L. "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva". En *Apuntes* 20 (2), pp. 182-201, Bogotá, 2007. Colombia.
- GUERRERO, L. "Arquitectura vernácula y conservación sostenible". En *La Gaceta del Instituto del Patrimonio Cultural*, 27, pp. 26-32, Oaxaca, 2014. México.
- GUERRERO, L.; ROUX, R. y SORIA, F. J. "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México". En *Palapa V-1* (10) pp.45-57, Colima, 2011. México.
- GUERRERO, L. y SORIA, F. J. "Estabilización de suelos con cal y puzolanas". En *Construcción con Tierra*, 6, pp.15-24, Buenos Aires, 2014. Argentina.
- GUERRERO, L.; SORIA F.; GARCÍA, J. R. Y FERNÁNDEZ F. "Comportamiento Térmico de un Módulo Experimental Construido con Tierra Vertida Compactada en la Ciudad de México". En *Memorias de EURO-ELECS-2015*. Guimarães 2015. Portugal. pp.739-746.
- HOFFMANN, M.; MINTO, F.; HEISE, A. "Tapia". En Neves, C. y Faria, O. (Coord.), *Técnicas de construcción con tierra*, FEB-UNESP/PROTERRA, Bauru, SP, 2011. Brasil. pp.46-61.
- HOUBEN, H. y GUILLAUD H. *Earth Construction. A comprehensive guide*. ITDG publishing. London. 2005, United Kingdom.
- HAYS, A., et. al (1990). *Construir con Tierra*. Tomo I. Fondo Rotario Editorial. Bogotá, Colombia
- JUÁREZ, E. y RICO, A. *Mecánica de suelos*. Ed. Limusa, México D.F., 2010. México.
- OLIVIA, M. (2014) "HABITAR LA TIERRA". Construcción con tierra como vía hacia la habitabilidad en las viviendas de Mexicali, B.C. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México
- SEPULCRE, A. "Análisis comparativo de determinados aspectos sobre la hidraulicidad en los morteros de cal." En *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*. Fundación Santa María la Real. Palencia, 2005. España. pp. 71-121.

## Citas y notas

1. HOUBEN, H. y GUILLAUD, H. *Earth Construction. A comprehensive guide*. ITDG publishing. London. 2005, United Kingdom.
2. ARANDA, Y. y SUÁREZ, E. "Análisis experimental para determinar la productividad térmica en la tierra vertida". En *Memorias del 14 SIACOT*, FUNDASAL/ PROTERRA, San Salvador, 2014. El Salvador. pp.76-79.
3. GUERRERO, L.; SORIA F.; GARCÍA, J. R. Y FERNÁNDEZ F. "Comportamiento Térmico de un Módulo Experimental Construido con Tierra Vertida Compactada en la Ciudad de México". En *Memorias de EURO-ELECS-2015*. Guimarães 2015. Portugal. pp.739-746.
4. GUERRERO, L. "Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva". En *Apuntes* 20 (2), pp. 182-201, Bogotá, 2007. Colombia.
5. HOFFMANN, M.; MINTO, F.; HEISE, A. "Tapia". En Neves, C. y Faria, O. (Coord.), *Técnicas de construcción con tierra*, FEB-UNESP/PROTERRA, Bauru, SP, 2011. Brasil. pp.46-61.
6. GUERRERO, L.; ROUX, R. y SORIA, F. J. "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México". En *Palapa V-1* (10): pp. 45-57, Colima, 2011. México.
7. Ibid.
8. SEPULCRE, A. "Análisis comparativo de determinados aspectos sobre la hidraulicidad en los morteros de cal." En *Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales*. Fundación Santa María la Real. Palencia, 2005. España. pp. 71-121.