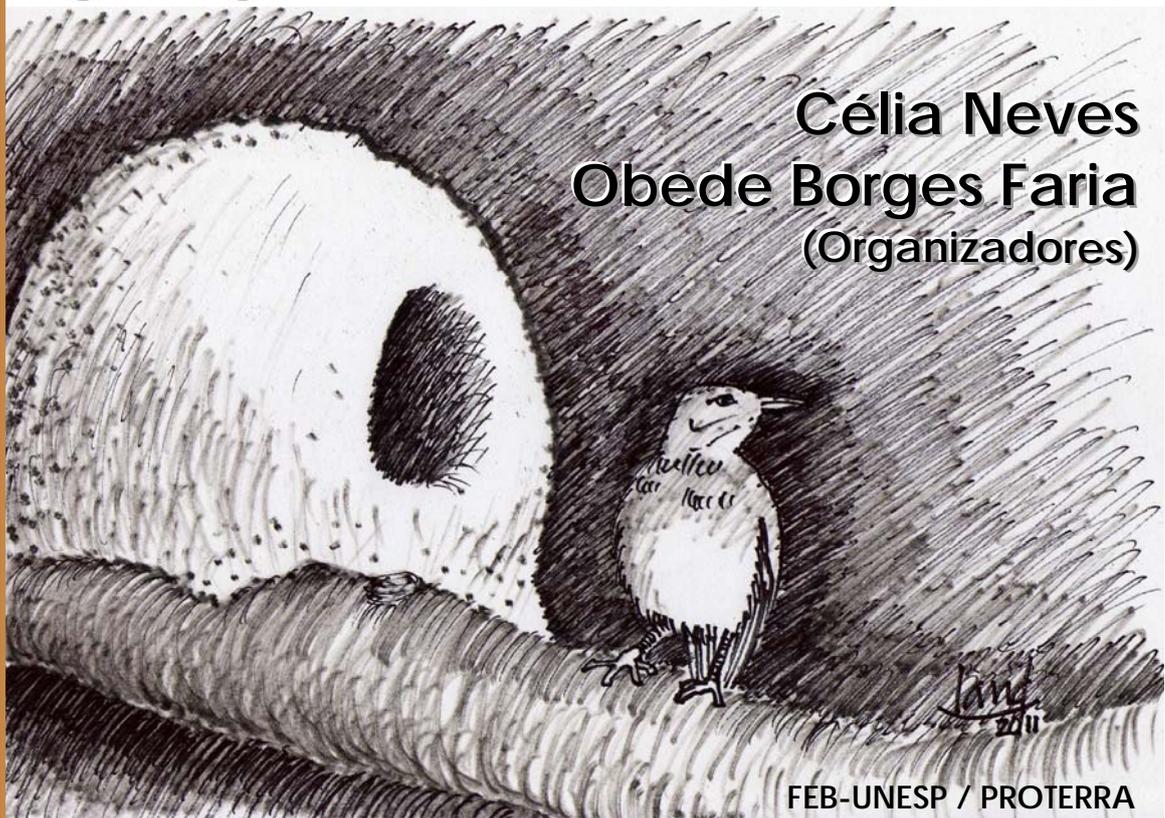


# TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA



Célia Neves  
Obede Borges Faria  
(Organizadores)

Célia Neves  
Obede Borges Faria  
(Organizadores)

# TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Bauru-SP  
FEB-UNESP / PROTERRA  
2011

Traducción de los artículos en portugués para el español: **Célia Neves, Graciela M. Viñuales, Luis Fernando Guerrero Baca y Rodolfo Rotondaro**

Diagramación: **Célia Neves y Obede Borges Faria**

Portada: **Obede Borges Faria**, con dibujo de **Andrés Nogués**

720            Técnicas de construcción con tierra / Célia Neves y  
T253            Obede Borges Faria, organizadores. -- Bauru : FEB-  
                  UNESP / PROTERRA, 2011.  
                  79 p. il.

                  Varios autores  
                  ISBN 978-85-64472-01-3

                  Incluye bibliografía

                  1. Arquitectura y Construcción con tierra. 2.  
                  Técnicas constructivas. I. Neves, Célia. II. Faria,  
                  Obede Borges. III. Título.



**Faculdade de Engenharia de Bauru**  
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01  
17033-360 Bauru – SP (Brasil)  
[www.feb.unesp.br](http://www.feb.unesp.br)



**RED IBEROAMERICANA PROTERRA**  
**REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA**  
[www.redprotterra.org](http://www.redprotterra.org)

TÉCNICAS  
DE CONSTRUCCIÓN  
CON TIERRA



# TERRA

PRO  
PRO  
PRO

PROTERRA fue creado en octubre de 2001 como un Proyecto de Investigación del CYTED – Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. En febrero de 2006, se concluye el proyecto de investigación y se inicia la Red Iberoamericana PROTERRA, una colectividad de cooperación técnica que promueve la arquitectura y construcción con tierra en Iberoamérica a través de actividades de capacitación y transferencia de tecnología, además de otras acciones y la generación de diversas publicaciones.

**Coordinación PROTERRA 2001 – 2008:** M. Sc. Ing. Célia Maria Martins Neves  
(CEPED – Brasil)

**Coordinación PROTERRA 2008 – 2011:** Dr. Arq. Luis Fernando Guerrero Baca  
(UAM-Xochimilco – México)

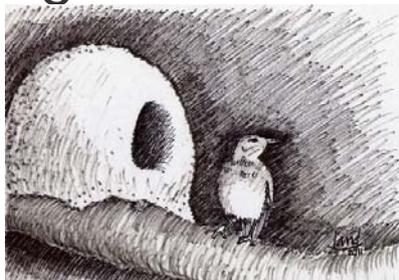
**Consejo Consultivo:** M. Sc. Ing. Célia Maria Martins Neves (Rede TerraBrasil – Brasil)  
(2009 – 2012) Dr. Ing. Julio Vargas Newman (PUCP – Perú)  
Arq. Lucía J. E. C. Garzón (TECNOTIERRA – Colombia)  
Dra. Arq. Mariana Correia (ESG – Portugal)  
Arq. Rodolfo Rotondaro (FADU/UBA – Argentina)

**Consejo Científico:** **Miembros de PROTERRA**  
(2009 – 2012) Dr. Ing. Marcial Blondet (Escuela de Posgrado, PUCP – Perú)  
Dr. Ing. Obede Borges Faria (FEB/UNESP – Brasil)  
Prof. Arq. Rafael Mellace (FAU/UNT – Argentina)  
Prof. Arq. Hubert Guillaud (CRATerre/EAG – Francia)  
Dr. Arq. Silvio Ríos (Universidad Nacional de Asunción – Paraguay)

**Especialistas colaboradores**

Eng. Mónica Bahamondez (ICOMOS/ISCEAH – Chile)  
Rest. Carolina Castellanos (Consultora UNESCO – México)  
Dra. Nuria Sanz (Oficina de Patrimonio Mundial - UNESCO)  
M. Sc. Jeanne-Marie Teutónico (Instituto Getty – USA)

## Agradecimientos



Los organizadores agradecen a los autores y a los siguientes colaboradores:

**ANDRÉS NOGUÉS**, por el dibujo especialmente producido y cedido para ilustrar la portada de este trabajo;

**GRACIELA MARÍA VIÑUALES**, por su colaboración con la revisión de la traducción para el español;

**JUAN TRABANINO**, por su colaboración con la elaboración de algunas ilustraciones del texto;

**LUIS FERNANDO GUERRERO BACA**, por su colaboración con la revisión de la traducción para el español; y,

**RODOLFO ROTONDARO**, por su colaboración con la revisión de la traducción para el español.

## SUMARIO



- 9** **Introducción**  
*Célia Neves*
- 12** **Identificación y selección de suelos**  
*Obede Borges Faria*
- 16** **Adobe**  
*Rodolfo Rotondaro*
- 26** **Bóveda de tierra**  
*Ramón Aguirre Morales*
- 35** **Bloque de tierra comprimida – BTC**  
*Célia Neves; Ana Paula Milani*
- 46** **Tapia**  
*Márcio Vieira Hoffmann; Fernando Cesar Negrini Minto;  
André Falleiros Heise*
- 62** **Técnicas mixtas**  
*Lucía Esperanza Garzón*
- 72** **Revestimientos**  
*Luis Fernando Guerrero Baca*
- 78** Currículo de los autores
- 79** Currículo de los colaboradores

### **Sugestión para citación de este trabajo:**

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construcción con tierra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponible en <<http://www.redprotterra.org>>. Acceso en día/mes/año.

# PRESENTACIÓN

**L**a arquitectura y construcción con tierra han tenido una larga trayectoria en Iberoamérica y, aunque su desarrollo se remonta a más de cinco mil años de antigüedad, en diversos contextos de la región sigue estando tan vigente como en su origen. En gran medida, su pervivencia secular obedece a la abundancia de su materia prima, a la economía de sus procesos constructivos, a sus cualidades bioclimáticas y a la armonía de su interrelación con el medio ambiente en que se desenvuelve.

Pero a pesar de estos hechos, desafortunadamente la documentación de la cultura constructiva asociada a la tierra no ha recibido la atención que merecería en la mayor parte de las instancias académicas e institucionales. Aunque en años recientes se ha avanzado notablemente en la recuperación y sistematización de datos históricos sobre este tema, así como en la generación de conocimientos científicos tendientes a explicar y predecir el comportamiento de las estructuras elaboradas con tierra cruda, estas informaciones no han contado con suficiente nivel de difusión.

Por estos motivos, desde principios del siglo XXI, PROTERRA se ha dado a la tarea de generar una red de intercambio que permita que investigadores, profesores, diseñadores y constructores de Iberoamérica contribuyan en el desarrollo y transferencia de la tecnología de la arquitectura y construcción con tierra.

Las labores que actualmente ejecuta la Red Iberoamericana PROTERRA se agrupan en cuatro líneas de acción: Investigación, Enseñanza Formal, Desarrollo de Talleres Prácticos y Difusión. La diversidad en la formación, actuación profesional y personalidad propia de cada uno de los miembros de la Red, ha incidido en la manera en que se vinculan con estas líneas de acción.

Con el fin de estructurar de manera lógica la interrelación de estas líneas y sobre todo, de hacerlas accesibles para un amplio nivel de lectores, se planteó la idea de generar un texto colectivo en el que algunos miembros de la Red apoyaran sintetizar su experiencia en temas específicos de la construcción. Así surgió “Técnicas de Construcción con Tierra”, aquí presentado.

El objetivo central con el que se diseñó del presente texto obedecía a la necesidad del establecimiento de unas normas que deberían cumplir los talleres que desarrollados con el aval de la Red Iberoamericana PROTERRA, a fin de contar con estándares de calidad compartidos.

Sin embargo, el presente texto ha ido más allá. La profundidad de los temas tratados ligada a la claridad pedagógica de su redacción hacen de este documento un complemento para la docencia y práctica de la edificación con tierra en un ámbito de mayor amplitud.

Se trata de un texto dirigido a las personas que se habrán de hacer cargo del desarrollo de talleres de transferencia de tecnología, pero también puede resultar de gran utilidad para estudiantes, profesores, constructores, investigadores y personal que labora en instituciones de apoyo a la edificación para quienes se convierte en una guía para su práctica cotidiana.

Con esta publicación la Red Iberoamericana PROTERRA da un paso más en el cumplimiento de sus objetivos, como puente entre los diversos profesionales involucrados con la arquitectura y construcción con tierra y la sociedad a la que están destinados a servir.

Marzo de 2011

Luis Fernando Guerrero Baca  
Coordinador de la Red Iberoamericana PROTERRA

La tierra<sup>2</sup> ha sido uno de los materiales de construcción utilizados por el hombre desde tiempos prehistóricos, tanto en edificios de carácter popular como en edificios representativos y monumentos. Desde la segunda mitad del siglo XIX, el uso habitual de la tierra fue cediendo inevitablemente ante la aparición de materiales de construcción industrializados, y así la tierra se quedó al margen de las obras públicas y privadas, donde comenzó a competir con el gusto de los patrones estéticos dictados por los nuevos materiales. Sin embargo, especialmente en los países en desarrollo, la tierra continúa como una de las únicas alternativas para la construcción de la población excluida del mercado formal de vivienda: por lo general los que viven en las periferias de las ciudades y en el campo. Asociada a la supervivencia de los sistemas constructivos primitivos, mantenida por la necesidad de habitar de esta gente, la tierra es objetivo de los investigadores que buscan el avance de la tecnología, mediante el rescate y el conocimiento de las técnicas utilizadas en el pasado, al igual que el desarrollo de sistemas constructivos innovadores y coherentes, caracterizados por la simplicidad, la eficiencia y el bajo costo.

Las técnicas de construcción con tierra han surgido en casi todas las civilizaciones del pasado y se expandieron a través de las invasiones y colonizaciones, comunes en la historia de la humanidad. Las técnicas nativas se unieron a las técnicas traídas por los extranjeros y, con variadas combinaciones entre ellas, se fueron adaptando y organizando de las formas más apropiadas para la construcción. Las técnicas presentan similitudes de una región a otra, pero cada una tiene peculiaridades y nomenclatura propia que, muchas veces, confunde hasta a los más estudiosos.

Una de las técnicas de construcción más antiguas y empleada hasta hoy es la de albañilería de adobe. En general, los adobes se hacen por colocación manual del barro, compuesto de tierra y agua, dentro de un molde que descansa sobre una superficie plana, procediéndose al desmolde inmediato. Los antiguos constructores aprendieron a usar la tierra, mejorando sus propiedades con la adición de otros materiales y protegiendo las superficies exteriores de la acción de agentes degradantes. Empíricamente, la impermeabilidad del adobe fue mejorada por la adición de asfalto natural a la mezcla de suelo y agua, la contracción se redujo con la adición de paja y los suelos fueron mezclados para obtenerse una tierra con granulometría más adecuada.

Otra técnica, conocida como *taipa-de-pilão* (o simplemente *taipa*) en Brasil y Portugal, *tapial* o *apisonado* en otros países iberoamericanos, corresponde a las paredes monolíticas construidas en el propio sitio. Ella consiste en la compresión de capas de tierra húmeda dentro de grandes moldes (*taipal* o *tapial*), generalmente de madera, que se van reubicando a medida que avanza la construcción. Para garantizar el plomo y mantener constante el espesor de la pared se utilizan guías verticales que incluso facilitan el desplazamiento de los moldes.

Otra técnica constructiva muy interesante y utilizada en varias regiones se caracteriza por la combinación de madera, bambú, palos, paja, fibras diversas y, eventualmente, aglomerantes. Conocida como *taipa de mão*, *taipa de sopapo*, *pau a pique* o *taipa* en Brasil,

<sup>1</sup> Traducción de Célia Neves; revisión de Graciela M. Viñuales

<sup>2</sup> En la arquitectura y construcción con tierra –nombres dados a toda la producción arquitectónica que emplea el suelo como la principal materia prima– se usan diversas denominaciones, tales como tierra cruda, tierra sin cocer, tierra para construir, pero lo usual –que es lo adoptado en este trabajo– es la palabra “tierra”, lo que representa al suelo apropiado para la construcción. El término “suelo” es usado principalmente cuando involucra clasificaciones y caracterizaciones, que también son adoptados en otros campos de la ingeniería, así como son los términos como suelo-cemento, suelo-cal y suelo estabilizado, entre otros.

ella recibe diferentes nombres en otros países, tales como quincho, quincha, bahareque, estanqueo, fajina. PROTERRA (2003) propuso la denominación general del sistema como "técnica mixta", pero conservándose las variadas nomenclaturas en cada región.

En resumen, la técnica mixta consiste en una estructura portante de madera unida por entramados reticulados de madera o palos y cubiertos con una mezcla plástica de tierra. En general, los efectos muy pronunciados de la contracción de esta mezcla requieren un revestimiento después del secado.

El uso de técnicas mixtas se encuentra en climas variados, desde zonas con altas temperaturas hasta las más frías, y en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los más elevados en las montañas. Los edificios tienen un comportamiento estructural satisfactorio durante los constantes sismos, típicos en varios países de América Central y América del Sur (Neves, 1995).

Otras técnicas son menos conocidas y menos estudiadas por los investigadores, pero no menos importantes. Por lo general, son técnicas de ámbito geográfico y de aplicación más reducidos. Viñuales et al (1994) resaltan varias técnicas, tales como palo a pique, terrón, chorizo y bollos, a la vez que comenta el uso de las técnicas mixtas en la cobertura, especialmente en las zonas áridas y frías. Ella comenta las particularidades regionales de la cubierta de torta que, en la región de Cuyo en los Andes argentinos, es construida con formas curvas de excelente comportamiento en los frecuentes sismos locales. Los techos también pueden ser planos horizontales o inclinados, con dos o cuatro aguas en otras regiones, mientras que en los Andes chilenos, hay placas de tierra y paja que son preparadas en obra y, aún húmedas son colocadas sobre el entramado de la cubierta, tomando la misma forma del apoyo. Faria (2002) también presenta otras varias técnicas de construcción con tierra.

Al comparar las técnicas de construcción utilizadas en la antigüedad y las empleadas hoy, se constata que ellas han evolucionado, pasando por cambios y adaptaciones propias del conocimiento adquirido a través de investigaciones, prácticas y del medio socio-económico y cultural donde se ejecutan. Así es que la fuerza del trabajo del hombre va siendo reemplazada por equipos y herramientas, a la vez que se introducen otros materiales regionales y algunos materiales sintéticos.

Los estudios para estabilización de la tierra con aglomerantes, sobre todo con cemento que comenzó en los años '30 del siglo XX, abrieron un abanico de posibilidades para la construcción con el nuevo material, que ganó fuerza con el desarrollo de una prensa manual muy simple para fabricación de bloques, conocida por el nombre de CINVA-RAM (Neves, 2007), y creando la posibilidad de la industrialización de la construcción. Así surgió el mampuesto identificado como BTC (bloques de tierra comprimida, por lo general estabilizada con cemento), cuyo proceso de fabricación permite aplicar un sistema de control de calidad eficaz y asegura la uniformidad de las dimensiones del bloque.

Los problemas ambientales causados por el hombre en el proceso de producción de bienes de consumo, así como la producción sostenible del espacio urbano, se hicieron evidentes a finales del siglo XX, lo que dio como resultado la sensibilización de la sociedad sobre la urgente necesidad de revertir esta situación. Instalada la crisis de los modelos de construcción establecidos, la arquitectura y la construcción con tierra retornó como una alternativa sostenible, fomentando la búsqueda y la oferta para la formación y la capacitación de profesionales interesados en atender a los nuevos paradigmas.

Hoy puede verse que existen cursos especializados, formales y regulares, en las escuelas de nivel técnico y en las universidades en el ámbito de la conservación del patrimonio. Pero en los ámbitos dedicados a la arquitectura contemporánea, las actividades de formación y capacitación son irregulares y puntuales. Los cursos son generalmente de naturaleza informal y sobre todo se deben al laudable esfuerzo personal de algún profesional en particular y al apoyo de ciertas instituciones públicas y privadas.

En su gran mayoría, los centros educativos y las universidades no se ocupan de la arquitectura y la construcción contemporánea con tierra como una disciplina regular, lo que impide la generalización de la formación en este tema, que debería permitir dotar de una base correcta a los profesionales en sus puestos de trabajo, cuando necesitasen evaluar o aprobar proyectos -e incluso- diseñar y construir con tierra.

En la actualidad, existen iniciativas en todos los países iberoamericanos para desarrollar y publicar normas técnicas para la construcción de edificios en tierra. Además de las normas brasileñas para BTC con cemento, así como la revisión y ampliación de las normas de adobe del Perú, se publicaron la norma técnica colombiana BTC con cemento y la norma española para BTC (Neves; Villaça, 2009).

El conocimiento de la arquitectura y la construcción con tierra, adquirido a través del tiempo, ha puesto en marcha una dinámica innovadora de difusión a través de la comunicación virtual en Internet. El conocimiento generado en investigaciones y otras experiencias, antes limitados a los eruditos y constructores, son ahora más y mejor divulgados. Los portales, las redes virtuales, las redes sociales y el correo electrónico se han convertido en un gran aliado para el avance de la arquitectura y la construcción con tierra, ya que permiten encontrar y ponerse en contacto con los investigadores y otros profesionales, cambiar informaciones y conocimientos en un mundo atemporal, sin fronteras ni distancias, inimaginable en las generaciones pasadas.

Los profesionales que trabajan hoy en día son generalmente personas que han aprendido en la acción, mediante la práctica y la experiencia. Ellos tienen un bagaje considerable de conocimientos que se debe aprovechar para planificar las formas de formación y capacitación de nuevos profesionales. La Red Iberoamericana PROTERRA hace un gran esfuerzo para reunir e integrar expertos de diversas áreas del conocimiento, intercambiar y difundir los avances. A través de reuniones -seminarios, conferencias, talleres-, publicaciones y otras acciones, la Red Iberoamericana PROTERRA busca difundir la arquitectura y la construcción con tierra y encontrar formas adecuadas para la capacitación de un número razonable de personas interesadas en todos los países iberoamericanos.

### Referencias bibliográficas

FARIA, Obede Borges (2002). *Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP)*. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/>

NEVES, Célia (1995). Inovações tecnológicas em construção com terra na ibero-américa. In: *Workshop Arquitetura de Terra*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. p. 49-60.

NEVES, Célia (2007). Solo-cimento: dosagem e técnicas construtivas. In: *V Seminário Arquitetura de Terra em Portugal*. Aveiro: Universidade de Aveiro. 1 CD-ROM.

NEVES, Célia; COELHO, Ana Cristina Villaça (2009). Um passeio pelas normas de construção com terra nos países ibero-americanos. In: *VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra; II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra*. San Miguel de Tucumán: CRIATiC/FAU/UNT. 1 CD-ROM.

PROTERRA (2003). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABITED/CYTED.

VIÑUALES, Graciela M.; NEVES, Célia; FLORES, Mário O.; RÍOS, Silvio (1994). *Arquitecturas de tierra en iberoamérica*. Buenos Aires: HABITERRA/CYTED.

**D**esde sus inicios, la humanidad ha tenido una estrecha relación de dependencia con el suelo para su supervivencia, ya sea para la producción de alimentos o para refugio de la intemperie y de los predadores. En cuanto al cobijo, ella fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre, junto a la madera y la piedra (fragmentos de rocas), en sus formas originales. Estos refugios consistieron en las cuevas naturales o fueron construidos con madera en rollizos o con piedras amontonadas.

Cuando el hombre empezó a convertir los recursos naturales en los materiales de construcción, el adobe fue el primero de ellos, siendo obtenido de la mezcla plástica del suelo y del agua después de ser secado de manera natural (al sol no muy fuerte o a la sombra), con lo que se producían bloques rígidos para la construcción de los muros, igual que como se hacía con la piedra.

Según Lepsch (2010), hace 30.000 años, el hombre sólo identificaba los diferentes tipos de suelo teniendo en cuenta sus necesidades básicas, es decir: algunos suelos eran capaces de producir alimentos buenos, otros eran más adecuados para proveer pigmentos y otros para producir objetos. Hace alrededor de 10.000 años, con su fijación en determinados territorios y el comienzo de la agricultura, el hombre comenzó a interesarse más por el conocimiento del suelo. Uno de los pueblos pioneros en la clasificación de los suelos, los chinos, hace 6.600 años que ya tenían detectados nueve tipos de suelo para la agricultura.

Luego vinieron los griegos, con los estudios de Aristóteles y Teofrasto (hace unos 2.500 años); y más tarde los de los romanos, con el "Tratado de Agricultura," de Catón el Viejo (hace 2.200 años), y los de Columela (2000 años). En el primer milenio de la era cristiana, la contribución fue de los árabes, aún con los estudios de suelo destinados a la agricultura. Después de la Edad Media, con el advenimiento de la imprenta, y después de la Revolución Francesa, las ciencias han experimentado un gran avance. Surgió así la pedología, la ciencia que estudia el suelo como un todo y en su ambiente natural, establecida por el naturalista ruso Vasily V. Dokouchaev (en 1877), quien también definió la pedogénesis: el estudio de la formación del suelo.

Desde entonces, la pedología se subdivide en varias otras subáreas, como por ejemplo, la edafología (más relacionada con la agricultura, con sus diversas ramificaciones) y otras relacionadas con la ingeniería civil, como la geotecnia y la mecánica de suelos (que surgió en 1925, con el profesor Karl Terzaghi, según Caputo, 1996).

Sin embargo, no hay noticias de una subzona de la pedología especialmente dedicada al estudio del suelo como materia prima para la producción de materiales de construcción. De ahí la gran necesidad e importancia, para cualquier persona interesada en la arquitectura y en la construcción con tierra, de conocer el origen de los suelos, sus características, su comportamiento y algunos procedimientos para su identificación, ya que algunos tipos de suelos no son aptos para la producción de materiales de construcción y otros sólo son apropiados para ciertas técnicas de edificación. Según Neves et al (2011), los suelos aptos para la construcción se llaman sencillamente tierra.

## 1. FORMACIÓN DE LOS SUELOS

Simplemente, los suelos son el resultado de la acción del sol, la lluvia, el viento y el crecimiento de organismos en las rocas que componen la litosfera. A esta acción se le da el nombre de intemperismo físico (o sea la desintegración, lo que provoca cambios en la forma

<sup>1</sup> Traducción de Célia Neves; revisión de Graciela M. Viñuales

y el tamaño de las rocas) o intemperismo químico (es decir: la descomposición, con los cambios en la composición química de las rocas). La forma de intemperismo y la naturaleza de la roca madre son responsables de las diferentes características de los suelos.

La capa de roca alterada recibe el nombre de *regolito*, que es compuesto por el suelo (o *solum*, la capa superficial) y *saprolita* ("roca podrida", en un nivel medio), que en la región de Tiradentes, Minas Gerais, recibe el nombre popular de "moledo"<sup>1</sup> y que también fue utilizado durante el período de colonial brasileño como material de construcción. La figura 1 muestra una representación esquemática de la formación del suelo.

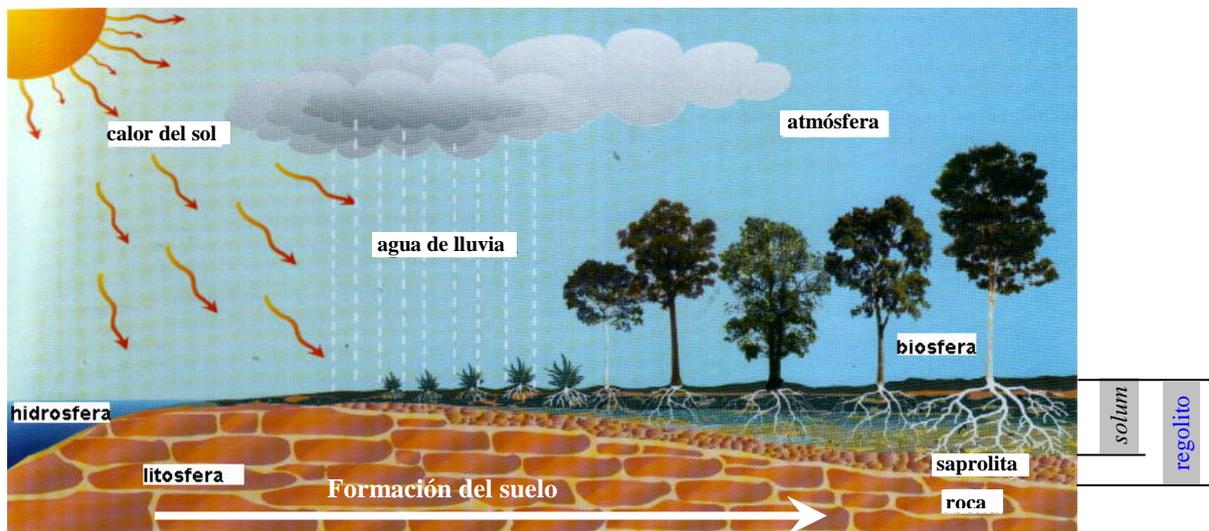


Figura 1 – Representación esquemática de la formación de suelos (adaptado de Lepsch, 2010)

El origen de las rocas también es muy diverso, e incluso hasta puede tener origen en los suelos (las rocas sedimentarias), pero éste es un asunto de la geología, que está más allá del alcance de este texto.

Un suelo completo y bien desarrollado se compone de varias capas distintas, llamadas horizontes principales y representadas de forma esquemática en las figuras 2 y 3. El grosor de estas capas puede variar mucho de un suelo a otro, así como los horizontes pueden ser descompuestos en subhorizontes. Normalmente, para la construcción con tierra, se descarta el horizonte O, mientras que el horizonte A también puede resultar inadecuado. Entonces, los horizontes más adecuados son el E y el B.

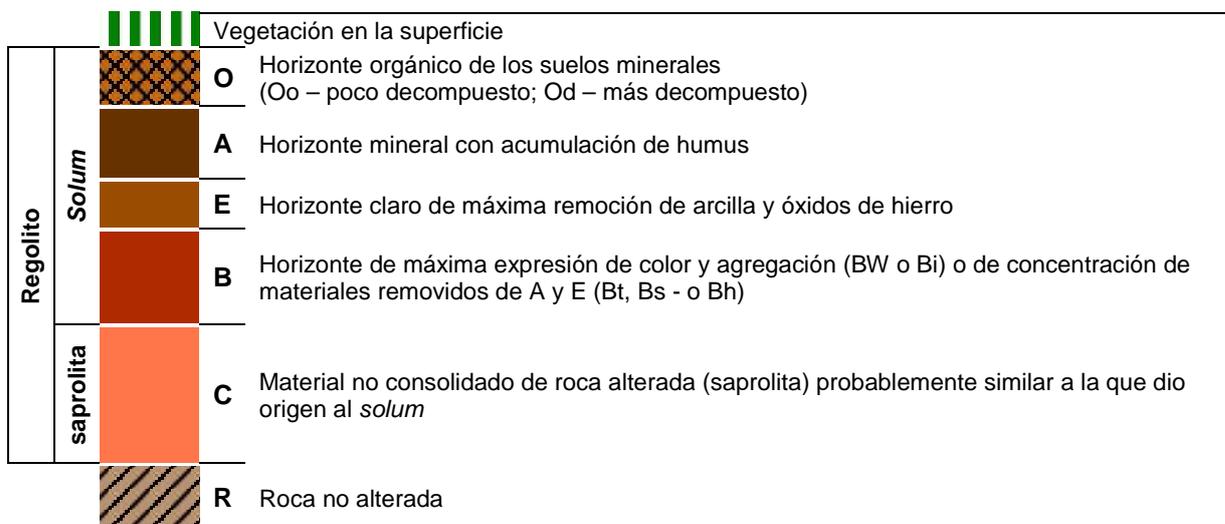


Figura 2 – Horizontes principales del suelo (adaptado de Lepsch, 2010)

<sup>1</sup> Conocido como "cangahua" o "canchahua" en las zonas de influencia quechua, o "asperón" en la zona de misiones guaraníicas (Nota de Graciela M. Viñuales)

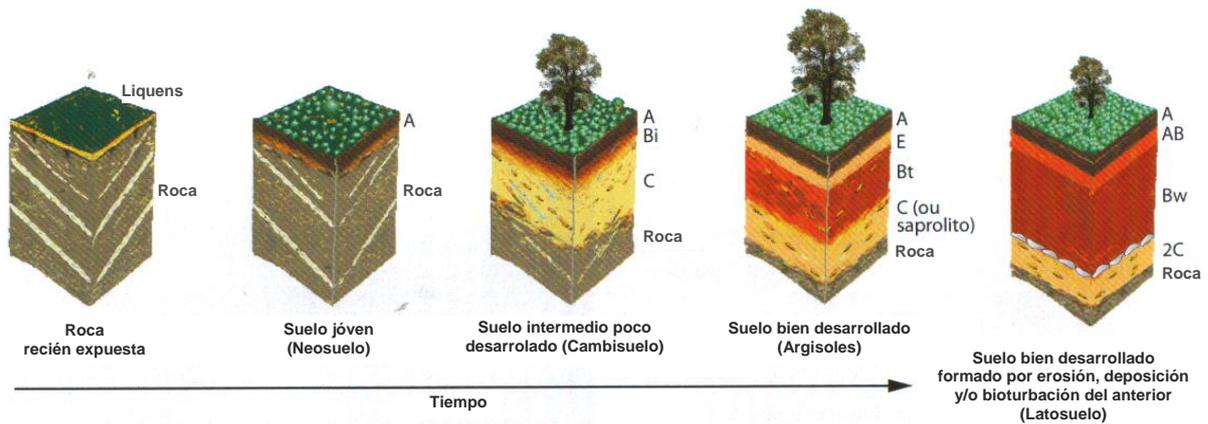


Figura 3 – Etapas del desarrollo de un suelo, con los horizontes principales (adaptado de Lepsch, 2010)

Con el tiempo, surgieron varios sistemas de clasificación de suelos, en función de sus características, algunos de los cuales siguen estando en uso. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas de clasificación no es el objetivo de este texto y no es relevante para la arquitectura y la construcción con tierra.

## 2. CÓMO IDENTIFICAR Y SELECCIONAR LOS SUELOS

Para seleccionar el suelo más adecuado, entre los que están disponibles en el sitio de construcción, es necesario obtener muestras representativas de estos suelos y en cantidades suficientes como para realizar todas las pruebas y ensayos. Para componer una muestra de suelo deben ser recogidas porciones en diversos puntos del terreno. Luego, las partes recogidas deben ser mezcladas, homogeneizadas y cuarteadas para obtener la muestra en estudio. El cuarteamiento consiste en formar un montón con la muestra inicial, dividir este montón en cuatro partes iguales, agregar dos partes opuestas y descartar las otras dos. Si la muestra inicial es grande, el procedimiento puede repetirse otras veces más, hasta obtener la porción adecuada en los exámenes y ensayos de selección.

El artículo de Neves et al. (2010) presenta las propiedades más importantes de los suelos para su uso en la arquitectura y la construcción con tierra, así como los respectivos métodos de ensayos utilizados para su determinación en el laboratorio. El trabajo relaciona los diferentes tipos de suelos con las posibilidades de su uso y comenta sobre la adición de agentes estabilizadores, tanto de productos naturales como de los industrializados, para la mejora de las características físicas y mecánicas. Se han descrito, brevemente, los exámenes rápidos más habituales para la selección de los suelos, relacionando los resultados obtenidos en las pruebas con las técnicas de construcción más apropiadas. También se comenta sobre los métodos adoptados para el control durante el tiempo de obra, destacando las condiciones en que se debe optar por ensayos de laboratorio o pruebas de campo. Por lo tanto, es esencial estudiar este artículo, para hacer una identificación y una selección de los suelos adecuadas para construir con tierra.

### Bibliografía

CAPUTO, Homero Pinto (1996). *Mecânica dos solos e suas aplicações*. Rio de Janeiro: LTC. 6.ed., v.1

LEPSCH, Igo Fernando (2010). *Formação e conservação de solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 2.ed.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra* – práticas de campo. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 19/02/2011.

**Sites de interés sobre pedología**

Museu de Ciências da Terra Aléxis Dorofeef, da Universidade Federal de Viçosa-MG.  
<http://www.mctad.ufv.br>

Museu de Solos da Universidade Federal de Santa Maria-RS. <http://w3.ufsm.br/msrs/>

Pedologia, da Universidade Federal de Goiás.  
<http://www.labogef.iesa.ufg.br/logogef/ensino/pedologia>

Pedólogo Hélio do Prado, do Instituto Agronômico de Campinas.  
<http://www.pedologiafacil.com.br/genese.php>

La técnica que se describe es parte de los sistemas constructivos que incluyen a la tierra como material predominante, dentro del concepto de “Arquitectura y Construcción con Tierra” definido por el Proyecto 6 PROTERRA-CYTED (Neves, 2004). Específicamente, como elemento constructivo conocido como *mampostería de adobe* o también *cerramiento de adobe* (incluyendo muros y cubiertas en bóveda y cúpula).

Su componente básico es el adobe y puede ser moldeado a mano gracias al estado plástico de la mezcla. Con adobe se puede materializar una gran diversidad de formas constructivas, rectas y curvas, esbeltas y de gran masa. Pertenece a las tradiciones constructivas que emplean materiales naturales de mayor antigüedad, y su utilización sigue vigente a escala global, en algunas regiones como la principal o la única posibilidad para edificar.

Como sistema constructivo que emplea la tierra cruda, es uno de los más conocidos, utilizados y difundidos, empleado para construir cerramientos verticales (muros) y cubiertas de los edificios. Está presente también en grandes estructuras en sitios y parques arqueológicos, en formas tales como pirámides, rellenos, taludes, murallas defensivas y torres.

El material con el que se fabrica el adobe es básicamente una mezcla de tierra seleccionada, agua y fibras. Para construir tanto muros como cubiertas se emplea un mortero de barro con o sin fibras, con tecnología que varía de acuerdo a las costumbres y capacidades locales.

El adobe y sus muros y cubiertas siguen siendo principalmente sistemas artesanales de fabricación de componentes básicos y de construcción de cerramientos, dentro de la Producción Social del Hábitat.

## 1. LA TÉCNICA

Para la descripción de la técnica de construcción con adobe se hace necesario su contextualización histórica, la presentación de las referencias normativas, comentar sobre las exigencias de diseño, aplicaciones y posibilidades, así como presentar algunas ventajas y desventajas de su uso.

### 1.1 Contextualización y breve historia

Existen construcciones de adobe antiguas y modernas, urbanas y rurales, en todas partes del mundo, regiones y climas, con excepción de los casquetes polares, las altas cumbres y algunas zonas costeras (Fathy, 1970; González Claverán, 2002; Houben; Guillaud, 1984; PNUD-UNESCO, 1984; Viñuales, 1987).

Una cantidad significativa de obras del patrimonio oficial y vernáculo está construida con adobe unido con morteros de barro, lo cual ha originado una intensa labor de investigación para conocer los materiales y las distintas construcciones y sociedades donde estuvo presente esta técnica (Viñuales et al, 1994; Guerrero, 2007).

La antigüedad de los adobes moldeados con moldes puede ubicarse en torno a los ocho mil años. Hay evidencias y grabados encontrados en las primeras ciudades y asentamientos en la Mesopotamia, Creta, Egipto, Medio Oriente y el Suroeste Asiático. Distintos vestigios aparecen en lugares tales como la ciudad de Catal Hüyük, de unos 8.000 años de edad, en Turquía; la ciudad de Ganj-Dareh, Irán, de alrededor del año 7.000 a.J.C.; Uruk, de unos 4.800 años, ciudad de los sumerios, y el asentamiento de Jarmo, en Irak; los graneros de

Ramsés II, en el sur de Egipto, de unos 4.500 años; los constructores de Pan-p'o, del año 4.000 a.J.C. en China.

La construcción con adobes aparece en tratados y escritos muy antiguos, de pensadores y arquitectos griegos y romanos tales como Vitruvius, Plinio y Tácitus.

## 1.2 Referencias normativas

En general se consideran los siguientes marcos normativos y recomendaciones como documentos de consulta:

COBE – Adobe estabilizado. Lima: Ministerio de Vivienda y Construcción. Oficina de Investigación y Normalización. 1977.

ITINTEC 331.201; 331.202; 331.203. Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos, métodos de ensayo, muestra y recepción. Lima: Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas. 1978.

New Mexico Administrative Code (NMAC) 14.7.2. 1997 New México Building Code. 14.7.2.30, Chapter 21, Masonry: Uniform Building Code, 2109.9 Unburned Clay Masonry (adobe). Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department. 2000.

New México Building Code, Section 2412. Uniform Building Code, Section 2405. 1982. Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department.

Norma Técnica de Edificación NTE E 080 Adobe. Lima: SENCICO, 2000.

Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. La Paz: HABITERRA/CYTED, 1995.

## 1.3 Exigencias de diseño para la técnica, aplicaciones y posibilidades

El adobe es un componente básico que se pre-fabrica con una mezcla en estado plástico, moldeable sin necesidad de compresión, con auxilio de moldes, y que una vez seco se emplea como mampuesto trabado, unido por un mortero generalmente con una mezcla muy parecida a la del adobe, para paredes autoportantes, paredes portantes, arcos, bóvedas y cúpulas. Se puede utilizar generando formas ortogonales y curvas, siempre y cuando se respete su calidad resistente a compresión.

Antes que el adobe se moldeara con ayuda de moldes, hubo técnicas más simples para fabricar piezas de barro para construir empleando las manos, creando esferas, conos, cilindros y paralelepípedos. Se han encontrado diversas formas en ruinas arqueológicas, iglesias y oratorios, así como en recintos de viviendas muy antiguas

La técnica más difundida es la que utiliza moldes de madera de una o dos unidades, generalmente de formas rectangulares. El molde se llena con un barro que es preparado con suelos del lugar y agua, y en muchos casos tiene agregados naturales para controlar las fisuras, tales como vegetales, estiércol, pelos de animal.

A su vez, dentro de las técnicas más recientes, se encuentran los muros con adobes cuadrados reforzados al interior con cañas (Vildoso et al, 1984; Carazas Aedo, 2002; Rotondaro, 2008) y los adobes fabricados por extrusión mediante máquinas, que los van cortando en cintas transportadoras (Houben; Guillaud, 1984).

## 1.4 Ventajas y desventajas de la técnica constructiva

Como cualquier otra técnica constructiva, el adobe presenta ventajas y desventajas. Las principales ventajas son:

- Fácil de fabricar, secar y apilar.
- Material con capacidad aislante importante por su porosidad.

- Permite diversidad de formas y tamaños.
- Es reciclable en un 100%.
- Requiere mano de obra común y el equipamiento artesanal es muy económico.
- Se puede usar para construir muros, arcos, bóvedas y cúpulas.
- Hay abundancia de la materia prima.

Como desventajas, se pueden citar:

- Tiene resistencias a compresión, flexión y tracción bajas comparadas con las de un BTC y las de algunos mampuestos industrializados (ladrillo cocido, ladrillo cerámico, bloque de hormigón).
- La fabricación artesanal de la unidad requiere esfuerzo humano considerable y superficies amplias y aireadas para el secado.
- Requiere mucha agua en su fabricación.
- Es difícil obtener dimensiones regulares para todas las unidades.
- La calidad de la unidad está condicionada por el mezclado e hidratado del pastón en reposo, durante varios días (“dormir” o “dejar en reposo” el barro).
- En zonas afectadas por sismos las cubiertas en cúpula y las bóvedas pesadas no son convenientes, y la mampostería exige refuerzos y arriostres apropiados.
- Absorbe mucha agua debido a su porosidad.

## 2. MATERIALES

La materia prima básica para la producción de adobe es la tierra. Sin embargo, dependiendo de sus características, se hace necesario agregar otros materiales, como las adiciones o los estabilizantes.

### 2.1 Tipos de tierra

Para fabricar adobes es recomendable el uso de tierra areno-arcillosa con poco limo. Si la tierra tiene mucha arcilla, aumenta el riesgo de fisuración al secarse; si tiene demasiada arena o limo, puede carecer de cohesión interna adecuada y desgranar fácilmente, además de que disminuye su resistencia a compresión.

La norma peruana NTE E 080 (SENCICO, 2000) propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla – 10% a 20%. limo – 15% a 25% y arena – 55% a 70%.

Hay gran diversidad de opiniones en cuanto a los porcentajes adecuados de cada componente (arcilla-limo-arena-grava) y algunos autores establecen valores sólo para cantidad de arcilla. En general los datos se basan en estudios de caso en distintos países y con distintas tierras, como las recomendaciones presentadas en la tabla 1.

Tabla 1 – Composición granulométrica de la tierra adecuada para la fabricación de adobe, según varios autores

Autores	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Barrios et al (1987)	35-45		55-65
Houben y Guillaud (1994)	5-29	-	-
Graham Mc Henry (1996)	15-25	-	-
Carazas Aedo (2002)	1 volumen de tierra arcillosa: 2 volúmenes de tierra arenosa		
HB 195 (2002)	10-40	10-30	30-75 (arena y grava )
Proyecto Hornero (2007)	50% de tierra arcillosa: 50 % de tierra arenosa		

## 2.2 Otros materiales

Las adiciones habituales que se emplean son:

- Fibras vegetales, estiércol y/o pelos de animal (para evitar la fisuración por secado).
- Arena (para evitar la fisuración por secado cuando la tierra es muy arcillosa).
- Emulsiones asfálticas (para agregar un grado de impermeabilidad al adobe).

También es posible el agregado de aglomerantes tales como el cemento, la cal y el yeso, para mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión o su estabilidad ante la humedad. La cal puede ser agregada antes de preparar la mezcla dado que su endurecimiento es lento; diferente del cemento, que sólo puede ser usado hasta 1:30 hs después de adicionar agua a causa del proceso de rápido endurecimiento.

## 3. EQUIPAMIENTOS RELACIONADOS CON LA TÉCNICA

Son presentados a continuación los principales equipamientos y herramientas necesarios para la preparación de la tierra, fabricación del adobe y ejecución del muro.

### 3.1 Preparación de la tierra

Para la preparación, son utilizados los siguientes equipamientos para desterronamiento y homogeneización:

- Tamiz grande con malla de 5 mm de abertura (para eliminar piedras, ramas, plásticos y otros elementos grandes).
- Triturador o rodillo manual para desterronar.

### 3.2 Moldes

Para el moldeo manual, con mezcla (barro) colocada dentro de un molde, se pueden usar diversos tipos de moldes. La figura 1 presenta los siguientes modelos:

- Moldes para fabricación artesanal a baja escala: de 1, 2, 4 y 6 unidades enteras y de media unidad, de forma rectangular y cuadrada (zonas afectadas por sismos), en el piso o sobre una mesa. Los moldes pueden tener fondo o no, dependiendo de la tradición local.
- Moldes para fabricación a gran escala: parrillas fijas o móviles desde 6 y hasta 60 o 70 unidades.

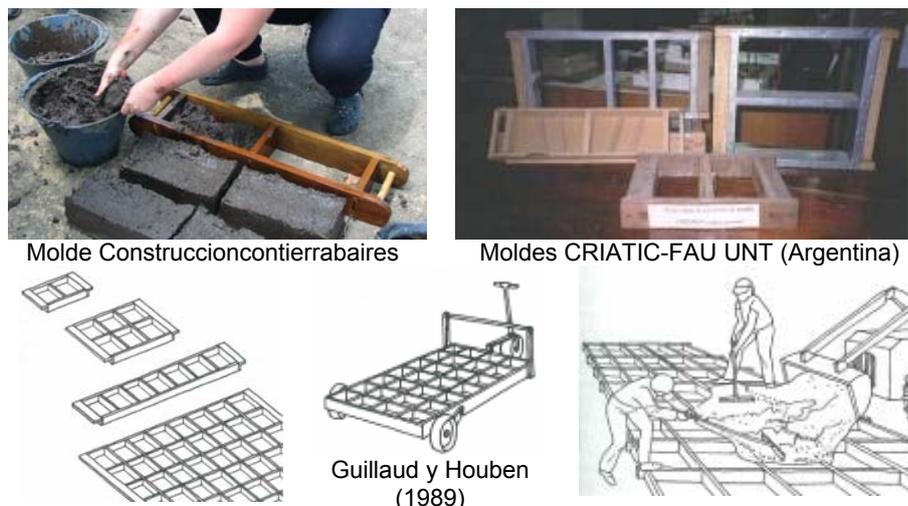


Figura 1 – Algunos ejemplos de moldes para fabricación de adobes artesanales e industrializados

Para moldeo mecánico de adobe, pueden ser utilizados dos tipos de máquinas mostradas en la figura 2:

- Extrusora con energía animal.
- Extrusora con energía eléctrica.

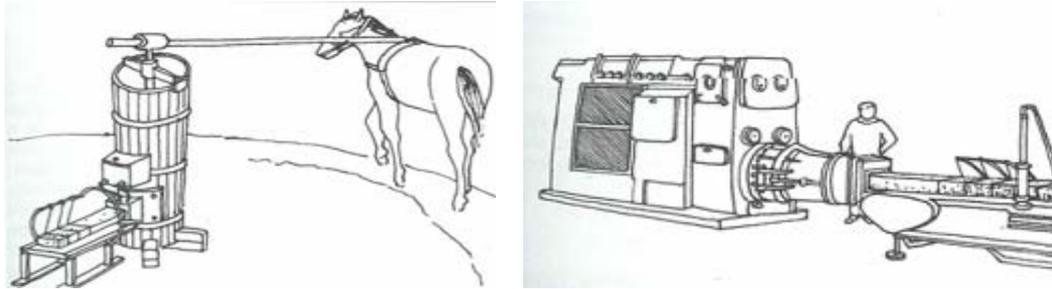


Figura 2 – Extrusoras presentadas por Guillaud y Houben (1989)<sup>5</sup>

El proceso de extrusión solo puede ser usado en mezcla sin fibras.

### 3.3 Herramientas necesarias para fabricar adobes y construir paredes y cubiertas

Las herramientas varían mucho, de región a región, así como su denominación. De modo general, las principales son: pala ancha, pico, mezclador manual, tambor con agua (para mantener mojado los moldes), regla de alisado, carretilla, manguera, plomada, nivel, cinta métrica, balde y cuchara de albañil.

## 4. PROCESO DE PRODUCCIÓN

La técnica constructiva de adobe puede ser resumida en las etapas de fabricación de los componentes, la ejecución de los elementos constructivos para los cerramientos y la evaluación de la productividad.

### 4.1 Componente (bloque de adobe tradicional)

A continuación son presentadas las etapas de la producción artesanal de bloques de adobe tradicionales de tierra, agua y fibras vegetales.

#### a) Preparación de la tierra y de los agregados

La tierra (preferentemente seca) se limpia de piedras, basura y vegetales, se puede tamizar con malla de 5 mm. Puede usarse un rodillo o un desterronador mecánico para aprovechar más volumen de tierra. La paja, una vez seca, se pica en trozos de entre 5 cm a 10 cm de largo y se guarda en bolsas (figura 3). El estiércol se deja secar y se desmenuza antes de mezclar, aunque también es habitual en los pisaderos grandes que se agregue sin realizar esta tarea previa.



Figura 3 – Tamizado de la tierra; trituración mecánica y corte manual de fibras vegetales

<sup>5</sup> En Brasil, la extrusora de la izquierda es conocida por “pipa” y la de la derecha por “maromba” (Nota de Obede B. Faria)

### **b) Preparación del barro (la mezcla de tierra, agua y agregados)**

Se van mezclando la tierra y los agregados con bastante agua en el piso o en un piletón de 30 cm a 40 cm de profundidad. Pueden pisar personas o animales (caballos, mulas) como se muestra en la figura 4. Se deja reposar el pastón agregando agua y mezclando una a dos veces por día, durante dos a tres días (incluso una y hasta dos semanas). Este proceso se llama “dormir” o “pudrir” el barro y su objetivo es hidratar las arcillas, disolver terrones y mezclar mucho los componentes, hasta obtener un material más plástico y uniforme.



Figura 4 – Distintas formas de preparación del barro

### **c) Fabricación de los adobes**

Los adobes se fabrican directamente sobre un piso firme, humedecido (la “cancha”), al aire libre. El molde se moja todo el tiempo para evitar que el barro se pegue. El barro se coloca a mano en el molde rellenando bien esquinas y costados, se enrasa con regla o a mano, y se desmolda hacia arriba, todo de manera rápida pero prolija (figura 5). Se organizan filas y cada 1 m se deja un espacio para poder caminar. El barro se mantiene con la plasticidad necesaria para que se pueda rellenar completo el molde con una ligera presión manual (sin apisonar).



Figura 5 – Etapas de moldeado de los adobes (Rotondaro et al, 2009)

Otras técnicas artesanales de fabricación de adobe son las siguientes (figura 6):

- Sobre una mesa, arrojando el barro dentro del molde, luego emparejando.
- Por cortado directo de un gran adobe hecho en el piso (2 m x 2 m o 2 m x 4 m), mediante una sierra o un alambre tensado.

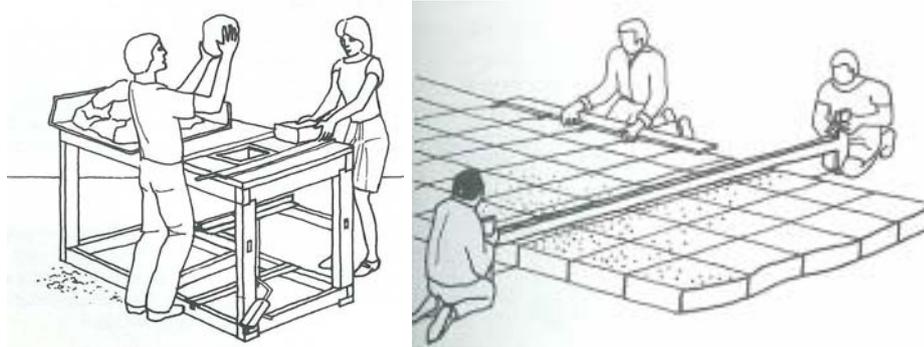


Figura 6 – Otras formas de fabricación de adobes (Guillaud; Houben, 1989)

#### d) Secado y acopio de los adobes

Los adobes se secan al aire libre primero de plano, durante varios días (entre una a dos semanas), y luego se paran de costado hasta terminar su secado, entre 5 y 10 días más, dependiendo del clima local. Luego se apilan y se tapan para evitar que los lave la lluvia. Se recomienda apilar hasta 1,20 m de altura y canalizar el agua alrededor de las pilas (figura 7).



Figura 7 – Etapas de secado y acopio de adobes

#### 4.2 Elementos constructivos para cerramientos (albañilería, cúpula, bóveda)

El procedimiento constructivo para paredes de adobe con mezcla de barro (con o sin fibras) es similar al de una mampostería convencional de ladrillos cocidos, ladrillos cerámicos o bloques de hormigón, como se puede ver en la figura 8.

Para evitar el deterioro de la humedad por capilaridad y por el lavado de lluvias, es conveniente pensar en una protección aislante en el encuentro de las cimentaciones y los muros, así como también en la cara exterior de muros y cubiertas, cualquiera sea su forma.



Figura 8 – Construcción de paredes de adobe (Rotondaro et al, 1998; 2009)

En el caso de los arcos, bóvedas y cúpulas, se recomienda tener en cuenta los diseños estructurales adecuados a la forma que se va a construir, al tamaño y peso de los adobes que se van a emplear, y a los esfuerzos específicos en las zonas afectadas por sismos. En el caso de algunas cúpulas y bóvedas (como las nubias), pueden ser construidas sin necesidad de encofrados de apoyo o cimbras (figura 9).



Figura 9 – Ejemplos de cúpulas y bóvedas de adobe

### 4.3 Productividad

La cantidad de adobes que se pueden fabricar depende del procedimiento (artesanal o mecanizado) y la escala de fabricación (tabla 2).

Tabla 2 – Cantidad diaria de adobe fabricado estimada según el tipo de producción

Fabricación	Artisanal, en baja escala	Producción semi-mecanizada y mecanizada
adobe colado en molde	150 a 500 <sup>(1, 2)</sup> (escala familiar, grupo pequeño)	2500 a 20000 <sup>(1)</sup>
adobe por extrusión	1500 <sup>(1)</sup>	2500 a 3000 <sup>(1)</sup>

(1) Guillaud (1989); (2) Rotondaro et al (2009)

Tanto en la producción artesanal como en la mecanizada a gran escala conviene considerar que es un proceso que puede demorar entre 25 días y 40 días entre fabricación, secado y acopio de los adobes.

## 5. ENSAYOS Y PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

Se recomienda realizar controles de calidad en la selección de materiales y durante la fabricación de los adobes, así como también de la forma, la fisuración y la resistencia a flexión y compresión, y de la fisuración del mortero de barro. Estos ensayos y pruebas son resumidos en la tabla 3.

Tabla 3 – Control de calidad para el bloque de adobe y el mortero (valores de resistencias: esfuerzos admisibles)

Tierra	Forma	Retracción	Resistencia a compresión <sup>(1)</sup>		Resistencia al corte <sup>(1)</sup>
			unidad	albañilería	albañilería
ensayo de resistencia seca <sup>(2)</sup> (presencia de arcilla)	verificar que no hayan vacíos en las esquinas	del bloque: verificar si hay fisuras de más de 5 cm de profundidad <sup>(3)</sup>	≥ 1,2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 0,25 MPa
	la base no debe aumentar más del 5% <sup>(3)</sup>	de mortero: control de agrietamiento y de proporción suelo-arena gruesa (1:0 a 1:3) <sup>(2)</sup>	ensayo de 6 cubos (área: sec. transv.) <sup>(4)</sup>	ensayo de pilas (mín. 3) <sup>(4)</sup>	ensayo de compresión diagonal en pilas (mín. 3) <sup>(3)</sup>
	relación largo-ancho 2:1 <sup>(4)</sup>		ensayo de pilas (mín. 5) <sup>(5)</sup>		

(1) 1 MPa = 10 kgf/cm<sup>2</sup> (2) Vargas Neumann et al (1984) (3) Carazas Aedo (2002) (4) SENCICO (2000) (5) Habiterra (1995)

El valor mínimo de la resistencia a compresión simple de la unidad (adobe) según diversos autores y reglamentaciones (SENCICO, 2000) se estima en 1,2 MPa (12 kgf/cm<sup>2</sup>).

Mediante una prueba empírica se puede estimar la resistencia a flexión de la unidad. Consiste en verificar que el adobe soporte durante 2 minutos el peso de una persona de unos 70 kg parada sobre un taco al medio de una unidad, la cual está apoyada sobre otras dos unidades o tacos unos 2 cm en cada extremo.

## 6. DOSIFICACIÓN Y CANTIDADES DE MATERIALES

La cantidad de tierra total necesaria depende de las características de los suelos a emplear, si son tamizados con tamiz de malla de 5 mm de lado, y si se realiza un desterronado previo.

Teniendo en cuenta la gran diversidad de opiniones según distintos autores, se pueden considerar los márgenes presentados en la tabla 4.

Tabla 4 – Cálculo de materiales para fabricar adobes con paja picada

Consumo de tierra (sin tamizar)	Relación fibra:tierra (en volumen)	Consumo de agua
1,3 m <sup>3</sup> a 1,5 m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> de muro construido	1:6 <sup>(1)</sup> 1:10 <sup>(2)</sup> 1:1,5; 1:4; 1:6 <sup>(3)</sup>	30% a 35% del volumen seco de la tierra

(1) Habiterra (1995); (2) Carazas Aedo (2002); (3) Proyecto Hornero (2007)

El peso volumétrico del adobe puede variar entre 1200 kg/m<sup>3</sup> y 1700 kg/m<sup>3</sup> (Habiterra, 1995; www.terra.org).

### Bibliografía y Cibergrafía recomendadas

BARRIOS, G.; ALVAREZ, L.; ARCOS, H.; MARCHANT, E.; ROSSI, D. (1987).

Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. *Informes de la construcción* N° 377, vol. 37. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.

CARAZAS AEDO, Wilfredo (2002). *Adobe. Guía de construcción parasísmica*. Grenoble: CRATerre-EAG-Misereor.

FATHY, Hassan (1970). *Construire avec le peuple*. Paris: Ed.Martineau.

GONZÁLEZ CLAVERÁN, Jorge (2002). Visión histórica de la tecnología de la construcción de tierra. In: *La tierra cruda en la construcción del hábitat*. Memoria del 1º Seminario – Exposición Consorcio Terra Cono Sur. Tucumán: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. p. 27-32.

GRAHAM MCHENRY, Paul (1996). *Adobe. Cómo construir fácilmente*. México: Ed.Trillas.

GUERRERO, Luis (coord) (2007). *Patrimonio construido con tierra*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

HB 195 (2002). *The Australian earth building handbook*. Sydney: Standards Australia and Walker.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. (1984). *Earth construction primer*. Brussels: CRATerre/UNCHS-PCD-CRA-AGCD.

GUILLAUD, H.; HOUBEN, H. (1989). *Traité de construction en terre*. Marseille: Ed. Parenthèses.

HABITERRA (1995). *Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*. La Paz: HABITERRA/CYTED.

NEVES, Celia (2004). *Proyecto 6 PROTERRA/CYTED. Seminario Internacional de Construcción con Tierra*. San Salvador: PROTERRA/HABYTED/CYTED.

PNUD-UNESCO (1984). Adobe en América y alrededor del mundo. Historia, conservación y uso contemporáneo. *Exposición itinerante*. En colaboración con ICCROM, Earthscan, Ford Foundation. Lima, Perú: ICOMOS.

PROYECTO HORNERO (2007). *Prototipo global de experimentación construcción con materiales naturales*. Montevideo: Facultad de Arquitectura. Universidad de la República.

ROTONDARO, Rodolfo (2008). Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos. *Revista Apuntes* Vol. 20 N° 2. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. p. 342-353.

ROTONDARO, Rodolfo; CANELADA, A. A.; PEÑALOZA, C. (1998). *Estación Científica Pozuelos, ECIP: diseño y transferencia tecnológica con participación local*. Revista Cuadernos 11:93-105. San Salvador de Jujuy, Argentina: Fac. Hum. y Cs. Sociales, Universidad Nacional de Jujuy.

ROTONDARO, Rodolfo; PERALTA, S.; FPS-Fundación Pilotos Solidarios (2009). *Sistema domiciliario parayacu*. Buenos Aires: Impr. Peroggi.

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (2000). Norma técnica de edificación NTE 080. Adobe. Lima: SENCICO.

STEELE, James (1988). *Hassan Fathy*. London: Academy Editions.

VARGAS NEUMANN, Julio et al (1984). *Resistencia sísmica de la mampostería de adobe*. Lima: USAID/PUCP, DI-84-01.

VILDOSO, Abelardo; MONZÓN, Flor de María; HAYS, Alain; MATUK, Silvia; VITOUX, François (1984). *Seguir construyendo con tierra*. Lima: CRATerre.

VIÑUALES, Graciela M. (1987). Diseño, historia y tecnología de las arquitecturas de tierra cruda. *Summa Colección Temática*, N° 19. Buenos Aires. p. 9-19.

VIÑUALES, Graciela M.; NEVES, Célia; FLORES, Mário O.; RÍOS, Silvio (1994). *Arquitecturas de tierra en iberoamérica*. Buenos Aires: HABITERRA/CYTED.

<http://www.terra.org/html/s/rehabilitar/bioconstruccion/materiales/adobe.html> Consulta em: 20/11/09.

TASSIN, O. *La arquitectura de tierra: una herencia humana*. Disponible em: [http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/la\\_arquitectura\\_de\\_tierra.html](http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/la_arquitectura_de_tierra.html). Consulta em: 20/11/2010.

La bóveda de tierra consiste en un sistema constructivo que recupera una técnica tradicional transmitida de generación en generación, desarrollada principalmente en el centro de la República Mexicana. Posee una gran ventaja sobre otros sistemas de construcción por ser un sistema de bajo costo, a base de bloques de tierra comprimida (BTC) o adobe, y no requiere de cimbra ni concreto armado.

La bóveda mexicana de tierra es una técnica constructiva vigente que representa una alternativa de cubierta económica, de bajo impacto ambiental y funcional para contextos tanto urbano como rural.

Se trata de una técnica que se origina espontáneamente, fruto del saber popular, en el centro de la república mexicana, por lo que también se les conoce comúnmente con el nombre de *bóveda del bajo* (correspondiendo los estados de Querétaro, Guanajuato y Jalisco). Regionalmente se conocen también como *bóveda de cuña*, ya que en general, se construyen con ladrillos de barro cocido de medidas 5 cm x 10 cm x 20 cm que se conocen como “cuñas”. Ramírez Ponce (2001) las denomina *cubiertas de ladrillo recargado* por ser el “recargue” su principal característica.

En México se ha desarrollado esta técnica constructiva por ser sumamente eficiente, aunque no existen estudios precisos acerca de su origen y evolución. Básicamente se encuentra presente en edificios que datan de finales del siglo XIX aunque no queda claro si son estrictamente vernáculos, si provienen de una herencia virreinal o si se derivaron de la adaptación de conocimientos constructivos que estaban en boga en la Europa de aquella época (Aguirre; Guerrero, sd).

Lo que es indiscutible es que se deriva de la lógica constructiva de las *bóvedas nubias* o *núbicas* de adobe, que se utilizaron en Egipto desde hace siglos (Fathy, 1975). También hay relación con las llamadas “bóvedas tabicadas” que se ejecutaban en Francia, Portugal, Cataluña y Extremadura por lo menos desde el siglo XVII (Marín, 2002).

Gracias a su sencillo y repetitivo método de ejecución a partir de series de arcos que parten de las esquinas y que son sometidos a través del recargue a su propio peso, las bóvedas mexicanas son un sistema digno de difundir y que presenta múltiples ventajas, permitiendo importantes ahorros en tiempos de ejecución y en costos de producción, con el mínimo consumo de energía (Aguirre; Guerrero, sd).

Por su método estructural, no necesitan de un encofrado o cimbra, lo que representa una alternativa real y una solución constructiva de la cual se desprende un proceso de oficio, cada vez más difícil de encontrar en la producción de cualquier arquitectura en la actualidad.

Su vigencia se debe, como en toda tradición, a que ha sido y es “adaptable a las necesidades locales, a las condiciones geográficas y a los recursos materiales disponibles” (Guerrero, 1994). Pero lo que “le otorga a la técnica y al ladrillo su vigencia, su actualidad y la razón de su deseada difusión” es su bajo costo. No olvidemos “estamos hablando de una invención popular(...) no reconocido por la academia y por lo tanto no enseñado en la mayoría de las escuelas” (Ramírez Ponce, 2004).

Una revisión histórica del sistema de bóvedas no sólo nos ayudará a comprender su potencial y posibilidad estructural; nos permite además, trazar la continuidad de una “experiencia de varios siglos de evolución constructiva materializada en un sistema rico en posibilidades de aplicación presente y futuro” (Aguirre; Guerrero, sd).

El uso de tierra cruda para el sistema constructivo de las bóvedas mexicanas (figura 1) nos motiva para reinterpretarlas desde su origen y su evolución, integrando en las cubiertas a un material ecológico y natural.



Figura 1 – Ejemplo de bóveda de adobe, en ejecución

Utilizar BTC para la construcción de bóvedas resulta una alternativa óptima pues constituye un considerable ahorro energético debido a que no requiere de materiales combustibles, y se adapta a dicho sistema constructivo auto portante.

Es indispensable considerar las bóvedas de BTC como respuesta a la necesidad de cubrir espacios en todo tipo de inmuebles, con cualidades térmicas favorables y a bajo costo.

Cuatro condiciones elementales para poder construir una bóveda de tierra son:

- Emplear BTC de dimensiones 5 cm x 10 cm x 20 cm.
- Las hiladas se soportan entre sí, una apoyada sobre otra.
- Formar siempre arcos.
- El BTC se pega en seco para una mejor adherencia.

### 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA

Como cualquier otra técnica constructiva, las bóvedas mexicanas presentan ventajas y desventajas. Las principales ventajas son:

- Son fáciles de construir, porque se trata de una técnica simple y repetitiva, una vez que se conoce el sistema y su funcionamiento. La principal característica de esta técnica recae en la colocación de hiladas de BTC a manera de arcos auto portantes que reparten las cargas homogéneamente.
- Es más económica porque evita el uso de cimbra.
- Apoya a la conservación del medio ambiente, debido a que los materiales naturales como el BTC no implican un gasto energético y no emiten desechos contaminantes, como ocurre con los materiales comúnmente empleados para la construcción.

Como desventajas, se pueden citar:

- Si se emplea como entrepiso, es necesario levantar muros laterales y rellenar con un material ligero hasta cubrir la bóveda, dejando el piso en horizontal.
- En lugares húmedos se tiene que utilizar un impermeabilizante especial.

## 2. MATERIALES Y HERRAMIENTAS PARA LA REALIZACIÓN DE LA BÓVEDA

Los materiales y herramientas necesarios para la ejecución de la bóveda mexicana pueden variar, en función de costumbres regionales y de su disponibilidad en el mercado. A continuación se enlistan los principales.

### 2.1 BTC (bloque de tierra comprimida)

Como el espesor de la bóveda es de 10 cm, deben ser fabricados BTC con dimensiones de 5 cm x 10 cm x 20 cm.

### 2.2 Harnero o tamiz

La tierra debe ser desterronada y tamizada para la preparación del mortero de liga de los adobes. Para obtener la tierra con una textura adecuada, se recomienda usar malla de 0,5 mm de apertura.

### 2.3 Cepillo de alambre

Durante la ejecución de la bóveda es necesario limpiar periódicamente la superficie para remover eventuales excesos de mortero. Para este fin se usa cepillo de alambre, como el que se emplea para eliminar la corrosión y la pintura de cualquier superficie.

### 2.4 Cuchara

Para la colocación de los BTC, así como para cortarlos, la herramienta que utiliza el bovedero o albañil es la cuchara.

### 2.5 Mezcla

Una receta básica para el mortero de colocación del BTC es la preparada con las proporciones de un  $\frac{1}{4}$  bulto (50 kg) de cemento, 2 bultos (25 kg) de cal y 8 botes de 19 litros de arena cernida. Su rendimiento es de 4 m<sup>2</sup>, aunque la cantidad de cemento puede variar dependiendo de la calidad de la arena ya que la mezcla debe tener una consistencia viscosa y aguada (figura 2).

### 2.6 Andamio

El andamio es la estructura de madera que se coloca dentro del área a cubrir y sobre la que trabajará el albañil o bovedero (figura 3). Su altura depende de la estatura del albañil con respecto al cierre de la bóveda, que es el punto más alto. Debe tener la estabilidad necesaria para garantizar la seguridad de los operarios, así como espacio suficiente para la movilización de los operarios y almacenamiento de los BTC y del mortero que se va a usar.



Figura 2 – Consistencia del mortero de colocación del BTC



Figura 3 – Disposición y altura del andamio

### 3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS BÓVEDAS MEXICANAS

Antes de empezar con la descripción del proceso para la construcción de una bóveda, es importante mencionar que las directrices también conocidas como vigas de apoyo o traveses, y las generatrices formadas por las hiladas de BTC serán las que permitirán dar inicio y continuidad a la bóveda. Dependiendo del diseño de las traveses, las hiladas subirán, bajarán o se mantendrán constantes. Las bóvedas inician sobre las vigas de apoyo (directrices), como, por ejemplo, las vigas de madera mostradas en la figura 4.



Figura 4 – Detalles de las vigas de inicio de una bóveda

Si tomar como ejemplo una superficie cuadrada de 4 m x 4 m, donde las directrices serán traveses horizontales, los pasos para su construcción serán los 13 descritos a continuación.

1. Para el trazo de la bóveda se saca la mitad del claro o área a cubrir.
2. Se unen las intersecciones formando cuatro triángulos en forma de conos, también conocidos como pechinas (figura 5).

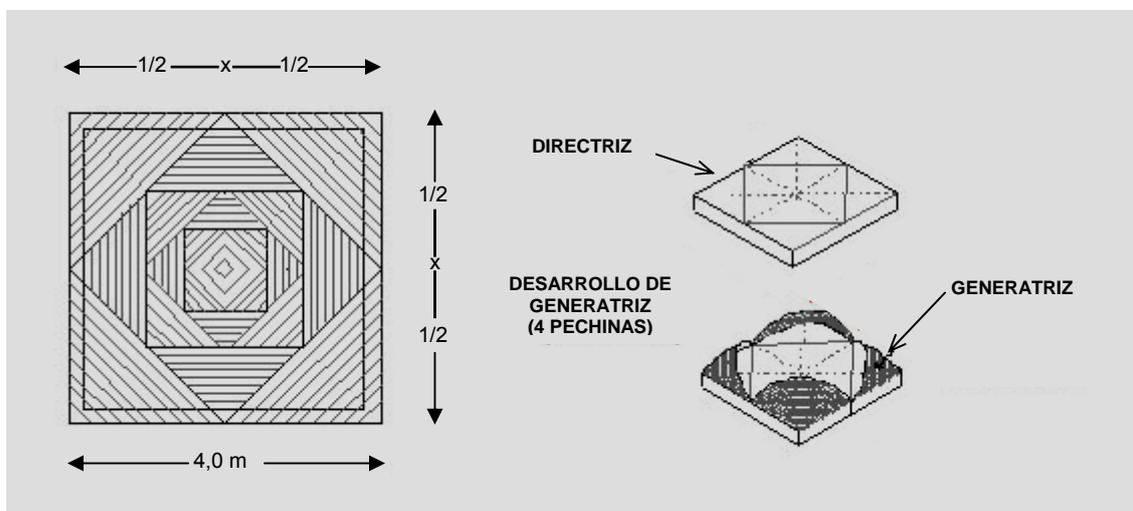


Figura 5 – Representación de la directriz y generatriz

3. Para el arranque de la bóveda, se humedece el área donde se empezará a desplantar y se hace un chaflán utilizando la mezcla con la que se pegarán los BTC (figura 6).
4. La primera hilada se inicia colocando el BTC en una esquina del espacio a cubrir, cortando a la mitad la pieza y ochavando sus esquinas, es decir, cortando las esquinas de manera que esté horizontal a ambas traveses y con una inclinación de 45° para que se mantenga dentro de los esfuerzos de compresión, como se muestra en la figura 7.



Figura 6 – Proceso de humedecer el área de contacto del BTC



Figura 7 – Colocación del primer BTC

5. En la segunda hilada se apoyan dos BTC sobre la primera hilada con la misma inclinación, semejando un arco (figura 8).
6. Las tercera y cuarta hiladas se apoyan, con la misma inclinación, sobre la segunda que está compuesta por 3 BTC, teniendo así el ajuste con la pieza del centro, semejando un arco (figura 9). El área de contacto del BTC con la hilada anterior será de 10 cm, mostrando sus aristas de 5 cm x 20 cm en la parte inferior.



Figura 8 – Colocación de la segunda hilada de BTC



Figura 9 – Colocación de la tercera hilada, ajustando a la pieza del centro

7. De la quinta hilada en adelante será variable la cantidad de BTC porque dependerá del tamaño de la pieza que esté apoyada en la trabe. Recordemos que esta pieza de BTC está cortada en una esquina en forma horizontal y apoyada con la misma inclinación de la hilada anterior, ajustando siempre al centro (figura 10).



Figura 10 – Asentamiento a partir de la quinta hilada de BTC

8. Lo anterior se repite en las siguientes hiladas hasta llegar a la mitad de la trabe, colocando los BTCs a los extremos del arco y teniendo el ajuste en su centro, hasta terminar la primera pechina. Esto se realiza en las cuatro esquinas, como se muestra en la figura 11.



Figura 11 – Término de pechinas y cuatraneo de BTC para iniciar cerramiento de bóveda

9. Durante el proceso de construcción, una vez que han fraguado las hiladas, se realiza la limpieza de la bóveda con un cepillo de alambre, dejando el BTC aparente del lado inferior, con el criterio que llamamos “construir terminado” (figura 12).



Figura 12 –Proceso de limpieza de las juntas de colocación, superficie y esquinas de la bóveda

10. Terminadas las cuatro esquinas de la bóveda (las pechinas), se coloca una hilada en cada una, entrelazándola hasta tener una forma de espiral. Poco a poco se va a cerrar la bóveda (figura 13).



Figura 13 – Cierre en forma de espiral e interior de la bóveda terminada

11. Terminada la bóveda se deja un acabado común para entrepiso. Cuando es cubierta se limpia la superficie perfectamente con una pala y se aplica una primera mano de lechada de cal para tapan los poros; al siguiente día, se aplica cal con arena fina cernida; al tercer día, se aplica la mezcla de cal, arena y cerca de 3% de cemento (figura 14).



Figura 14 – Bóveda con lechada de cal y arena

12. Después de la lechada, se procede a la colocación de tela de gallinero o malla electrosoldada y se aplica una capa de compresión con cemento, cal y arena con las proporciones en volumen de 1:5:15, dejando la superficie lisa para recibir el impermeabilizante.
13. La impermeabilización se realiza con una mezcla de cal y mucílago de nopal. Para, posteriormente, aplicar una capa de impermeabilizante convencional (figura 15).

**Nota:** Se recomienda que en temporadas de lluvia se refuercen las bóvedas, aplicando una lechada de mezcla de cemento, cal y arena para proteger la bóveda de BTC de la humedad y acelerar el proceso de secado durante su construcción.



Figura 15 – Tratamiento del mucílago de nopal para proceder a impermeabilización

#### 4. EJEMPLO DE DOSIFICACIÓN Y CANTIDADES UTILIZADAS EN UN CASO REAL

Para el proceso constructivo de una vivienda ubicada en la colonia Santo Domingo de la delegación Coyoacán, en la Ciudad de México, se utilizaron 4500 piezas de adobe de 5 cm x 10 cm x 20 cm, estabilizado con 8% de cal. Cada pieza midió 1000 cm<sup>3</sup> y pesó 1,5 kg. Se requieren 90 piezas para construir un metro cuadrado (considerando un 2,5% de desperdicio). El mortero de liga fue hecho de la misma mezcla de tierra con cal con la que fueron realizadas las piezas, pero en un estado plástico, y fue cernida con un tamiz de 5 mm. La junta entre cada adobe fue de 3 mm a 4 mm. Conforme la bóveda se construía, se limpiaba con un cepillo de alambre en el interior y se le agregó un sellador de mucílago de nopal como acabado final. Al término ésta tuvo un peso de 270 kg para 1 m<sup>2</sup> de área construida.

Para cuantificar las piezas de adobe por metro cuadrado se tomó en cuenta la forma cóncava de la superficie y se incrementó en 30% al área a cubrir, de modo que 1 m<sup>2</sup> en planta equivale a 1,30 m<sup>2</sup>, por lo que se requieren 90 piezas/m<sup>2</sup> aproximadamente.

Los adobes fueron evaluados en el Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México y presentaron resistencias aproximadas de 3,1 MPa (31 kgf/cm<sup>2</sup>) a la compresión y 2 kg al cortante. Estas características hacen manejables los adobes, por lo que conforme se avanza en su colocación pueden ser cortados manualmente por el albañil, utilizando la cuchara.

Durante el proceso de fabricación de los adobes se tuvo la cooperación del Ing. Salvador Lee Godínez, miembro de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL), quien a partir de realizar unas muestras, con diferentes porcentajes de cal, logró identificar el porcentaje de cal óptimo los adobes y mezcla a fin de evitar desprendimientos entre los adobes, ya que la cal ayuda a que se aglomeren los materiales. En la figura 16 se observan algunos aspectos de las puebas realizadas en esta obra y, en la figura 17, dos imágenes de la Casa Santo Domingo terminada.



Figura 16 – Prueba de adherencia y muestras de diferentes tipos de bóvedas



Figura 17 – Bóvedas de la Casa Santo Domingo terminadas

### Bibliografía

AGUIRRE, Ramón; GUERRERO, Luis (sd). Bóvedas en resistencia. In: *Vitrubio: creatividad y ciencia*, n.2. Tampico: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, (en prensa).

FATHY, Hassan (1975). *Arquitectura para los pobres*. México: Textos Extemporáneos.

GUERRERO, Luis (1994). *Arquitectura de tierra*. México: UAM-Azcapotzalco.

LORENZO GÁLLIDO, Pedro (Coord.) (2005). *Un techo para vivir*. Barcelona: Ediciones UPC.

MARÍN P., Ana María (2002). Más con menos: elementos gráficos para un estudio de las variaciones de las bóvedas aligeradas de fábrica (tabicadas) S. XVIII-XX. In: *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Re-visión: Enfoques en docencia e investigación. Disponible en: <http://www.udc.es/dep/rta/WebEGA/PDFs/Grupo3/MARI2.pdf>

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2001). *Habitar una quimera*. México: UNAM.

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2004). *Arquitectura propia. cubierta de ladrillo "recargado"*. Disponible en: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/593>

### Bibliografía recomendada

AGUIRE, Ramón (2010). *Bóvedas mexicanas*. Disponible en: [www.arcillayarquitectura.com](http://www.arcillayarquitectura.com)

ARENAS DE PABLO, Juan J. (1998). *Las grandes bóvedas hispanas*. Madrid: Ministerio de Fomento.

MOYA BLANCO, Luis (2000). *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2002). Bóvedas de suspiro y barro. *Revista Bitácora*. México: Facultad de Arquitectura de la UNAM, n. 7, mayo de 2002, pp. 48-51.

SENOSIAIN AGUILAR, Javier (1998). *Bio Arquitectura. En busca de un espacio*. México: Editorial Limusa.

TOCA, Antonio (ed.) (1990). *Nueva arquitectura en América Latina: presente y futuro*. México: Editorial Gustavo Gili.

TONDA, Juan Antonio (2000). *Candela Félix*. México: CONACULTA.

TORROJA MIRET, Eduardo (1991). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Csic Publicaciones.

**E**l bloque de tierra comprimida, generalmente llamado BTC, es el elemento de la albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el moldeo por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal.

Es posible fabricar BTC de diferentes formas y tamaños, siendo usual el BTC macizo y el BTC con huecos, ambos con y sin encajes (figura 1).

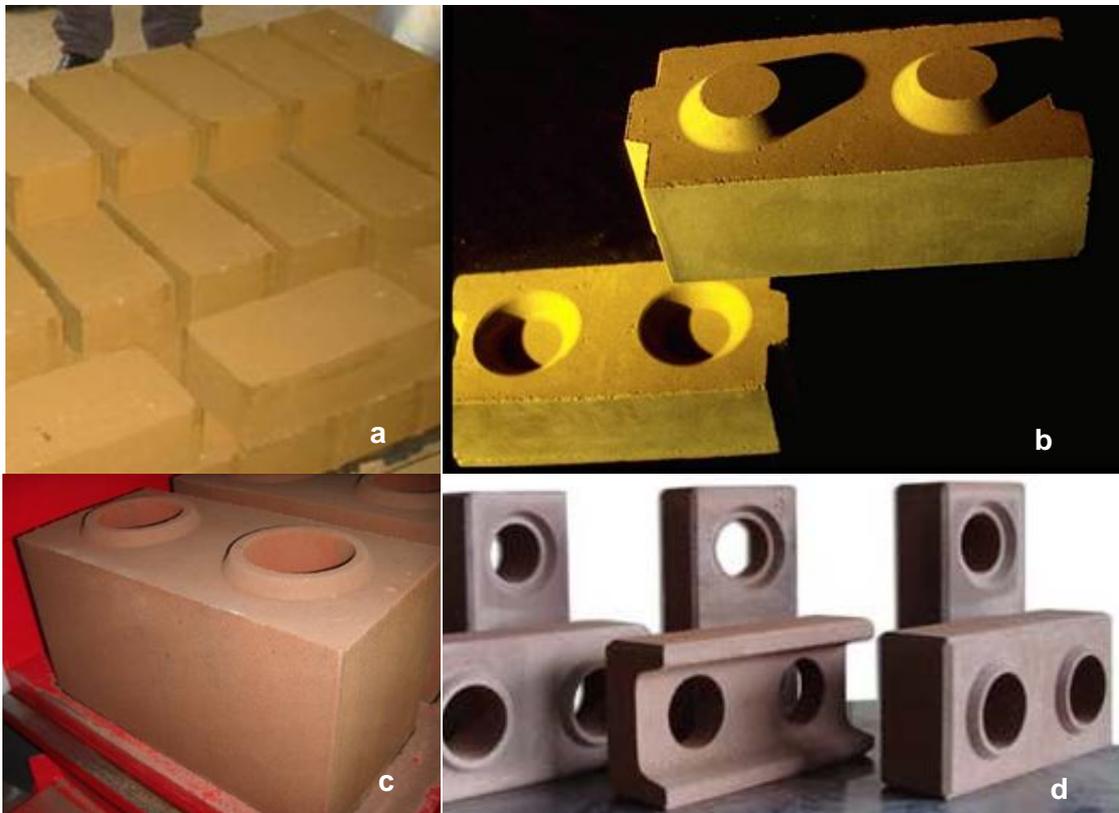


Figura 1 – Algunos ejemplos de la variedad de BTC: a) Macizo con superficie lisa; b) Macizo con encajes – “Bloco Mattone” (Mattone, 2007); c) Con huecos; d) Con huecos y encajes

El BTC puede ser usado en cualquier tipo de construcción substituyendo los bloques cerámicos o de concreto convencionales, sea en albañilería para cerramiento o mampostería portante, siempre que se observen las capacidades resistentes establecidas en el proyecto. Las paredes tanto pueden estar con el mampuesto a la vista (cuando estén protegidas de la lluvia), como cubiertas, pudiendo recibir revestimiento de mortero, diversos tipos de pintura o revestimiento cerámico. Además, presenta otras ventajas, tales como:

- Fácil de fabricar.
- Mantiene la regularidad de las dimensiones.

<sup>1</sup> Traducción de Célia Neves; revisión de Graciela M. Viñuales y Rodolfo Rotondaro

- Posibilidad de control eficiente de la resistencia a la compresión y otros parámetros.

## 1. MATERIALES

La bibliografía recomienda el uso de tierra con un porcentaje de arena superior al 50% para la fabricación del BTC. La arena es responsable de la estructuración interna (resistencia) del bloque, mientras que la arcilla responde a la aglutinación o coesión de las partículas de la tierra. Sin embargo, la arcilla también es responsable del efecto de retracción del material durante el secado y la aparición de grietas en los bloques. Por eso, a veces es necesario adecuar la tierra disponible o, como se dice, estabilizar la tierra para la producción del BTC. La estabilización también se hace en el sentido de mejorar la resistencia y la impermeabilización del bloque (Neves et al, 2010).

La primera opción es lograr la estabilización granular de la tierra mediante la adición de otros tipos de suelo o arena para mejorar su granulometría y plasticidad.

Para reducir la sensibilidad al agua, las altas tasas de contracción y expansión, y la baja resistencia a la abrasión del BTC, se debe realizar la estabilización química con la adición de aglomerantes como cemento, cal o asfalto, entre otros. Sin embargo, la elección de un agente de estabilización dependerá del tipo de tierra y de las condiciones técnicas y financieras para adquirir los aditivos químicos.

Para la fabricación de BTC con adición de cemento, se recomienda el uso de la tierra arenosa, siendo ideal la elección de tierras con las siguientes características:

- 100% que pase por el tamiz de 4,8 mm (Uniformização, 1985).
- 50% a 95% de arena heterogénea (o granulometría continua, composta de arena gruesa, media y fina), pues los espacios dejados por los granos más grandes son llenados por partículas menores del propio suelo.
- LL (límite de liquidez)  $\leq 45\%$  y IP (índice de plasticidad)  $\leq 18\%$  (Uniformização, 1985), pues los suelos con índices de plasticidad y límites de liquidez elevados son más difíciles de estabilizar. Sin embargo, la plasticidad es necesaria para transmitir la cohesión suficiente a los bloques producidos para que puedan ser manipulados (ABPC, 1985).

## 2. FABRICACIÓN DE BTC

Para ejemplificar, se anotan las etapas del proceso de fabricación del BTC con cemento, que es semejante al proceso de fabricación con adición de otros aglomerantes.

### 2.1 Preparación de la tierra

Consiste en pulverizar y tamizar, si fuera necesario, la tierra seca. Se recomienda usar tamiz con apertura de la red del orden de 5 mm, o un pulverizador mecánico, como mostrado en la figura 2.

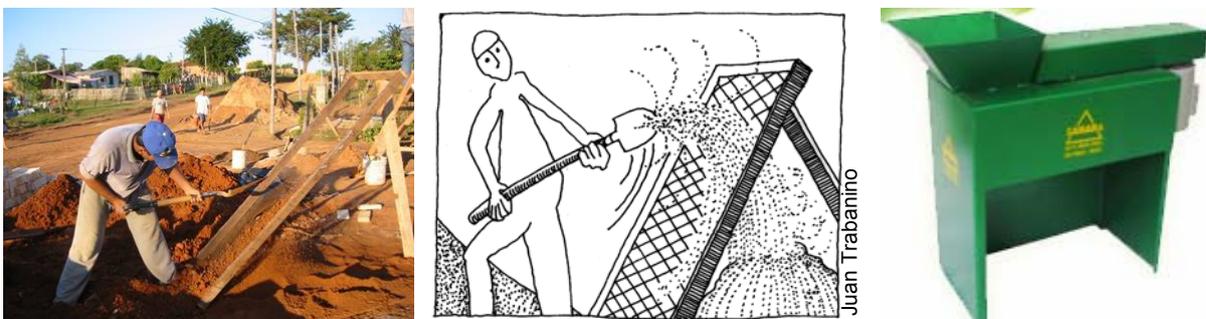


Figura 2 – Tamizado manual de la tierra y un modelo de pulverizador mecánico

## 2.2 Preparación de la mezcla (con cemento)

Se añade el cemento a la tierra ya preparada, en la proporción previamente establecida. Esta proporción necesita un estudio de dosificación para obtener BTC con la resistencia a la compresión esperada con el mínimo consumo de cemento.

Se mezclan los materiales secos hasta obtener coloración uniforme; se agrega el agua poco a poco hasta que llegue a la humedad adecuada para su prensado (figura 3).



Figura 3 – Preparación de la mezcla de suelo y cemento

La humedad adecuada se determina con una precisión razonable por el siguiente proceso (Neves et al, 2010):

- Colocar una porción de la mezcla en la palma de la mano y comprimirla con los dedos.
- Al abrir la mano; la bola formada debe guardar la marca de los dedos.
- Haciendo caer la bola desde una altura de 1,0 metros, ella tiene que romperse.

En caso de que no se consiga formar la bola con la marca de los dedos en la mano, la humedad es insuficiente; si la bola, al caer, se mantiene entera, la humedad es excesiva.

## 2.3 Moldeado del BTC

Se pone la mezcla en el equipo y se procede al prensado y luego a la retirada del BTC del molde; se acomoda el BTC en una superficie plana y lisa, en un área protegida del sol, del viento y de la lluvia (figuras 4 y 5).

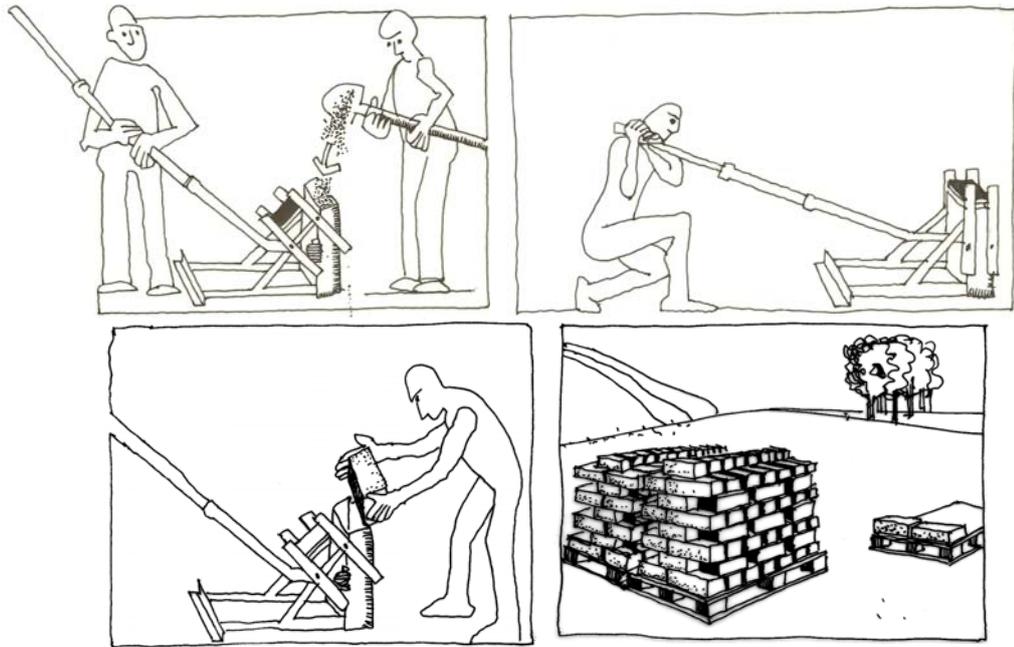


Figura 4 – Ilustración de las etapas de moldeado y almacenamiento de BTC.  
(Deseños de Juan Trabanino)



Figura 5 – Moldeado de BTC

## 2.4 Cura y almacenamiento

Después de 6 horas de moldeados y durante los 7 primeros días, los bloques deben ser mantenidos húmedos por medio de regados sucesivos, para continuar el proceso de hidratación del cemento, lo que traerá una mayor resistencia al material. Esta etapa corresponde al proceso de cura.

Los BTCs pueden ser acomodados en pilas de hasta 1,5 metro de altura y cubiertos con lona plástica para mantener la humedad (figura 6).



Figura 6 – Almacenamiento de los BTC

### 3. EJECUCIÓN DE LA ALBAÑILERÍA

El proceso constructivo es semejante al de la mampostería convencional (bloque cerámico o bloque de cemento). La albañilería es compuesta básicamente por el componente (bloque) y el elemento de unión (mortero de asentamiento) que forman las juntas horizontales e verticales (figura 7).



Figura 7 – Ejecución de paredes con BTCs

Los procedimientos más comunes para la ejecución de la albañilería de BTC son:

- Colocación del BTC con mortero formado por cemento, arena, cal y tierra – BTC macizo con superficie plana, BTC con huecos.
- Colocación del BTC con mortero formado por cemento, arena y cal – BTC macizo con superficie plana, BTC con huecos.
- Colocación del BTC con un mortero fluido de cemento y arena – bloque Mattone, BTC con huecos; es necesario limpiar la superficie de la pared al final de la colocación.
- Colocación del BTC con uniones realizadas con inyector o pistola alrededor de los huecos de un filete de mortero fluido de cemento y arena, o de cemento y tierra, o bien de cemento, cola blanca (acetato de polivinilo) y arena o tierra.
- Ejecución de pared, sin mortero, solo encajados (Assis; Chaud, 2004)

En la albañilería de BTC con huecos grandes, cada dos metros de largo de la pared, se debe poner una barra de acero en el sentido vertical y rellenar el hueco con mortero de cemento y arena o microcemento; la tubería para las instalaciones hidráulicas y eléctricas pasan a través de estos huecos (figura 8).

La albañilería del BTC puede recibir cualquier tipo de recubrimiento convencional tal como pintura, cerámica u otros. Si no va a recibir el recubrimiento, es necesario limpiar las juntas y las superficies, en la medida en que el muro va para arriba, como se muestra en la figura 9.



Figura 8 – Albañilería de BTC con huecos y juntas de mortero con barras de acero verticales para refuerzo de la pared



Figura 9 – Albañilería de bloque Mattone con mortero fluido y limpieza de la superficie

Independientemente del tipo de BTC y del proceso de ejecución de la albañilería, se recomienda la ejecución de una capa de concreto entre la fundación y la pared para dificultar la ascensión del agua por capilaridad.

#### 4. EQUIPOS PARA FABRICACIÓN DEL BTC

El BTC, en general, es moldeado por prensado con moldes cuyo formato posibilita producir piezas de formas y dimensiones variadas. La maquinaria disponible para su fabricación es diversa y puede atender a las necesidades de producción para las edificaciones de diferentes envergaduras. Se puede utilizar desde un sencillo equipamiento de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial, que engloban pulverizador de suelo, tamizador, mezcladora, dosificador, prensa y otros accesorios. El dimensionamiento de la maquinaria está relacionado con la medida, la productividad y el costo del emprendimiento.

Las prensas pueden ser operadas manualmente (figura 10) o con auxilio de un motor (figura 11), que acciona un sistema de prensado, mecánico o hidráulico. La tabla 1 presenta valores de la productividad y energía de compactación de algunas prensas.

Tabla 1 – Productividad de las prensas para componentes de suelo estabilizado (Ferraz Jr., 1995)

Tipo de prensa		Energía de compactación (MPa)	Tasa de compactación de la tierra <sup>1</sup>	Producción (BTC/día)
Manual	Mecánica	1,5 – 2,0	1,38	300 a 1.200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2.000 a 2.800
Motorizada	Mecánica	4,0 – 24,0	> 1,65	1.600 a 12.000
	Hidráulica	>20,0	> 2,00	2.000 a 4.000

<sup>1</sup> Corresponde a la relación entre los volúmenes de la mezcla en estado suelto y en estado compactado, siendo proporcional a la energía de compactación

Las prensas manuales requieren bajo capital para su compra y mantenimiento, son más livianas, pequeñas, fáciles de usar y no consumen energía eléctrica. La baja tasa de compactación, principalmente de la prensa manual mecánica, exige que la selección y la preparación de la tierra sean muy cuidadosos, a fin de que los BTCs presenten poca dispersión en la resistencia a la compresión.

Las prensas que poseen pistón compactador en un solo sentido deben ser utilizadas básicamente para la producción de BTC con altura máxima de 7 cm. Por encima de este valor y hasta la altura de 20cm, es necesario usar prensas con doble sentido de compactación. Este límite no se debe a la energía de compactación del equipo, sino a la propiedad de compactación de la tierra.



Figura 10 – Prensa Mattone (a la izquierda) y más dos modelos de prensas manuales



Figura 11 – Dos modelos de prensas motorizadas

## 5. PARÁMETRO DE CONTROL

Para cualificar el BTC con cemento, las normas brasileñas establecen la verificación de sus características en muestras de por lo menos trece unidades, retiradas de forma aleatoria en lotes de 10.000 a 25.000 bloques. Los criterios establecidos para el control de calidad del BTC de cemento son presentados en la tabla 2, de acuerdo con la norma NBR 8491 (ABNT, 1984). Se puede adoptar estos límites también como referencias para evaluación de BTC con otros aglomerantes, independiente de su tipo.

Tabla 2 – Límites especificados para BTC con cemento

Característica	N ° ejemplares	Exigencia NBR 8491	
Variación dimensional	-	± 3 mm	
Resistencia a la compresión	10	valor medio	≥ 2,0 MPa
		valor individual	≥ 1,7 MPa
Absorción de agua	3	valor medio	≤ 20%
		valor individual	≤ 22%

## 6. DOSIFICACIÓN Y CONSUMO DE MATERIALES

Para determinar la cantidad adecuada de cemento para ser añadido a la tierra, se debe realizar un estudio de dosificación. Se recomienda fabricar, por lo mínimo, 20 BTC con tres diferentes composiciones de cemento y tierra (en volumen) que pueden tener, por ejemplo, las proporciones de 1:7; 1:10; 1:13.

En laboratorio, hay que realizar el ensayo de resistencia a la compresión (10 unidades) y de absorción de agua (3 unidades) e identificar la proporción que considera los parámetros de control indicados en la tabla 2, a través de la interpolación de los resultados, mostradas en la figura 12 .

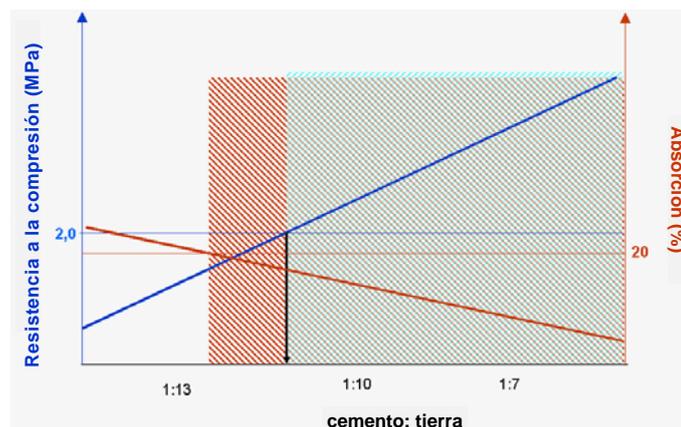


Figura 12 – Ejemplo de interpolación de resultados para definir la dosificación del BTC

La cantidad de cemento que será empleada debe atender a los criterios de resistencia a la compresión y de absorción de agua.

La tabla 3 presenta los datos para el cálculo aproximado de consumo de materiales por m<sup>3</sup> de suelo-cemento prensado, considerando los siguientes parámetros para el suelo y el cemento:

- Densidad aparente del cemento: 1420 kg/m<sup>3</sup>
- Densidad aparente del suelo suelto: 1100 kg/m<sup>3</sup>
- Densidad seca máxima de la tierra (compactada): 1800 kg/m<sup>3</sup>
- Relación entre el volumen de la tierra suelta y la tierra prensada: 1,6

Para el cálculo mas preciso, estos parámetros deben ser determinados en laboratorio.

Tabla 3 – Consumo de material por m<sup>3</sup> de suelo-cemento prensado

Proporción de material en volumen	1:10	1:12	1:15	1:18
Consumo de cemento (kg)	206	175	143	120
Consumo de tierra (m <sup>3</sup> )	1,6	1,6	1,6	1,6
Proporción de cemento en masa (%)	11	9,5	7,5	6,5
Proporción de cemento en volumen (%)	9	7,5	6	5

Para cuantificar el consumo de material por unidad habrá que considerar las dimensiones y el formato del BTC, o sea, su volumen.

### Bibliografía

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1985). *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais*. São Paulo: ABCP. 4p. Boletim Técnico.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8491 Tijolo maciço de solo-cimento*. Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 4p.
- ASSIS, J. B. S. de; CHAUD, E. (2004). Avaliação do comportamento estrutural de mini-paredes construídas com blocos de solo-cimento, isentas de argamassa entre fiadas – tijolito® sistema Andrade Gutierrez de construção industrializada. In: *3<sup>er</sup> Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Memoria...* San Miguel de Tucumán: PROTERRA; FAU/UNT. p. 149-159.
- FERRAZ JUNIOR, Francisco de A. C. (1995). Equipamentos modernos para a produção de tijolos de terra prensada. In: *Workshop Arquitetura de Terra. Anais ...* São Paulo: NUTAU-FAUUSP. p.163-179.
- MATTONE, Roberto (2007). Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción. *Revista Apuntes*, v. 20, n.2, julio-diciembre 2007. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. p. 318-323.
- NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>
- NEVES, Célia; COELHO, Ana Cristina Villaça (2009). Um passeio pelas normas de construção com terra nos países ibero-americanos. In: *VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra; II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra*. San Miguel de Tucumán: CRIATIC/FAU/UNT. 1 CD-ROM.
- UNIFORMIZAÇÃO das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional* (1985). Elaborado por BNH-DEPEA; ABCP; CEPED; IPT; TECMOR; COHAB-SP; SEAD-PR; CETEC; CEHAB-RJ. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA.

## ANEXO – Normas iberoamericanas de BTC

En Brasil, la ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, en el período de 1984 a 1989, publicó las siguientes normas para BTC con adición de cemento<sup>2</sup>, siendo dos de ellas revisadas en 1994:

- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação. 1984
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1984
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento. 1989
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento. 1989
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Especificação. 1994
- NBR 10835 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões. Padronização. 1989
- NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1994

En Colombia, el ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas publicó, en 2005, la norma NTC 5324. Bloques de Suelo Cemento para Muros y Divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega, que es una declarada traducción de la norma francesa AFNOR XP P 13-901:2001

Al final de 2008, la AENOR -Asociación Española de Normalización y Certificación- publicó la norma UNE 41410 – Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.

Mientras que las normas brasileñas y colombianas tratan del BTC estabilizado con cemento, la norma española permite otros aglomerantes, incluidos los productos de origen vegetal y animal, tales como los aceites naturales y la yema de huevo, ya que la adición de estos materiales como estabilizadores químicos previamente se ha evaluado en laboratorio.

En todas las normas hay criterios aplicables para calificar las dimensiones (tolerancias) y los aspectos del BTC. La norma colombiana también se ocupa de las variaciones dimensionales entre los estados convencionales extremos de contracción y expansión.

En cuanto a la calificación del producto, todas las normas contienen los requisitos relativos a la resistencia a la compresión y al comportamiento con respecto a la acción del agua, a pesar de los parámetros diferenciados. Por otra parte, las normas colombiana y española establecen requisitos para la resistencia a la abrasión; la norma española indica otros parámetros en función de la aplicación del BTC. La comparación entre los valores establecidos como límite en la resistencia a la compresión de las normas no es posible ya que los métodos de ensayo para su determinación son bastante diferentes. Según la norma colombiana, al bloque se lo divide por la mitad y las partes luego son unidas colocando una encima de la otra. Lo mismo indica la norma brasileña, pero para bloques con altura máxima de 7cm, ya que para bloques con dimensiones mayores a esta medida, no se parte el bloque, como indica la norma española. Por otra parte, las normas brasileñas indican que el ensayo con la prueba húmeda, mientras que la norma española utiliza la prueba seca, y la colombiana indica ensayos en ambas condiciones, pero siempre utiliza la condición seca como referencia.

La tabla 4 presenta los principales requisitos y criterios establecidos en las normas brasileña, colombiana y española.

---

<sup>2</sup> Las normas brasileñas hacen distinción del término BTC en función principalmente de sus dimensiones, pero precisamente por su altura: hasta 7 cm se lo llama ladrillo y si es superior a este valor, se lo llama bloque.

Tabla 4 – Requisitos y criterios de las normas brasileñas, colombiana y española (Neves; Coelho, 2009)

Norma	Brasileña		Colombiana				Española			
	valor	condiciones	valor		condiciones		valor		condiciones	
dimensiones (L x E x h) (cm)	20 x 9,5 x 5 23 x 11 x 5 (bloque macizo)	un solo sentido de prensado	29,5 x 14 x 9,5 22 x 22 x 9,5 (bloque macizo)		no informa sobre el prensado		fabricante informa		no informa sobre el prensado	
	39 x 9 x 14 39 x 14 x 14 39 x 19 x 14 (bloque con huecos)	sentido doble de prensado								
tierra	100% ≤ 5 mm 10% a 50% ≤ 0,075 mm LL ≤ 45% IP ≤ 18%		presenta diagrama de granulometría y límites (LL e IP)				presenta diagrama de granulometría y límites (LL e IP) arcilla ≥ 10% materia orgánica ≤ 2% sales solubles ≤ 2%			
estabilizante	cemento		cemento				cemento, cal, yeso y otros			
resistencia a la compresión mínima (MPa)	2,0	húmeda	BSC20	BSC40	BSC60	seca	BTC1	BTC2	BTC3	seca
			2,0	4,0	6,0		1,3	3	5	
	h ≤ 7 cm – bloque partido y unido h > 7 cm – bloque entero		bloque partido y uniendo las dos partes				bloque entero			
resistencia a la abrasión mínima (cm <sup>2</sup> /g)	no cita		2	5	7	expuesto a la abrasión	no cita			
capilaridad máx (g/cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )	no cita		débil		poco		pared externa	fabricante informa		pared externa
			20		40					
absorción de agua máx (%)	20%	obligatorio	no cita				no cita			
mojado y secado	no cita		no cita				sin grietas sin fragmentación		condiciones severas	
erosión	no cita		no cita				0 ≤ D ≤ 10			
hielo y deshielo	no cita		no cita				fabricante informa			
esfuerzo cortante	no cita		no cita				ensayo		uso estructural	

**A**rquitectura y construcción con tierra son los términos utilizados para referirse a cualquier edificio hecho con tierra. En estas construcciones, la tierra debe estar estabilizada con aglomerantes, fibras, o por medio de esfuerzos mecánicos. Es importante aclarar que la estabilización del suelo es un término general que se puede utilizar para diversas áreas de la ciencia y tiene un significado específico en cada una de ellas. En el caso de la construcción y de la arquitectura de tierra, el concepto significa mejorar los parámetros estructurales, principalmente la resistencia y la durabilidad del edificio.

Se puede afirmar que el origen de la tierra como material de construcción se pierde en el tiempo (Dethier, 1993). Hay ruinas de edificios de alrededor de 5.000 AC, y este patrimonio arquitectónico se encuentra en el Oriente, en Asia, en el norte de África, Europa y, ejemplos más recientes, en el Continente Americano (figura 1).



Figura 1 – Sitios donde hay tradición de construcción con tierra (CRATerre<sup>2</sup>)

Muchos autores consideran a la tierra como una excelente opción de material para la construcción de viviendas de interés social. Los edificios con tierra en su gran mayoría son producidos con un alto grado de sabiduría intuitiva de los constructores, y, en lugares donde hay datos históricos de sus conocimientos, éstos son fácilmente aprendidos por otros trabajadores de la edificación. Además, aproximadamente un tercio de la población de nuestro planeta vive en construcciones de tierra, lo que demuestra una clara vocación por utilizar este material en la producción de viviendas.

Existen varias técnicas desarrolladas para el uso de este material. La técnica que aquí se presenta es la de una pared de tierra compactada, tradicionalmente conocida como tierra apisonada o simplemente tapia. En primer lugar, se exponen las generalidades y una breve historia, seguida por algunas de las especificidades y exigencias para su construcción, las ventajas y desventajas para su aplicación, y algunas informaciones sobre el material, equipos necesarios para la producción de las paredes, procesos de producción, dosificaciones y mezclas. Por último, se comenta la manera en que se evalúa el comportamiento de los muros, indicando las principales pruebas y los resultados esperados.

<sup>1</sup> Traducción de Célia Neves; revisión de Graciela M. Viñuales

<sup>2</sup> CRAterre – *Cultures Constructives et Développement Durable*: es una Asociación y un Laboratorio de Investigación de la Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Grenoble, França (<http://craterre.org/>)

## 1. LA TÉCNICA

Antes de abordar los detalles de la técnica constructiva, se presenta una breve reseña histórica, seguida de las exigencias particulares de diseño y una lista de ventajas y desventajas de su uso.

### 1.1 Antecedentes y breve historia

Varios sistemas constructivos emplean la tierra como material de construcción. La elección de cada sistema está directamente relacionada con el tipo de suelo disponible (Neves et al., 2009) y con la cultura constructiva de cada región. La tapia es un sistema utilizado para la ejecución de fundaciones y paredes. En este sistema, el suelo es debidamente preparado y compactado. Muchas veces, se añade alguna especie de aglomerante en la preparación de la tierra para mejorar aún más los parámetros de su estructura. El proceso de producción del muro, en pocas palabras, consiste en pulverizar el suelo, secar, tamizar, añadir aglomerante, según sea necesario, añadir agua hasta el contenido óptimo de humedad, colocarlo dentro de un molde, conocido con el nombre de *tapial*, y, finalmente, compactar hasta obtener la densidad máxima, mediante el uso de pisones manuales o mecánicos (figura 2).



Figura 2 – Dos tipos de moldes para ejecución de la tapia: tapial tradicional (a la izquierda) y tapial metálico

Determinar dónde surgió la construcción la tierra es tan complicado como decir dónde apareció el hombre. Las ruinas más antiguas que refrendan el uso de la tierra en los edificios, se encuentran en el Medio Oriente. La tapia se extendió por casi todos los lugares donde se utilizó la tierra como material de construcción. Numerosos ejemplos de monumentos de tapia se encuentran en todos los continentes, con las más diversas soluciones constructivas y expresiones estéticas. Ejemplos de ellos son las ruinas del Morro de Mezquitilla o la fortaleza en Baños de la Encina en España, los restos de la ciudad de Chan Chan en Perú y diversas construcciones *bandeiristas*<sup>3</sup> en Brasil.

La relación del hombre con la tierra siempre fue familiar y es necesario preservar esta tradición. Sin embargo, es importante desarrollar y mejorar las técnicas de construcción con tierra para equiparar su eficiencia a los sistemas de construcción establecidos hoy en día en el mercado. Sin duda, las técnicas vernáculas son un importante aporte para el conocimiento histórico de los procesos y para el reconocimiento de los valores históricos y estéticos, pero las técnicas han de continuar esta historia y acompañarla con los beneficios del desarrollo. Hoy en día hay muchos constructores en diversos países que desarrollan la técnica de la tapia y construyen con ella.

<sup>3</sup> Movimiento expansionista para colonización del interior del Brasil colonial durante el siglo XVII, especialmente en la región del actual Estado de San Pablo

## 1.2 Exigencias del diseño para construir en tapia

En los proyectos de arquitectura, todo diseño propuesto tiene una relación directa con el material y el sistema constructivo adoptado, es decir por ejemplo, que un techo realizado con piedras en estado natural tendrá una forma diferente al de una cubierta hecha con una lona tensada. Es evidente la importante relación entre el material de construcción, el tipo de elementos estructurales y el diseño del edificio. Así, al proyectarse una obra que utiliza a la tierra como materia prima principal y la tapia como su sistema constructivo, necesariamente deben considerarse las debidas especificaciones.

La tapia se caracteriza principalmente como elemento estructural moldeado *in situ* con elevada resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción. Por eso, se deben prever las debidas soluciones ya que la trayectoria de las fuerzas configura momentos de torsión, flexión o esfuerzos cortantes en el muro. La resultante de las fuerzas en las paredes de tapia siempre debe ser perpendicular a la superficie resistente. Se debe evitar que la pared de tapia reciba cargas horizontales (figura 3).

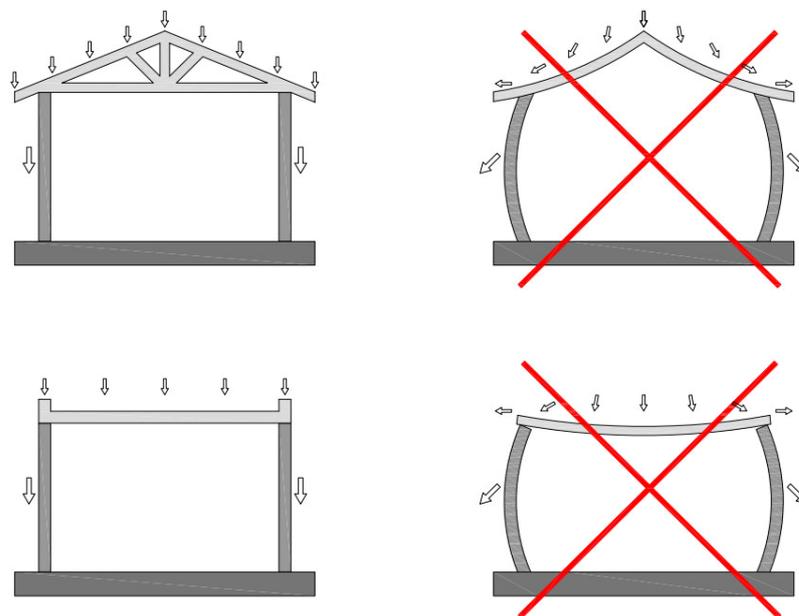


Figura 3 – Transmisión de cargas en las estructuras

Es necesario tener cuidado con la penetración de agua en las paredes de tapia. Se deben prever elementos constructivos para proteger la parte superior de las paredes como los aleros o las canaletas de goteo, la impermeabilización de las cimentaciones o las diversas maneras de evitar el contacto directo de la pared con el suelo para proteger su base. Dependiendo de los índices de precipitaciones en la región, será necesario aplicar repelente para proteger sus superficies. Se recomienda también adoptar ciertos recursos que ayuden a mantener el agua lejos de las paredes tales como las aceras y los desagües (figura 4).

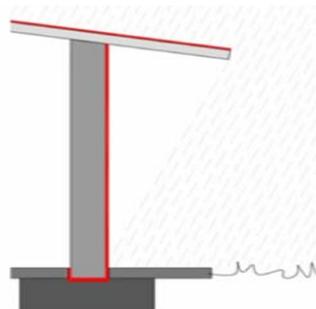


Figura 4 – Esquema de protección contra el agua en la pared de tapia

Otro aspecto fundamental en el diseño de los edificios en tapia está relacionado con el tamaño de los moldes que siempre deben ser compatibles con la modulación de las paredes, pudiendo haber cierta flexibilidad en función del diseño del propio molde, que permita la construcción de paredes de diferentes tamaños, logrando un mejor rendimiento del sistema. Los moldes representan un costo significativo en la construcción y tienen relación directa con la productividad debido al gran número de repeticiones de las acciones de montar y desmontar. Entonces, el diseño de los moldes y la modulación en el diseño del edificio deben recibir una atención conjunta.

### **1.3 Ventajas y desventajas de la técnica constructiva**

Diversos trabajos publicados sobre el concepto de desarrollo sostenible definen que se debe satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cumplir con sus propias necesidades. Se reconoce que el sector de la construcción civil es uno de los que causan mayores impactos sobre el ambiente. Además del uso de gran cantidad de recursos naturales utilizados como materia prima, el sector consume gran parte de la energía disponible en el procesamiento y en el transporte de estos materiales. Asimismo, sigue siendo un gran generador de escombros, que se clasifican como residuo sólido, tanto durante el proceso de ejecución como en los trabajos de demolición. Es papel de todos involucrados en el Sector proponer nuevos parámetros que equilibren el desarrollo de las actividades de la construcción a la preservación del medio ambiente.

La tapia, en muchos lugares y situaciones, puede responder positivamente a los desafíos en el actual escenario, por lo tanto, cuando es empleada apropiadamente, tiene bajo consumo de energía en el proceso de producción, en general no necesita transportar materia prima y es reciclable, pues cuando se demuelen, las paredes vuelven casi por completo a su condición original de suelo. Además de estas características, la tapia tiene excelente inercia térmica y permite el intercambio de humedad con el ambiente, garantizando así menor o nulo consumo de energía de acondicionamiento de aire en los locales construidos.

En las regiones sujetas a temblores, es necesario proponer diseños sismorresistentes, señalando que la tapia ofrece poca resistencia a los esfuerzos de flexión y de tracción, por lo que hay que desarrollar diseños adecuados. La estabilidad de las paredes se obtiene mediante la definición de dimensiones apropiadas, el uso de refuerzos, tales como contrafuertes, o la asociación a otros sistemas estructurales (Habiterra, 1995).

En el ámbito de la conservación y restauración, el agua es uno de los autores principales de degradación de los edificios. A pesar de la simplicidad del sistema constructivo, la conservación y restauración de las edificaciones de tierra, desde el punto de vista de la técnica, es una de las más difíciles. Según Oliveira y Santiago (1993), la tierra es un material de gran complejidad debido al comportamiento físico y químico diversificado de sus arcillominerales. Esto implica la necesidad de investigaciones y mucho cuidado en los procedimientos para la intervención en el patrimonio arquitectónico de tierra.

## **2. MATERIALES**

La materia prima básica para la tapia es la tierra, además de una pequeña cantidad de agua. Sin embargo, no todos los tipos de tierra se prestan para la tapia. Por lo tanto, es necesario conocer las principales características de la tierra, así como las alternativas para el empleo de una tierra que, naturalmente, no parece del todo apropiada, ya sea por la corrección granulométrica o el uso de aglomerantes y otros materiales.

### **2.1 Tipos de tierras**

Las principales características físicas de la tierra para su uso en la tapia son la distribución granulométrica, los índices de plasticidad y la curva de compactación. Ellos indican la necesidad de corrección granulométrica, término que se usa cuando es necesaria la mezcla de tierras de diferentes características, que ayudan a decidir sobre el uso adecuado de aglomerante y determinan la humedad adecuada de compactación. Los ensayos para

determinar estas características están estandarizados y pueden hacerse en laboratorios de edafología y de mecánica de suelos. Hay pruebas más complejas, costosas y de difícil acceso que identifican las características químicas de los suelos, tales como la difracción de rayos X, que pueden ser usados en función del nivel de la demanda y la complejidad del proyecto. En las construcciones de pequeño porte, se puede hacer la caracterización y elección de la tierra con pruebas rápidas (Neves et al, 2009).

Genéricamente, los suelos más adecuados para la tapia son los arenosos. Sin duda, este material, debidamente seleccionado y bien utilizado, además de poca o ninguna necesidad de aglomerante u otros aditivos, puede dar paredes muy fuertes y duraderas. El suelo arenoso facilita también el primer trabajo que se realiza en la construcción de un edificio de tierra, que es la extracción de la materia prima de su lugar de origen, sea de un yacimiento externo o del propio sitio de la obra.

En la actividad de extracción, el suelo arcilloso, si está húmedo, se adhiere a la herramienta y hace que las botas y las ruedas patinen, y si está seco, tiene una fuerte cohesión, dificultando el trabajo. Este difícil comportamiento también se ve en las operaciones siguientes, tales como el secado, pulverización y tamizado. Independientemente del tipo de suelo es importante que no tenga materia orgánica, por eso se debe extraer el material desde el horizonte B (ya presentada en la figura 2, a la página 13).

La mayoría de los estudios indican que los suelos apropiados para la tapia deben tener baja cantidad de limo, poca materia orgánica y contenido alrededor del 30% de arcilla y 70% de arena (CRATerre). Sin embargo, aún en suelos con distribución granulométrica similar, se tiene una gran variabilidad de los resultados que se pueden atribuir principalmente a las características de la arcilla y en algunos casos, a las de la arena. El CEDED, para la ejecución de una pared de paneles monolíticos de suelo-cemento, especifica los suelos con contenido de arena entre 45% y 90%, contenido de limo y de arcilla entre 10% y 55%, un límite líquido  $\leq 45\%$ , un índice de plasticidad  $\leq 18\%$ , y una retracción en la prueba de la caja<sup>4</sup>  $\leq 2$  cm.

Además de requerir mayor cantidad de arena, el suelo también debe tener una curva granulométrica bien distribuida (figura 5), pues así se alcanza una mayor densidad<sup>5</sup> en la compactación. Para entender mejor esta afirmación, imagínese el llenado de una piscina con pelotas de distintos deportes, de manera de obtener el menor volumen posible de espacios vacíos. Alguno podría sugerir llenar con las más grandes como las pelotas de baloncesto, pero los pocos espacios serían grandes también, lo que llevaría a un gran volumen de vacíos. Otro podría pensar en llenar la misma piscina con pelotas pequeñas, como las del tenis, porque así debería haber pequeños espacios entre ellos, pero debido al gran número de pequeños espacios en total, todavía queda un gran volumen de vacíos. Así se concluye que la mejor manera de llenar la piscina con la menor cantidad de vacíos es con pelotas de diferentes tamaños. Del mismo modo, esto significa que se debe buscar un tipo de tierra con cantidades bien distribuidas de arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla para obtener, cuando se compacta, el menor volumen de vacíos y, por consiguiente, una densidad más elevada. Este concepto se denomina continuidad granulométrica.

La plasticidad es otra importante característica física del suelo. Esta medida está influida por la clase de su textura y por la naturaleza de los minerales de la arcilla. Cuanto mayor sea el índice de plasticidad (figura 6), el material estará más sujeto a variaciones dimensionales, como resultado de la expansión del suelo cuando está mojado y su retracción al secarse.

La curva de compactación (figura 7) determina la humedad óptima para la ejecución de la tapia, es decir, la cantidad ideal de agua para lubricar todas las partículas del suelo sin ocupar los espacios entre ellos, dando lugar al aumento de la densidad del material cuando es compactado. La curva cambia dependiendo de la distribución granulométrica y la

<sup>4</sup> La prueba de la caja está descrito en Neves et al (2009)

<sup>5</sup> Densidad correspondiente a la relación entre la masa del suelo compactado y el volumen del mismo ( $\text{g/cm}^3$ )

plasticidad del suelo. Por lo tanto, ella debe ser controlada en cada cambio de estos factores. No hay que olvidar que el agua siempre debe estar libre de impurezas que sean nocivas para la hidratación de los agentes aglomerantes.

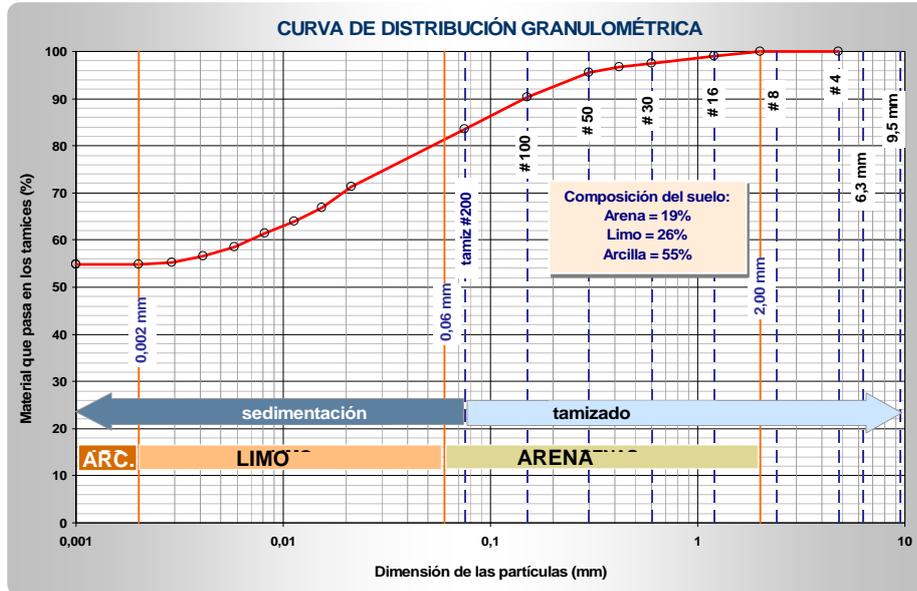


Figura 5 – Curva de distribución granulométrica con continuidad óptima (Neves et al, 2009)

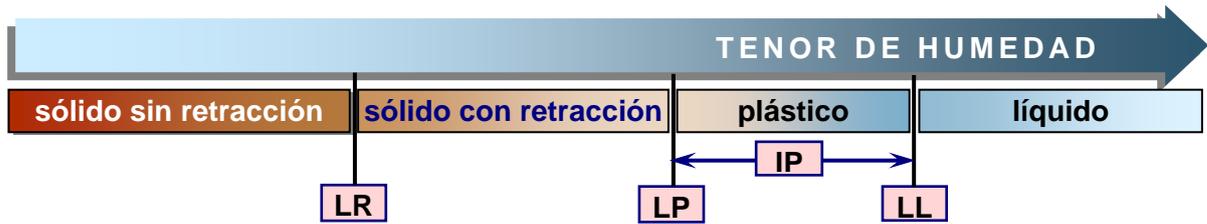


Figura 6 – Límites de Atterberg (Neves et al, 2009)

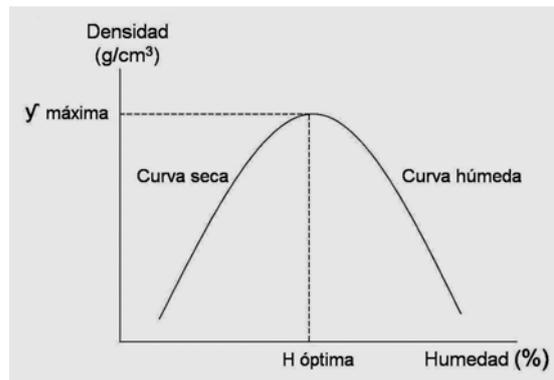


Figura 7 – Curva de compactación del suelo

Por lo tanto, no hay uno o algunos tipos de suelo adecuados para la tapia, sino una serie de consideraciones que deben hacerse para utilizar este material extraordinario en la construcción. Conocer, desde el principio del proyecto, las especificaciones del suelo que se utiliza para la construcción es siempre importante, pero eso no significa que haya necesidad de análisis complejos o un gran desarrollo tecnológico. Hay que recordar que el conocimiento sobre las características de una buena tierra para la construcción de una pared de tapia se difundió de algún modo entre los antiguos tapiadores, puesto que los estudios recientes muestran una gran similitud con las características físico-químicas de las tierras utilizadas en diversos ejemplos de patrimonio arquitectónico (Flores, 2000).

Para seleccionar la tierra apta para la ejecución de la tapia es importante considerar, además de las características intrínsecas del material, el sitio de la obra, la oferta de tipos de suelos y aglomerantes, la disponibilidad de la maquinaria, los medios de transporte y también otros aspectos tales como el diseño propuesto, la cultura constructiva del lugar y la disponibilidad de recursos financieros. Dependiendo de los requisitos y del volumen de trabajo se recomienda consultar a un especialista.

## 2.2 Corrección granulométrica de la tierra

Después de analizar el suelo disponible, la primera consideración que debe hacerse es sobre la necesidad de su corrección, o sea, de mezclar ese suelo disponible con otros para mejorar las características. Por ejemplo, un constructor que tiene un suelo con 40% de arena (llamado Tco, tierra de la obra) puede corregir la distribución granulométrica con la adición de otro tipo de suelo, obviamente más arenoso o incluso de arena pura (llamado Tt, tierra transportada). Si se agrega al suelo un 80% de arena, se debe mezclar tres partes de tierra transportada con una sola parte de la tierra disponible (Tco) para obtener la tierra ideal (Ti) con el contenido de 70% de arena. Si se utiliza arena pura (100% de arena), entonces sólo es necesaria una parte de cada material para llegar a la misma distribución granulométrica de la tierra ideal.

Para determinar la proporción (P) de una mezcla de tierra, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Tco - Ti}{Ti - Tt}$$

donde Tco, Tt y Ti corresponden al contenido de arena de cada tipo de suelo.

En los ejemplos de arriba, donde la Tco tiene 40% de arena, para obtener una tierra con 70% de arena, se calcula:

- 1) Si Tt tiene 80% de arena,

$$P = \frac{40 - 70}{70 - 80}$$

P = 3, o sea, serán necesarias 3 partes de Tt para 1 parte de Tco.

- 2) Si se tiene Tt con 100% de arena,

$$P = \frac{40 - 70}{70 - 100}$$

P=1, o sea, será necesaria 1 parte de arena para 1 parte de Tco.

Es siempre importante analizar la posibilidad de la corrección granulométrica de la tierra, pues así el trabajo se facilita en el momento de la compactación y disminuye entonces la necesidad de añadir aglomerantes.

## 2.3 Aglomerantes y otros materiales

Después de analizar las ventajas y la disponibilidad de la corrección de la tierra, se debe evaluar la necesidad de utilizar aglomerantes o algún otro material para ayudar a la estabilización. La idea es agregar un producto para optimizar las características de resistencia, durabilidad y, en algunos casos, obtener las mejores condiciones para manipular el material. Cabe señalar, sin embargo, que para la tapia, el principal responsable de la estabilización de la tierra es la energía de compactación (Hoffmann, 2002).

Los aglomerantes de uso común son la cal y el cemento. También hay quienes proponen el uso de silicatos y resinas, a la vez que existen estudios con materiales naturales como el aceite de origen animal y las ceras vegetales. Estos materiales son normalmente usados con diversas funciones, tales como la impermeabilización y la cohesión de las partículas, la mejora del manejo de la tierra, entre otras. Hay que recordar que en el caso de la tapia, no

se deben añadir materiales elásticos o que tengan baja densidad como son las fibras vegetales o sintéticas.

La primera consideración para la elección de un tipo de aglomerante es haber identificado el tipo de tierra disponible. En general, las tierras arenosas combinan mejor con el cemento y las tierras arcillosas con la cal. Tanto estos aglomerantes, como las resinas y los silicatos, se pueden utilizar simultáneamente con el debido cuidado en el momento de la mezcla. En el caso de la cal y el cemento, cuando se usan juntos, se deben mezclar ellos a la tierra en distintos momentos, en primer lugar la cal y después el cemento, para evitar que compitan por el agua de mezcla. La adición de aglomerantes “aplana” la curva de compactación y amplía el intervalo para llegar al contenido óptimo de la humedad de compactación.

Uno de los criterios adoptados para la elección del tipo de aglomerante es la que relaciona el índice de plasticidad y la distribución granulométrica de la tierra (figura 8). Para establecer la cantidad de aglomerante se necesita conocer, además del tipo de tierra, el diseño del edificio. Las paredes más delgadas, obviamente, necesitan más aglomerante que las más gruesas para lograr la misma resistencia. Entonces, después de analizar todos estos factores se deben probar algunas posibilidades y adoptar la que presenta el mejor resultado.

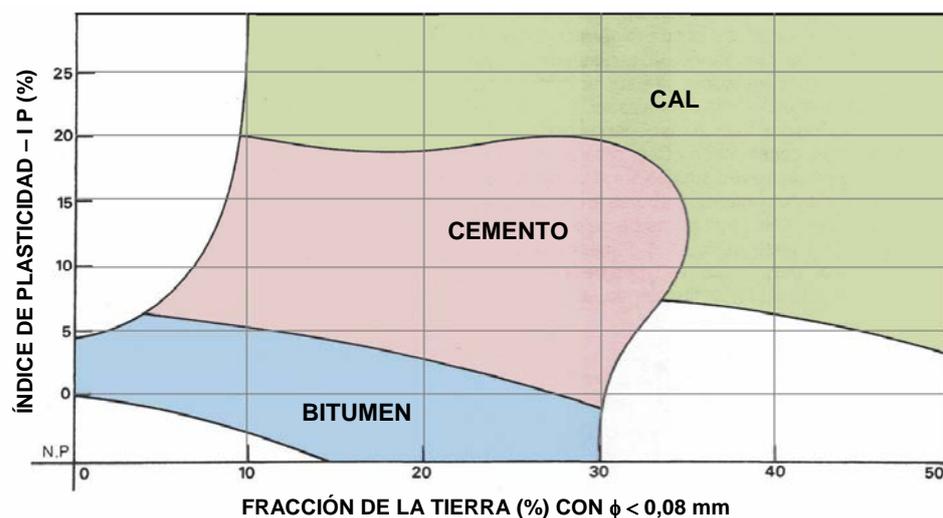


Figura 8 – Elección del tipo de estabilizante en función del índice de plasticidad (IP) y de la distribución granulométrica de la tierra (Neves et al, 2009)

Es evidente que en la determinación de la dosificación de la tierra, es decir, en la elección del tipo y la cantidad del aglomerante, es necesario tener en cuenta la calidad del suelo, su función y las dimensiones de las paredes, el clima del lugar, la tradición constructiva, las facilidades y dificultades en la obtención de materiales, y las condiciones económicas del momento. En Brasil, con suelos arenosos, para la ejecución de un muro de paneles monolíticos de suelo-cemento con un espesor máximo de 15 cm, se recomienda la proporción de 1:15 en volumen. Para obras que consumirán más de 1.000 m<sup>3</sup> de material, se recomienda el estudio de dosificación y monitorización en laboratorio, lo que implicará un ahorro considerable en la construcción (Uniformização, 1985).

Las resinas y silicatos, por lo general encontrados en solución, se pueden también utilizar como consolidantes. Este término indica la aplicación de una pasta para arreglar las grietas, fisuras o defectos que puedan aparecer (figura 9). También pueden aplicarse diluidos sobre la superficie de la tapia, cuando ésta no va a ser recubierta con revoque u otro material de acabado, con ello se proporcionará una protección contra la abrasión y la humedad. Para este fin también se puede utilizar acetato de polivinilo, conocido como PVA o cola blanca. Sin embargo, es posible añadir pigmentos de óxido de hierro al preparar el suelo con el aglomerante, para vigorizar los colores de la tierra y obtener la tapia con un diseño de capas compactadas (figura 10).



Figura 9 - Consolidación de grietas en el panel monolítico



Figura 10 – Panel de tapia con diferentes colores de tierra

### 3. EQUIPOS, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS MOLDES

Los principales equipos para la ejecución de la tapia son el molde, también conocido como tapial, y el pisón.

Otros equipos pueden ser usados en las actividades de preparación de la tierra, como el pulverizador y la mezcladora. El pulverizador se utiliza para reducir los terrones y facilitar la labor para obtener las partículas sueltas del suelo. La mezcladora se utiliza para preparar la tierra con el aglomerante y el agua. La mezcladora indicada es la llamada planetaria o la de palas giratorias. A diferencia de la hormigonera, muy común en las obras, la mezcladora con las palas internas es adecuada para la mezcla de materia seca. El uso de este equipo reduce el tiempo de este proceso y consecuentemente el tiempo de producción del muro.

Siendo la tapia una antigua técnica utilizada en diversas regiones del mundo, es evidente que hay diferentes tipos de moldes y pisonos. Los moldes deben ser resistentes a la fuerza de impacto y a la presión ejercida por la tierra durante su compactación. Sin embargo, aunque estén bien armados (figura 11), deben ser ligeros y fáciles de operar, pues las actividades de montaje y desmontaje de los moldes son fundamentales para optimizar la productividad.



Figura 11 – Moldes desarrollados a partir del proyecto de investigación realizado en el CEPED (1984)

En la construcción de tapia los moldes más comunes son:

- tipo caja, cerrado por tres o cuatro lados, lo que permite la construcción de grandes bloques que se repiten para completar la pared, similar a la de albañilería convencional.
- tableros laterales fijados en guías fijas verticales que se quedan embutidas en la pared.
- tableros laterales fijados en guías móviles verticales que son retiradas durante la ejecución de la tapia. La pared está compuesta de paneles monolíticos, construidos alternativamente, ejecutados cada uno hasta su altura final.

Las paredes cuyo proceso constructivo usa moldes tipo caja o tableros laterales con guías fijas son ejecutadas horizontalmente, es decir, todos los paneles de un nivel se llevan a cabo preferentemente antes de comenzar la ejecución de los paneles del nivel superior. En los moldes de tableros laterales con guías móviles, cada panel es construido completo desde abajo hasta su máxima altura. Después de la conclusión del panel, se quitan las guías y el panel ejecutado es utilizado como guía para el panel adyacente (figura 12). Las guías fijas embutidas en las paredes pueden ser de hormigón, de madera o metal. Las guías móviles recuperables normalmente son de madera o metal.

Es importante recordar que los moldes representan un costo significativo en las obras de tapia. Ellos deben ser diseñados de acuerdo con el material disponible y con la modulación de las paredes del edificio. El diseño del molde debe permitir construir paneles que consideren las dimensiones de las paredes, obteniendo así el mejor uso posible. El diseño del molde también debe tener en cuenta la facilidad de montaje y permitir su desmontaje sin grandes impactos, ya que, a pesar de la resistencia inicial de la tapia, los golpes pueden dañar la superficie de la pared recién construida.

Los materiales utilizados para fabricación de los moldes serán, junto con la tierra, unos de los principales responsables de la textura del panel. La tabla de madera conducirá a un acabado más áspero, mientras un tablero de madera plastificado o las planchas de metal darán lugar a un acabado más liso. Para un acabado liso, los moldes se hacen de tabla contrachapada revestidos con una película de plástico, estructurada con piezas de madera maciza. La tabla debe tener dimensiones estándar de 2,44 m x 1,22 m y diversos espesores<sup>6</sup>. Cada molde se compone de dos placas laterales, formadas por la tabla completa o su mitad, siendo la longitud de la tabla correspondiente a la dimensión más grande del molde. Es decir, el molde, fabricado con la tabla contrachapada, tiene una altura de 0,55 m o 1,10 m, o bien de 0,61 m o 1,22 m y una longitud de 2,20 m o 2,44 m. Las piezas de madera pueden tener una sección de 2,5 cm x 7,0 cm hasta llegar a 8,0 cm x 20,0 cm. Las piezas más grandes permiten utilizar la estructura del molde como andamio.

<sup>6</sup> En Brasil, se encuentran en el mercado tableros de madera contrachapada con pegamento fenólico y plastificada con dimensiones de 2,2 m x 1,1 m, y con espesores que varían entre 10 mm y 20 mm

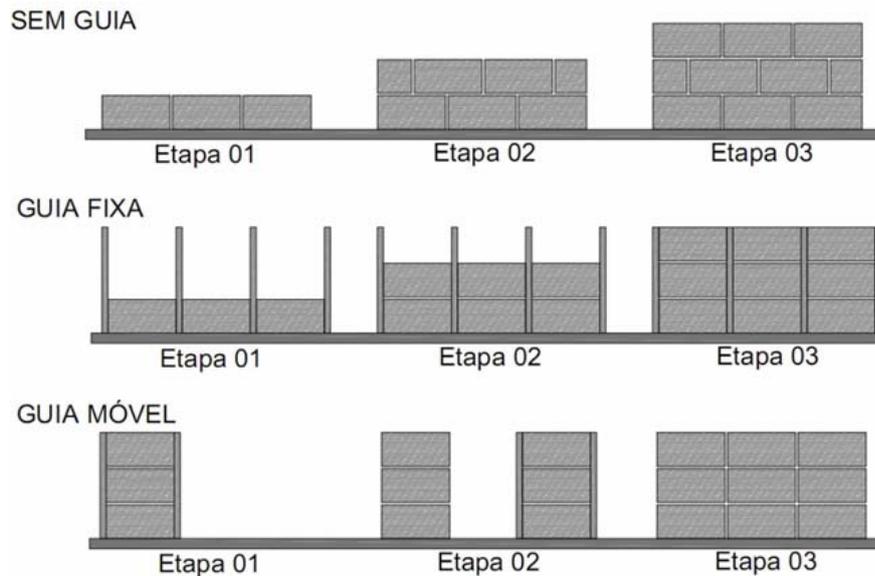


Figura 12 – Secuencia de montaje de los moldes sin guías, con guías fijas y con guías móviles

El molde debe ser fabricado en un taller de carpintería que tenga equipos adecuados. Los tableros laterales del molde generalmente van unidos por tornillos con un diámetro igual o superior a 10 mm.

El pisón puede ser manual o mecánico. Cuando es manual, debe ser firme y resistente, pero no demasiado pesado para facilitar el manejo y reducir al mínimo el esfuerzo del trabajador. El pisón no ha de tener mucho peso, pues la compactación no se produce por la fuerza de los impactos, sino por la frecuencia de éstos, que hacen que las partículas del suelo se acomoden eliminándose los vacíos. Para la elección del pisón mecánico, se deben considerar los mismos factores. Éste debe ser ligero y fácil de usar. Pisones demasiado pesados llevan a densidades elevadas del material, causando la pérdida de las características importantes de la tapia como es el intercambio de humedad con el ambiente. Pueden también dañar el molde. El pisón mecánico más recomendado para la tapia es el neumático tipo aguja (figura 13).



Figura 13 – Ejemplos de pisones mecánicos. *Izquierda:* pisón neumático de aguja. *Derecha:* pisón eléctrico de placa vibratoria

#### 4. PROCESO DE PRODUCCIÓN

La tapia en la mayoría de situaciones se hace *in situ*, es decir, se hace en la obra de construcción. Por eso es importante analizar todas las actividades involucradas en el proceso de fabricación, pues de ellas dependerá el éxito de la construcción. Para facilitar la previsión de ese proceso y describir las actividades y los recursos necesarios para cada actividad en esta producción, se presenta aquí un diagrama de causa y efecto (figura 14).

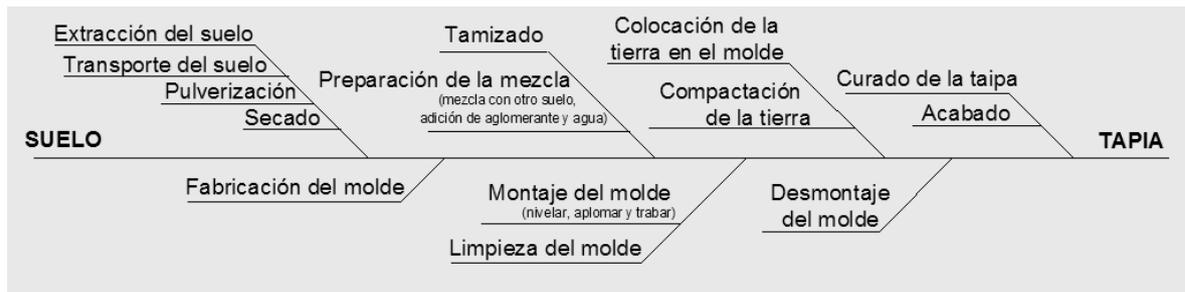


Figura 14 – Mapa del proceso de producción de la tapia

Para la productividad es importante controlar todas las etapas del proceso y la relación entre éstas. El resultado de una acción siempre debe cumplir con las necesidades de la siguiente, en una relación semejante a la del proveedor y el consumidor. Entonces, la tierra debe estar debidamente preparada para ser echada en el molde, que debe estar correctamente montado para iniciar la compactación. Esta relación debe establecerse desde la fase del proyecto hasta su finalización. También es indispensable tener en cuenta la importancia de cada acción dentro del proceso. Aunque a primera vista parece que la compactación del suelo es la operación más laboriosa en el trabajo, Heise (2003) afirma que la preparación de la tierra y las actividades de montaje y desmontaje del molde son las que consumen más tiempo.

Como el molde constituye el mayor impacto económico y las actividades de montaje y desmontaje tienen peso significativo en la productividad, es evidente la atención que debe darse al diseño del molde y a la secuencia de montaje. Con los moldes montados, comienza la labor de compactación. En ésta se deben considerar los costos, el tiempo y el sitio de trabajo para escoger entre el uso de pisón mecánico o manual.

#### 4.1 Preparación de la tierra

La primera decisión es la elección del yacimiento. Por eso se debe tener en cuenta el tipo de suelo y la distancia a la obra. Después de que el suelo sea extraído y transportado al lugar de trabajo, es necesario pulverizar, o sea, romper los terrones grandes, y dispersarlos para secarse.

Con el suelo pulverizado y seco se realiza el cribado a través de un tamiz de apertura de malla de 4 mm a 8 mm y, cuando sea necesario, la corrección con otros suelos y la adición del aglomerante elegido. La mezcla debe ser preparada en seco, hasta obtener un color uniforme. Luego, lentamente, hay que añadir el agua hasta que alcance el contenido óptimo de humedad para la compactación (figura 15).



Figura 15 - Preparación de la tierra con la adición de cal y cemento y ejemplos de mezcladoras planetarias

## 4.2 Compactación del muro

El molde debe estar nivelado, aplomado y finalmente trabado. Entonces, la tierra es echada en el molde y desparramada hasta formar una capa plana de unos 20 cm de altura. La tierra es compactada con golpes continuos (figura 16). Después de la compactación de la primera capa se debe comprobar de nuevo la plomada y el nivel del molde.



Figura 16 – Acciones para montar y aplomar el molde, desparramar y compactar la tierra

El molde es desmontado una vez que ha finalizado la compactación. Esto debe hacerse con cuidado para evitar daños a la superficie de la pared. Si se necesitan reparaciones menores, se debe aplicar un mortero hecho con el mismo suelo y, por lo menos, el doble de la cantidad de aglomerante utilizado en la mezcla. A continuación, el molde debe ser montado para proseguir la ejecución de la pared de tapia.

## 4.3 Curado de la pared y acabado

El curado de la tapia es una consecuencia del tipo y la cantidad de aglomerantes. La tapia que utiliza la tierra estabilizada con cemento se debe mantener húmeda al menos durante los tres días sucesivos, mojando la pared tres veces al día, como mínimo (figura 17). Cuando se utiliza la cal es importante que no se aplique ningún tipo de material que selle la superficie de la pared durante los treinta días posteriores a la compactación. Terminado el proceso de curado, pueden ser aplicados diversos tipos de acabados sobre la superficie tales como revoque, pintura y repelentes.



Figura 17 – Desmontaje y curado del panel de tapia estabilizada con cemento

## 4.4 Recomendaciones para la ejecución

Compactar la tierra con la humedad óptima es esencial para la calidad de la tapia, por eso no es aconsejable preparar grandes cantidades de mezcla, porque ella tiende a perder naturalmente la humedad. Es importante recordar que las superficies internas de los moldes deben ser limpiadas antes de armarlas y periódicamente deben ser cubiertas con

desmoldante o aceite diesel para evitar que las porciones de la tierra compactada se peguen en el molde y se comprometa así el aspecto visual de la superficie de la tapia.

Durante la actividad de compactación, el trabajador debe, además de controlar la cantidad de la mezcla echada en el molde, hacer el control del grado de compactación y de su humedad<sup>7</sup>. Para comprobar el contenido de humedad, el trabajador debe observar si se desprenden grumos en la parte superior de la pared que se está construyendo con el pisón o si el suelo se adhiere a la base del pisón. La primera situación indica que el suelo está muy seco y la segunda que está demasiado húmedo. El grado de compactación es empíricamente medido por la sensibilidad del trabajador que se rige por el sonido seco que emite el pisón al impactar y que él conoce bien. Ese sonido le indica cuándo la mezcla alcanza el punto ideal.

## 5. CONTROL DE CALIDAD

La calidad de un edificio depende del control efectivo de cada etapa del proceso de producción. Con la tapia no es diferente. Así que además del entrenamiento de los trabajadores, deben ser recolectadas muestras, hacerse pruebas y llenarse fichas de control en cada repetición de la actividad. Recuérdese que los ensayos realizados con muestras preparadas en cilindro de metal normalmente presentan mejores resultados que los que se hacen en los paneles realizados en el sitio. Esto sucede debido a la baja elasticidad del cilindro, que transfiere toda la energía a la compactación a la tierra. De cualquier manera se puede establecer una correlación y trabajar con un factor de seguridad.

Con el uso de suelo adecuado y hecho el control estricto del proceso de producción se esperan valores de  $(5.000 \pm 2.000)$  MPa para el módulo de elasticidad (E), y valores de resistencia a la compresión de  $(3,5 \pm 1,0)$  MPa. Una vez construido el muro se puede comprobar su resistencia a través de una muestra no deformada extraída con un anillo de metal, llamado anillo volumétrico. Estudios recientes han comprobado la posibilidad de determinar los parámetros estructurales con el uso de equipo de ultrasonido.

En Brasil, no existen normas técnicas específicas para el uso de la tapia. Sólo se puede consultar normas de suelo-cemento para la producción de ladrillos y bloques de albañilería, pavimentación de carreteras y pequeñas presas. En 1996, tratando de especificar los materiales y la dosificación para su uso en paredes de suelo-cemento, la ABNT publicó la NBR 13553 (ABNT, 1996). En el ámbito iberoamericano, la Red HABITERRA (1995) publicó las recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de tapia, que trata principalmente la construcción en zonas sísmicas.

Así que para asegurarse la calidad en la construcción de tapias es importante seguir las recomendaciones de este documento y comprobar los resultados obtenidos a través de pruebas estandarizadas.

## 6. CANTIDAD DE MATERIAL

No existe una fórmula sencilla para calcular las cantidades de material y de servicios que pueden cubrir todas las variables de una obra. Luego, hacer una estimación de los costos requiere, además de un diseño detallado, todo el conocimiento sobre el lugar de la construcción y la calificación de la mano de obra. Sin embargo, en una edificación no se aplica la idea de que el todo es la suma de sus partes, es decir, el costo total de la obra de tapia no será la suma del valor de varios paneles, ya que algunos costos se diluyen y otros se multiplican. La tabla 1 indica la media de consumos para la construcción un panel de tapia.

---

<sup>7</sup> La humedad óptima para la compactación se controla mediante una prueba rápida muy sencilla que consiste en tomar una porción de la mezcla, ya húmeda, y comprimirla con la mano: al abrir la mano, la bola formada debe tener la marca de los dedos, y cuando esa bola se deja caer desde una altura de 1 metro, se tiene que romper. Si no es posible hacer la bola con la mano, la humedad es insuficiente, si ésta cae y se mantiene entera, la humedad es excesiva (Neves et al, 2009).

Tabla 1 – Promedios de los suministros y mano de obra para construir una pared de tapia con 1,65 m<sup>3</sup>

Materiales consumidos	Unidad	Cantidad
Tierra arenosa	m <sup>3</sup>	2,6
Cemento Portland	bolsa	4
Materiales usados*		
Tabla contrachapada con cola fenólica, plastificada, de 18 mm	unidad	2
Pieza de madera, sección 30 cm x 2 cm con 2,75 m de largo	unidad	2
Pieza de madera sección 6 cm x 16 cm con 2,15 m de largo	unidad	12
Barra roscada $\phi$ 3/8" de 70 cm de largo	unidad	12
Tuerca y arandela para la barra roscada de $\phi$ 3/8"	unidad	24
Pieza de madera de 10 cm x 10 cm x 20 cm – pisón	unidad	1
Pieza de madera de 20 cm x 20 cm x 20 cm – pisón	unidad	1
Mango de azada – pisón	unidad	2
Aceite diesel	litro	2
Estopa	kg	10
Herramientas básicas (cuchara, carretilla, pala, azada, etc.)	conjunto	1
EPIs (casco, guantes, botas)	conjunto	2
Mano de obra		
Albañil	horas	16
Ayudante	horas	16

(\*) los valores de los artículos deben ser amortizados en 30 paneles

Las cantidades indicadas en la tabla 1 ayudarán a establecer una relación entre este modelo y la propia construcción. Las informaciones se refieren a la construcción de una pared de tapia con 2 m de largo, 30 cm de ancho y 2,75 m de altura (1,65 m<sup>3</sup> de tierra compactada).

Para la construcción se consideró el uso de un molde de tabla contrachapada con cola fenólica y plastificada con espesor de 18 mm, armado con piezas de madera de 6 cm x 16 cm. Las planchas laterales van unidas con barras de acero roscadas de 10 mm de diámetro y tuercas y arandelas de presión. Las extremidades del molde son piezas de madera removibles (figura 18).

Para la preparación del suelo se adiciona 8% de cemento en volumen (un volumen de cemento en 12 partes de tierra). La mezcla se realiza de forma manual sin la ayuda de equipo mecánico, y la compactación es también manual con pisón de madera. Recuérdese que, siempre que sea posible, el uso de equipo mecánico puede mejorar la productividad y el control de calidad de la obra.

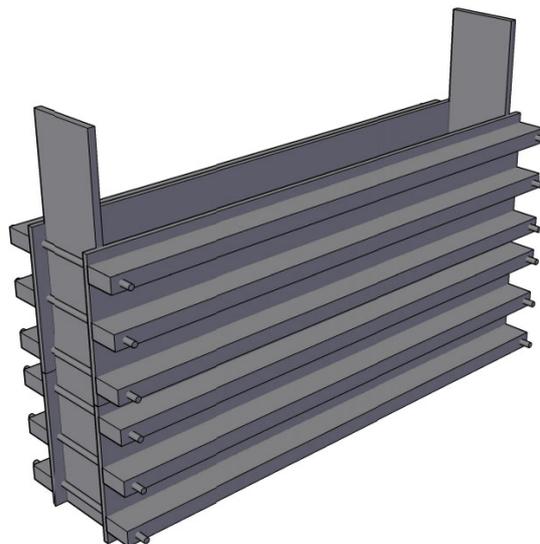


Figura 18 – Ejemplo del molde para panel de tapia

## Bibliografía

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). NBR 13553 *Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural*. Rio de Janeiro: ABNT, 2p.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. THABA. CEPED (1984). *Manual de construção com solo-cimento*. Convênio: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ABCP. São Paulo: ABCP.

DETHIER, Jean (1993). *Arquiteturas de terra – trunfos e potencialidades de um material de construção desconhecido: Europa – Terceiro Mundo – Estados Unidos*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão; Editora Litografia Tejo.

FLORES, Rosa (2000), *Estudio de tapial para la intervención en edificaciones de interés cultural - Brasil*. Terra 2000: 8th international conference on the study and conservation of earthen architecture. Preprints. Torquay, United Kingdom, 11-13 May 2000, pp. 231-237.

HABITERRA (1995). *Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*. La Paz: HABITERRA/CYTED.

HEISE, André Falleiros. (2003) *Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo cimento em taipa de pilão*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (mestrado).

HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). *Efeito dos argilominerais do solo na matéria-prima dos sistemas construtivos com solo cal*. Salvador: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal da Bahia. Tese de Grado de Maestria

LEPSCH, Igo Fernando (2010). *Formação e conservação de solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 2.ed.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>.

OLIVEIRA, Mário Mendonça de; SANTIAGO, Cybèle Celestino (1993). Comportamento de alguns solos tropicais estabilizados com cal. In: *Conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura de terra*, 7. Anais... Silves: DGEMN, p.404-409.

*UNIFORMIZAÇÃO das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional* (1985). Elaborado por BNH-DEPEA, ABCP, CEPED, IPT, TECMOR, COHAB-SP, SEAD-PR, CETEC, CEHAB-RJ. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA.

Las técnicas mixtas dentro de la arquitectura con tierra son múltiples y en todo el mundo están realizadas con diversos recursos naturales y ahora industriales, pero es importante resaltar, que en esta área del conocimiento específico hay mucho por investigar en cada región pues ya que pertenecen a las técnicas con mayor diversidad, especialmente en América Latina.

Como lo dice su nombre, las técnicas mixtas son técnicas que incluyen varios materiales:

- El sistema estructural es realizado con múltiples materiales de origen vegetal o industrial que son el cuerpo o el esqueleto que lo sostiene.
- La tierra o el barro que cumple en algunos de estos sistemas la función de relleno y de revestimiento, potenciando una de las principales propiedades: dar respuesta a condiciones ambientales en un comportamiento acústico y térmico.

En las técnicas mixtas, la tierra funciona como la piel pues regula la temperatura, la humedad y el sonido.

Como cualquiera de los sistemas constructivos, el que realice una obra con estos materiales debe adquirir diversos conocimientos y conocer las propiedades de los materiales a usar, tales como son las maderas o el bambú, las fibras vegetales y las características de las tierras. Adicionalmente debe pensarse en los detalles de ensamblaje, cimentación y detalles constructivos que deben de planearse previamente.

## 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS MIXTAS

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, las técnicas mixtas tienen sus ventajas y desventajas. Entre las ventajas, se pueden destacar:

- Donde se aprovecha y usa la madera y/o el bambú de forma racionalizada, las técnicas mixtas responden con calidad a diversas condiciones ambientales y pueden ser sistemas ecológicos y sostenibles al recurrir a cadenas productivas.
- Por la diversidad de materiales que han sido usados son sistemas flexibles y adaptables en relación a los recursos que requiere.
- En zonas de alta sismicidad, son técnicas que brindan calidad estructural y flexibilidad a la sollicitación de diversos esfuerzos, pudiendo ser técnicas sismo resistentes.
- Las técnicas mixtas propician la colaboración de la comunidad y permiten la participación de los usuarios, promoviendo la mano de obra local.
- Si se aplican con un desarrollo tecnológico, pueden ser de muy bajo costo y aportar a la construcción de comunidades.
- El proceso constructivo permite cubrir inicialmente el área de la construcción. En seguida, se puede construir cimientos, realizar la estructura maestra y las auxiliares, rellenar con barro las estructuras verticales, y así seguir trabajando bajo techo, permitiendo un proceso ágil y seguro, para proteger contra las inclemencias del clima. Son sistemas de muy rápida construcción.
- Dependiendo del sistema elegido y su adaptación a las condiciones ambientales estos sistemas responden con calidad al comportamiento acústico y térmico.
- La mayoría de ellos es sistemas livianos, y por ello facilita la construcción en cualquier tipo de suelo con una baja capacidad portante.

Como desventajas, se puede considerar las siguientes:

- Debido a prejuicios por la facilidad y accesibilidad en la consecución de los materiales, por la mala manutención y por el sistema de mercado de la construcción, son considerados sistemas constructivos “para pobres”.
- Exige una calidad en la realización y construcción de la estructura, con sistemas de amarres, anclajes y ensambles que respondan al material y que sean duraderos, aunque todavía falta desarrollar tecnologías a partir de estas técnicas.
- Se no se usa la madera correctamente puede ser un sistema débil por la presencia de hongos e insectos. Para ello, todo el material vegetal debe ser previamente tratado y preservado para evitar daños.
- Debe de evitarse colocarle cubiertas pesadas pues al ser estructuras livianas les causan efectos negativos al sistema y exige cimentaciones específicas y seguras. Hay que procurar mantener una estructura liviana, pero por la cultura constructiva se promueve llenarlos internamente, haciéndolos pesados y limitándoles una de sus principales características.
- Los incendios pueden estar presentes si no se protege debidamente las estructuras de las fuentes de calor, por ello el revestimiento de la tierra (que es ignífuga), se recomienda en la mayor parte de su revestimiento.
- Creencia de que el mal de Chagas y la presencia del “pito” (*Triatoma infestans*) o de plagas es propiciado por el material. Por ello, se debe evitar que la construcción sirva de hábitat de insectos y se recomienda realizar el revestimiento liso, evitar orificios y especialmente realizar un mantenimiento permanente.

## 2. COMPONENTES DE LAS TÉCNICAS MIXTAS

En general, las técnicas mixtas están compuestas por la estructura maestra, la estructura auxiliar, el relleno y el revestimiento, mostrado en la figura 1 y explicado a continuación.

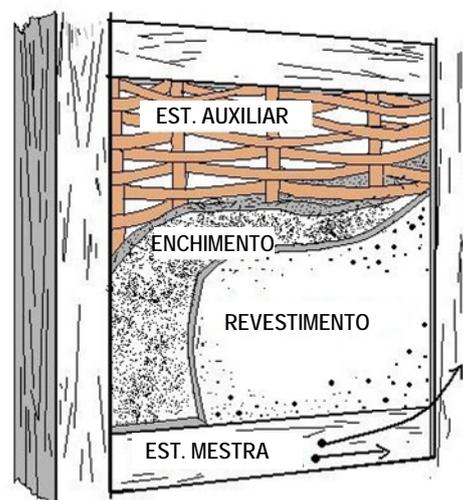


Figura 1 – Componentes de las técnicas mixtas

### 2.1 Estructura maestra

Estructura básica de la construcción, en la cual sus elementos juegan un papel fundamental de equilibrio y resistencia. La estructura maestra está constituida por elementos principales y secundarios.

Elementos principales son las piezas fundamentales de la estructura maestra que confieren a esta última sus características específicas tanto a nivel físico como arquitectónico. Elementos secundarios son las piezas de la estructura maestra que unidas a los elementos principales incrementan y/o modifican las características físicas y/o cambian la apariencia arquitectónica del edificio.

Las estructuras maestras se reagrupan de la siguiente forma:

- Sistemas constructivos en madera o bambú sin o con poca habilitación de sus piezas – como material dominante.
- Sistemas constructivos en madera habilitada como material dominante y que comprenden diversas técnicas desde las de madera maciza de gran sección y pesadas hasta las de secciones pequeñas para estructuras livianas.

Hays y Matuk (2005) consideran que los sistemas constructivos pueden se agrupar en cinco grandes familias, conforme presenta la tabla 1.

Tabla 1 – Clasificación de los sistemas constructivos, según Hays y Matuk (2005)

Denominación	Características principales
Armazón	Uso de madera o bambú sin o con poca habilitación de sus piezas
Entramado pesado	Uso de madera habilitada que presenta una multiplicidad de elementos constructivos cuidadosamente unidos entre sí por ensambles específicos
Entramado liviano	Combinación de elementos sin habilitar con elementos habilitados
Poste y viga	Estructura en vigas y columnas formando pórticos espaciados entre sí y unidos horizontalmente por viguetas o tablones
Prefabricado	Fabricación previa en talleres o <i>in situ</i> de las partes elementales o complejas de la estructura

Existen diferentes términos para denominar las técnicas. Estas varían de acuerdo a los países y regiones; por ejemplo en España, la técnica denominada “tapia mixta” consiste en una combinación de tapia pisada con reforzamiento, siendo otra técnica mixta de característica más pesada, como no está generalizada en el continente americano y no considerada en este capítulo.

## 2.2 Estructura auxiliar

Estructura destinada a sostener y consolidar el relleno en el muro. Se puede emplear diversos materiales y ellos determinan la rigidez o flexibilidad, además de su influencia en la adherencia del relleno. Puede eventualmente jugar un papel en el aislamiento térmico del muro. La durabilidad de estos materiales una vez colocada la tierra debe tenerse en cuenta.

Existen diversas formas de montarse las piezas de la estructura auxiliar (osamenta) que generalmente son determinadas por los materiales disponibles en el lugar (figura 2).

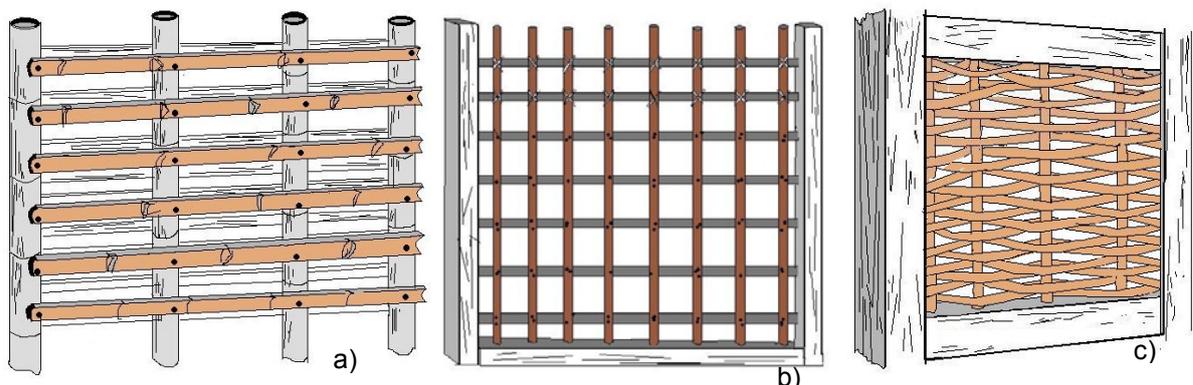


Figura 2 – Ejemplos de estructura auxiliar: a) enrejada en bambú, rala, doble y lateral; b) reticular, estrecha, simple y axial; c) tejida con trama de elementos largos, estrecha y axial

## 2.3 Relleno

El relleno se comporta como una “piel” y, como tal, brinda cierto grado de aislamiento térmico y regula los intercambios higrotérmicos entre el medio exterior y el ambiente interior de la construcción. Este relleno debe funcionar de forma estable con los cambios climáticos

y debe ser compatible con la estructura vegetal. Es muy importante la apariencia y hace parte del factor estético.

El material de relleno es, generalmente, un compuesto de tierra y fibras y, eventualmente, aditivos. La mezcla de estas materias primas permite lograr un material más liviano, permeable al vapor de agua y con características elásticas necesarias para responder a los movimientos de la estructura (dinámica).

### 3. MATERIALES DEL RELLENO

El material principal de relleno es la tierra, y puede ser complementado por otro material, cuando no se presenta adecuada para las técnicas mixtas. Estos materiales son muy diversos y se comentan a continuación.

#### 3.1 Tipo de tierra

Debe seleccionarse el tipo de tierra que se usa para rellenar (embarrar o enlodar) las estructuras, pero, como este material en estos sistemas no tiene la función estructural al cumplir un papel de envoltura o “piel”, la mezcla exige menos selección de los suelos que en otras técnicas de construcción con tierra (adobe, tapia pisada, BTC, etc.), aunque debe de reconocerse y seleccionarse, para ello es necesario conocer las características de granulometría y plasticidad del suelo.

La composición granulométrica de las tierras adecuadas para el relleno de técnicas mixtas debe contener granos finos y un porcentaje de arcilla suficiente para que den cierta plasticidad a la mezcla, una buena adherencia con las fibras y el pegamiento con el entramado.

En términos generales se puede hacer algunas consideraciones sobre la composición granular de la tierra.

**Arena:** es un elemento importante porque es el suelo que mantiene estable la mezcla. De acuerdo a algunas investigaciones se recomienda un mínimo de 50% de arena. Hays y Matuk (2005) sugieren que sean arena fina para brindar un acabado de mejor terminación estética. Existen diferentes tipos de arena, de acuerdo a su procedencia. Se extraen arena de peña o de cantera, de río o de mar, cada una con su propia granulometría y textura diferentes por los componentes minerales y químicos. La arena de mar no es recomendable usarla.

**Limo:** es un elemento de transición entre arenas y arcillas, susceptible de variaciones de volumen en presencia de agua y no tienen mucha cohesión como las arcillas. Un muro con exceso de limo puede degradarse con la humedad. Se sugiere no supere un 30%.

**Arcilla:** es el principal elemento de cohesión del suelo y permite la adherencia de las fibras de la mezcla. Según la naturaleza geológica existen diversos tipos de arcilla, algunos de estos pueden absorber mucha agua, lo que provoca su hinchamiento e inestabilidad. Es natural que en el proceso de secado se presenten rajaduras, pero debe buscarse un equilibrio y por ello cuidar la elección de las arcillas de modo que no permitan la penetración de la humedad, tanto para los muros como para el interior de las estructuras (madera).

Mucha arcilla resquebraja la envoltura cuando se seca; poca arcilla no permite adherirlo a la estructura; por ello debe buscarse óptimamente un suelo con 20% de arcillas. En su defecto se pueden buscar otros elementos que aumenten la cohesión y adherencia de la mezcla.

La plasticidad del suelo es, en general, definido por los límites de Atterberg que son el límite líquido y el límite de plasticidad, con los cuales se calcula el índice de plasticidad.

El límite líquido debe ser menor o igual a 50%. Esto se refiere en lenguaje coloquial, a la cantidad de humedad que debe contener la mezcla al ser elaborada y colocada para revestir las técnicas mixtas. Para poder colocar en las estructuras la mezcla de suelos durante el proceso de envoltura de esta piel, se requiere una humedad permanente y es necesario mantenerla durante algunos días mediante rociado cuando las condiciones climáticas lo ameriten (mucho calor o viento) dependiendo del caso.

Cada tipo de estructura puede exigir diferentes grados de humedad y algunas requieren un estado específico de fluidez, además de algunos materiales que participen en la integración y transición entre la estructura y el revestimiento.

Hays y Matuk (2005) sugieren la selección de tierra con índice de plasticidad<sup>15</sup> entre un 4% a un 11%.

Algunos autores sugieren la siguiente prueba para realizar una selección empírica para cuando se tiene tres o más tipos de tierra disponible:

- Tomar una porción de la tierra seca.
- Juntar agua y hacer una bola con diámetro aproximado de 3 cm.
- Dejar secar las bolas.
- La mejor tierra es la que la bola presenta menos rajadura.

Si la bola se pulveriza esto significa que la tierra es muy arenosa y no debe ser empleada para el relleno del muro con esta técnica mixta.

Si la bola toma forma y permite hacerla maleable y cuando se seca presenta pocas rajaduras conservando su forma puede ser una tierra apta para las técnicas mixtas.

### 3.2 Adiciones

Existen muchos materiales que añadidos a la tierra pueden mejorar y ayudar a conseguir una envoltura que tenga mayor resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad y un mejor acabado estético del relleno de tierra. Entre ellos, se puede citar:

**Cal viva:** en una proporción de un 2% o 3% la cal viva en una tierra arcillosa provoca reducción de su plasticidad y el desmoronamiento de terrones. Evita la contracción del material al secarse y se facilita el trabajo.

**Cal aérea apagada:** es una práctica difundida, puede reaccionar con ciertas arcillas y provocar un efecto puzolánico que vuelve a las arcillas insensibles al agua. La dosificación varía entre el 6% y el 12% y la reacción depende del tipo de arcillas. En mayor porcentaje actúa como aglomerante mejorando tierras que tengan carencia de arcillas.

Para entramados livianos se puede usar mezclas sin tierra arcillosa, como estas recetas tradicionales que buscan un aditivo de mortero con cal:

- arena + estiércol de vaca + cal aérea (1:1:1).
- tierra arenosa + paja + estiércol de vaca + cal aérea (2:1:2:1).

### 3.3 Productos orgánicos

Los productos orgánicos vegetales o animales como grasas, jabones, clara de huevo, tanino, leche, cuajada, colas animales, látex vegetal, etc. son utilizados tradicionalmente. En cada lugar hay recursos que pueden ser útiles y se debe evaluar su accesibilidad y costos. En determinadas regiones abundan algunos, pero en otros lugares los mismos pueden tener costos muy altos, por ello es interesante averiguar tradicionalmente lo que se ha usado en cada lugar para realizar revoques para rellenos y evaluar su conveniencia después de conocer el suelo que se tiene.

<sup>15</sup> Corresponde al valor de la diferencia entre el límite de liquidez e de plasticidad

### 3.4 Fibras

Las fibras pueden desempeñar diversos papeles para el relleno. En general, se emplea fibras para mejorar la capacidad de adherencia de la tierra a la estructura auxiliar, y evitar el agrietamiento de las tierras muy arcillosas al secarse. Además, las fibras pueden mejorar las siguientes propiedades de relleno:

- **Ductilidad** – las fibras mejoran la capacidad de resistencia frente a deformaciones elásticas importantes. Las maderas de la estructura crean movimientos y variaciones en las dimensiones de los elementos y suelen crear grietas en los rellenos.
- **Mejoramiento térmico** – las fibras huecas en el barro producen vacíos que aligeran el material y mejoran sus características de aislante térmico.
- **Mejoramiento estructural** – un relleno liviano ayuda en eventualidades sísmicas.

Entre las fibras obtenidas a partir de biomasa, algunas de las más utilizadas son:

- **Heno** – los diferentes tipos de césped, por sus fibras largas, delgadas y resistentes, brindan una resistencia alta. Las fibras no son huecas y no ocasionan una disminución de densidad. Es adecuado para la técnica de trenzado y para entramados pesados.
- **Paja de trigo** – fibra hueca con un diámetro de cerca 5 mm y es bastante rígida, por ello no se puede mezclar fácil con el barro y es poco manejable, por eso se usa poco. Es una buena alternativa para mezclas con tierras muy activas (por las arcillas), pues por su diámetro y por la elasticidad absorbe la expansividad natural de estas tierras sin crear hinchamiento. Se recomienda para entramados livianos unos 5 kg/m<sup>3</sup>, con fibras de 10 cm a 15 cm de largo.
- **Paja de cebada** – el tallo es menos rígido con resistencia inferior a la del trigo. Es mezclada con el barro por la suavidad, fácil de aplicar.

## 4. REVESTIMIENTO

El relleno corresponde a un material poroso y sensible a la erosión de las lluvias y a las heladas. Por el uso de fibras en la mezcla, la densidad relativamente baja.

Para la protección externa de los rellenos, se usan revestimientos apropiados que pueden ser el revoque (enlucido, repello, estucado, etc.) o el forro (que comprende todo tipo de revestimiento sólido). Los revoques se colocan en estado plástico sobre el relleno y los forros se fijan a la estructura y son independientes del material de relleno.

El revoque debe proporcionar la durabilidad, tener elasticidad y disminuir la permeabilidad de la pared.

Deben realizarse procedimientos para preparar los revoques y lograr que se adhieran a la superficie de contacto y logren un agarre mecánico. Además se deben tener en cuenta la técnica a aplicar y las condiciones ambientales.

Todos los revestimientos requieren algunos pasos previos como la limpieza, mojado, escarificado (textura o grabado), y en algunos casos se pueden usar mallas metálicas (usar metal galvanizado para evitar la oxidación por la humedad o reacción con la cal). Se sugiere prever la compatibilidad de los materiales y usar materiales naturales para el tratamiento de la superficie del revoque.

El revoque a base de tierra cumple con los requisitos de elasticidad y permeabilidad, pero como estos son frágiles a los agentes de erosión, dicha debilidad puede superarse colocándole aglomerantes y aditivos dentro de los límites de compatibilidad entre materiales, tales como cal aérea, pequeñas proporciones de cemento o cal hidráulica, productos estabilizantes, etc. También se puede mejorar la granularidad añadiendo arena tanto fina como gruesa.

Como ejemplo, se tiene la siguiente receta de revoque tradicional:

- Tierra: 2% de arena gruesa; 76% de arena fina; 13% de limo; 9% de arcilla.
- Fibras: 3% en peso, que equivale aproximadamente a 1 parte de fibra para 30 partes de tierra

## 5. EQUIPAMIENTOS Y HERRAMIENTAS

Para los servicios de carpintería son necesarios las siguientes herramientas: sierra, taladro con equipo completo, cepillo, caladora, formón y gubias, serrucho, segueta, alicate, martillo, billamarquín, destornillador, escuadra, hachuela, machete, pinza, y, para el bambú (guadua), segueta de corte especial (figura 3).

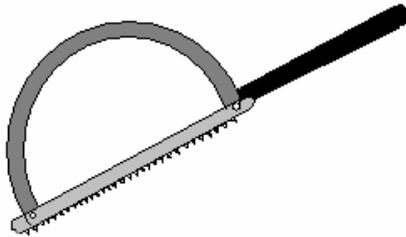


Figura 3 – Segueta de corte de bambú

Para la construcción en general y la albañilería son necesarias las siguientes herramientas: carretilla, pala, cuchara de albañil o palustre, batea, balde, nivel, flexometro, manguera, cizalla, llana, plomada y demás.

## 6. PROCESO DE PRODUCCIÓN

La ubicación y uso de la osamenta son determinantes para el proceso de producción y depende de varios factores, tales como:

- La ubicación de la estructura u osamenta respecto de la estructura maestra.
- El sistema constructivo.
- Los criterios arquitectónicos.
- El tipo de osamenta e influencia sobre la colocación de relleno.

### 6.1 Proceso de rellenos con materiales naturales con tierra

Dependiendo del sistema y de la técnica mixta a usar los rellenos varían. Desde los muy pesados, hasta otros más simples que son como pieles o coberturas, de un ancho máximo de una pulgada (2,5 cm).

Pueden ser colocados de diversas maneras y aplicados como envoltura, llenado, trenzado, balas u horcajadas, embutido, empaste y por proyección mecánica.

Cuando se realizan por embutido (caso de los armazones de tipo lateral y dobles), en los armazones livianos, un relleno a base de tierra tiene el espesor del ancho de la estructura maestra que la recubre, es un relleno pesado y se sugiere que se aliviane. Con osamentas enrejadas al ser doble la reja (caso del *pau a pique* - Brasil) el relleno queda dentro del enrejado y es más estable, estando mejor armado, responde mejor a los esfuerzos dinámicos (sismos y vientos).

En el caso de estructuras maestras con entramados livianos, que son sistemas con elementos mas delgados, los rellenos que se traducen en masa permiten el uso de muy poco material, siendo este relleno un empaste que se sostiene por los entramados vegetales que lo mantienen en su lugar y se adhieren en las caras; por ello el relleno y revestimiento requiere ser elaborado con fibras que le den cuerpo, aunque sea una capa delgada ya que puede fragilizarse y caer por los esfuerzos dinámicos.

La mayoría de las mezclas para relleno está compuesta por tierra, agua y fibras, material que cuando se prepara, en su inicio es mas pesado, mientras de evapora el liquido. La

mezcla con fibras colabora en la adherencia y sostén de los rellenos. Estos deben prepararse previamente y algunas mezclas exigen dejarlas reposar o popularmente dejarlos “durmiendo” con el barro o la arcilla, para que el barro o arcilla se expanda y las fibras se flexibilicen, sean maleables y se integren después integralmente a la estructura.

Estas pueden ser fibras como el tamo de trigo, o diversos pastos, que se cortan entre 5 cm y 10 cm. En el caso de sistemas como la osamenta rellena con “lulos” o rollos, que tiene fibras mucho más largas, el trabajo exige una preparación previa del pegamento, que son las mismas arcillas casi en estado líquido; pero en general, para los rellenos se sugiere usar fibras cortas.

## 6.2 Proceso de revestimientos

La preparación y proceso técnico para la colocación de los revestimientos exigen controlar y regular las condiciones ambientales. Como los revestimientos tienen como mínimo un índice de humedad del 50%, previamente todos los componentes a los que se adhiere la mezcla (madera, guadua, esterilla o relleno) deben ser humedecidos durante todo el proceso, para facilitar la adherencia y evitar contracciones y problemas en su consolidación. Dependiendo el tipo de revestimiento se sugiere colocar varias protecciones o pieles, preferiblemente colocar entre una a tres capas, cada capa con diferente composición y espesor.

La primera dependiendo del sistema puede ser entre 2,0 cm y 2,5 cm. La segunda no debe sobrepasar 1,0 cm y la última que debe ser casi líquida como una lechada, tapa las fisuras y micro fisuras, brindando el acabado final y en ella puede colocarse un impermeabilizante natural y el color (mineral si se desea) como acabado. Para la preparación de la última capa del revestimiento, se usan fibras naturales cortas que aportan una textura fina y mantienen la humedad en el proceso de secado, disminuyendo la retracción.

En el caso de la primera capa, la mezcla puede contener más fibras y ellas deben ser de mayor tamaño para que se sujete en las estructuras auxiliar u osamenta. Este suelo debe contener un porcentaje de partículas arcillosas ( $\geq 50\%$ ), previamente disueltas y una cantidad de partículas finas como la arena y limos que permitan la estabilidad. En caso de carencia de arcillas, existen estabilizantes que pueden sustituir su ausencia, pero es necesario realizar previamente el ensayo de granulometría del suelo local.

## 7. ACTIVIDADES ESPECIALES Y TEMAS VULNERABLES EN LAS TÉCNICAS MIXTAS

Las técnicas mixtas, precisamente porque se caracterizan principalmente por la presencia significativa de más de un material, no sólo la tierra, resultan en mayor complejidad y vulnerabilidad. Los diferentes materiales, con sus respectivas peculiaridades, requieren cuidados especiales con las interfaces, la impermeabilización de las cimentaciones y la conservación de los componentes más frágiles, como las fibras vegetales. A continuación se presenta algunas consideraciones sobre este tema.

### 7.1 La cimentación y sobre cimentación

Esta actividad constructiva dependiendo del sistema a usar, exige planificación y estudio previo de acuerdo a las condiciones y uso del material. Las estructuras maestras y portantes no deben exponerse de forma directa a la humedad y para ellos el diseño debe tomar las precauciones para que estas técnicas mixtas estén protegidas y transmitan las cargas a su cimentación.

Existen varias formas de construir técnicamente cada alternativa. Entre ellos:

- Sistemas hincados, colocados y apisonados. Esto significa que la construcción debe distanciarse del suelo a través de pilotes, bases, cimientos ciclópeos que sobresalgan del terreno o con algún sistema que distancie la construcción como mínimo 20 cm del nivel del piso original y especialmente de la humedad directa.
- Sistemas de cimientos que permiten insertar la estructura dentro de un elemento auxiliar estructural más resistentes como es el caso de entubar las maderas colocadas dentro de

vasos de otros materiales impermeables que la protejan la humedad y escurran el agua, pero que no concentren la condensación (figura 4).

- Otra forma es colocar las estructuras en el sobrecimiento, con una distancia suficiente del piso original a través de sistemas con apoyos para cada estructura de la técnica mixta que llegue hasta el piso. Estos apoyos o bases pueden ser en concreto o piedra que permitan fijar ya sean platinas, tubos, tipo zapata con anclajes, o elementos que pueden ser prefabricados o contruidos in situ. Se debe estudiar la mejor forma de fijar estos elementos a las estructuras maestras y/o paneles (pensando en la unidad estructural).

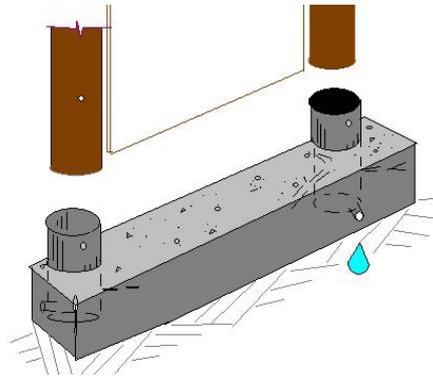


Figura 4 – Sistema de anclaje de la pared en la cimentación

Al realizar la excavación, es necesario drenar las aguas que pudiesen afectar de forma directa el piso de la construcción y sobre una base firme o resistente se colocan los elementos de protección e impermeables. En la obra, se debe prever dirigir las aguas fuera de la influencia o que afecten la construcción.

## 7.2 Compatibilidad de los materiales

Otro tema importante es la compatibilidad de materiales, al igual que los empates o ensambles entre diversos materiales. Es muy importante estudiar y conocer el comportamiento entre los elementos a aparear o unir, se debe realizar la debida protección y recubrimiento a la madera. Por sus características vegetales, al ser un elemento vivo y natural, estas estructuras siempre estarán presentando cambios con las condiciones ambientales del lugar, por lo cual es recomendable prever la unión entre la madera, el bambú y la mezcla de tierra, y para ello se sugiere siempre recubrir la madera o guadua con elementos que ayuden en esta transición tal como mallas metálicas tipo gallinero, clavos o puntillas, papel, alambres o tapas de bebidas y e este modo el metal u otro material sirve de agarre y no expulsa la tierra o el revestimiento, esto debe de realizarse en cualquier lugar que este recubriéndose las estructuras de madera o bambú.

## 7.3 Preservación de los materiales vegetales

La madera, la guadua o bambú, y las cañas son recursos renovables y se pueden cultivar indefinidamente, y son materiales capaces de resistir por igual a la tracción y compresión paralela de las fibras.

Al ser materiales naturales y vegetales, son elementos que se mantienen vivos en el tiempo y por lo tanto son vulnerables.

Para el buen uso y la durabilidad debe realizarse un proceso de secado natural o artificial, cuyo objetivo es eliminar el agua y dejarla entre un 14% a 20%. Estos materiales pueden ser atacados biológicamente por los insectos, hongos y perforadores marinos y no biológicos como el fuego, el desgaste mecánico, la acción de la intemperie y los productos químicos. Todos ellos afectan y le pueden disminuir su calidad y durabilidad.

Las maderas se clasifican por la resistencia y densidad y las hay de mayor a menor resistencia; su uso se ejecuta de acuerdo a sus propiedades y a las características ambientales de cada lugar. Para preservar la madera se usan compuestos químicos por tratamientos a presión y con brocha, pulverización, inmersión y baños calientes y fríos.

Para el uso de gramíneas como son los bambúes y las cañas, existen diversos mecanismos de tratamiento, pero uno de los más importantes es producirla y cortarla técnicamente, usarlas en su etapa madura y realizar tratamientos de bajo impacto ambiental (inmunización con bórax y sulfato de cobre, por ejemplo).

### **Bibliografía recomendada**

ANGEL OSPINA, C.; SANCHEZ GAMA, C. (1990). *El bahareque en la región del Caribe*. Módulos 1 a 9. Bogotá: FIC; SENA.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2001). Comportamiento sísmico del bahareque de guadua y madera. *Boletín Técnico No 56*. Bogotá: AIS.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1998). NSR 98 – Diseño y construcción sismo resistente. Título E. *Construcciones de vivienda de uno y dos pisos de bahareque encementado de madera y guadua*. Bogotá: AIS.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (s.d). *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*. Bogotá: AIS. Disponible en: [www.col.ops-oms.org/desastres/docs/bahareque/MANUAL\\_BAHAREQUE.pdf](http://www.col.ops-oms.org/desastres/docs/bahareque/MANUAL_BAHAREQUE.pdf)

HAYS, Alain; MATUK, Silvia (2005). Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra. In: *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABYTED/CYTED. p. 121-350.

HAYS, Alain; MATUK, Silvia; VITOUX, François (1986). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Lima: Craterre América Latina.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (2006, 2007):

Nº 5300: *Cosecha y poscosecha de guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5301: *Preservación y secado de la guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5405: *Propagación vegetativa de guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5407: *Uniones estructurales con guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5525: *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

NTC. *Producción, uso y aplicación de la guadua Angustifolia Kunth como material de construcción*. Bogotá: ICONTEC.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. *Cartilla de construcción con madera*, 1980; *Manual de diseño para maderas*, 1984; *Manual del grupo andino para la preservación de la madera*, 1988. Lima: Proyecto PADT- REFORT. JUNAC.

MARUSSI CASTELLAN, Ferruccio (1989). *Antecedentes históricos de la quincha*. Documento técnico Lima: ININVI.

PROTERRA (2003). *TÉCNICAS mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABITED/CYTED.

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (1987). *Quincha prefabricada, fabricación y construcción. Manual técnico*. Lima: ININVI; SENCICO.

Se denomina revestimiento al proceso mediante el cual se aplica una capa externa a las superficies edificadas con tierra con la finalidad de protegerlas de los agentes ambientales y de posibles daños físicos naturales o provocados por la actividad humana. En cada región la tradición ha desarrollado combinaciones de materiales y técnicas constructivas acordes con los recursos disponibles, pero en general, las protecciones superficiales que resultan compatibles con las estructuras de tierra se pueden agrupar en dos categorías: las de barro y las de cal y arena.

## 1. LA TÉCNICA

La aplicación de superficies protectoras parte del principio del aprovechamiento de la capacidad de adherencia entre los materiales porosos y de la necesidad de generar capas más resistentes que los sistemas constructivos básicos, pero sin que éstos pierdan su capacidad para intercambiar aire y vapor de agua con el medio ambiente que los rodea.

## 2. PROCESO DE PRODUCCIÓN

Tanto los revestimientos de barro crudo como las de mezclas de cal y arena se realizan mediante una superposición de capas en estado plástico que varían en su espesor y proporción relativa de sus ingredientes y que al fraguar, quedan adheridas a pisos, muros o cubiertas. El principio general consiste en la aplicación de por lo menos dos capas superpuestas. La primera posee 2 cm a 3 cm de espesor y se realiza con componentes de grano grueso, y la segunda capa de pocos milímetros de grosor se elabora con ingredientes de finas dimensiones granulares.

Las mezclas que se han de aplicar deben tener un periodo de reposo previo para que sus ingredientes incrementen su adherencia. Sin embargo, para que los asistentes al taller adquieran la experiencia tanto de la preparación como la ejecución de los revestimientos, es conveniente contar con un muro de trabajo (figura 1) y mezclas realizadas previamente, además de materias primas para la elaboración de nuevas mezclas



Figura 1 – Muro de trabajo para los talleres (a la izquierda) y limpieza del edificio antes de aplicar el revoque

La preparación de las mezclas de barro consiste en el tamizado del suelo natural, la adición en seco de materiales estabilizantes (paja, estiércol, aserrín, cal, yeso, arena, etc.), el humedecimiento progresivo, el batido y el reposo (figura 2). La tierra que se utiliza para el revoque inicial ha de pasar por una criba de 5mm y las fibras pueden medir entre 5 cm y 10 cm de longitud. En cambio, la tierra para el revoque final ha de pasar por un tamiz de 2 mm y las fibras no deberán medir más de 3 cm de largo.



Figura 2 – Tamizado de la tierra y mezcla de la paja con la tierra

El proceso de revestimiento inicia por la limpieza del polvo de la superficie base (figura 1), su humedecimiento, la aplicación a mano o con cuchara de albañil (figura 3) y el secado.



Figura 3 – Mezcla para revoque inicial de barro; aplicación del revoque a mano; aplicación del revoque con cuchara

La segunda capa requiere también del humedecimiento previo del estrato precedente, pero se aplica con un espesor de pocos milímetros con una llana, hasta lograr una superficie lisa (figura 4). Para los revestimientos de barro es posible prescindir de estas herramientas aplicando el material con las manos.



Figura 4 - Mezcla para revoque final de barro y su aplicación con la llana

Por su parte, el mortero de cal y arena también se inicia con el tamizado de la arena, el agregado de cal (en polvo o en pasta), el humedecimiento progresivo, el batido y el reposo (figura 5). La arena para la capa inicial ha de pasar por una criba de 5 mm y se mezclará en una proporción de 3 volúmenes de arena por 1 volumen de cal. En cambio, la arena para la capa final ha de pasar por un tamiz de 2 mm y se mezclará en una proporción de 2 volúmenes de arena por 1 volumen de cal.



Figura 5 – Mortero de cal y arena: agregado de cal en pasta y humedecimiento progresivo de la mezcla

Al igual que para el revestimiento con barro, el proceso inicia por la limpieza del polvo de la superficie base, su humedecimiento, la aplicación con cuchara de albañil y el secado.

La segunda capa requiere también del humedecimiento previo del estrato precedente, pero se aplica con un espesor de pocos milímetros con una llana, hasta lograr una superficie lisa (figura 6).



Figura 6 – Humectación previa; aplicación de la mezcla con cuchara de albañil; revoque final con la mezcla de cal y arena aplicado con llana

### 3. PINTURA A LA CAL

Para la protección final de la arquitectura de tierra resulta de gran utilidad el uso de la pintura a la cal. Esta sustancia se puede aplicar directamente sobre las superficies de tierra o sobre los revoques, y en ambos casos presenta notables cualidades protectoras de la lluvia y de la abrasión física. Sin embargo, a diferencia de las pinturas comerciales que se fabrican a partir de polímeros vinílicos o acrílicos, la pintura a la cal no sella las superficies con lo que se conserva el intercambio natural de aire y vapor de agua de las estructuras con el medio ambiente. Además, la alcalinidad de la cal resulta muy eficaz para eliminar hongos y bacterias patógenas e inhibir el desarrollo de colonias de insectos en las estructuras.

La base de esta mezcla es el hidróxido de calcio que, con un adecuado nivel de hidratación se mezcla con pigmentos minerales. Una vez que esta mezcla se aplica en los muros los pigmentos conforman una estructura cristalina que al ponerse en contacto con el aire absorbe  $\text{CO}_2$  y pierde agua, transformándose en carbonato de calcio [ $\text{CaCO}_3$ ] que es una sustancia insoluble en agua. De este modo se obtienen superficies que pueden mantener su color y resistencia durante siglos y que además conservan las cualidades de control higrotérmico que caracteriza a la edificación con tierra.

Al igual que para el caso de las mezclas de cal para los revoques, es muy importante la selección adecuada de la materia prima. Lo ideal es poder contar con óxido de calcio [ $\text{CaO}$ ] ya sea triturado o pulverizado. Si no es posible obtener este producto habrá que utilizar entonces cal parcialmente hidratada que normalmente se comercializa en sacos de 25 kg. En ambos casos se debe tener especial cuidado en que la materia prima tenga pocos días de haber sido fabricada pues su exposición al medio ambiente altera sus cualidades adhesivas.

Una vez que se tiene el óxido de calcio o la cal parcialmente hidratada se debe colocar en recipientes abiertos y resistentes al calor, para que se le agregue agua con mucho cuidado. Este proceso que se conoce como el “apagado de la cal” convierte la materia prima en hidróxido de calcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] o “pasta de cal”, sustancia que presenta la gran ventaja de conservar e incluso mejorar sus propiedades, siempre que se mantenga bajo el agua.

En algunas regiones se conserva la tradición del uso de extractos de cactáceas como medio para disolución de la cal, con lo cual se obtienen mezclas más fáciles de trabajar y con mayor adherencia. Los componentes esenciales de los extractos de cactáceas son los mucílagos, sustancias que tienen la cualidad de retener el agua. Esta propiedad es la que permite que las cactáceas sobrevivan sin este vital líquido por mucho tiempo, pero que para el caso de los revoques y pinturas de cal, ayudan a conseguir un secado lento y uniforme el cual incrementa notablemente su resistencia final. Para extraer el mucílago de los cactus basta con cortarlos y dejarlos macerar en agua (figura 7). Dependiendo de la temperatura ambiental y de la especie de cactácea que se utiliza, este proceso puede tardar desde un día hasta dos o tres semanas, por lo que es necesario tomar previsiones al respecto.



Figura 7 – Macerado de nopal. Agregación y mezcla del mucílago en una cubeta llena hasta la mitad con pasta de cal

Aunque existen opiniones diversas basadas en las tradiciones locales, en general se aconseja dejar macerando los cactus hasta el momento en que empiezan a perder su olor fresco, síntoma de que inician su fermentación. El producto se pasa por un colador para obtener una emulsión limpia del mucílago en el agua. La densidad de esta sustancia varía en función de la especie de cactácea utilizada, de su fecha de corte, de la temperatura ambiente y de otros factores ambientales por lo que a veces será necesario agregarle más agua, hasta que adquiera una consistencia parecida a una leche espesa.

Evidentemente la inexistencia de cactus no es un impedimento para la elaboración de la pintura ya que en todo el mundo se ha pintado con cal desde hace siglos disolviendo el hidróxido de calcio en agua.

Para dar color a la pintura de cal, por separado se disuelve el polvo del pigmento mineral en una pequeña cantidad de agua y se bate perfectamente para deshacer todos los grumos que se presenten (figura 8). Los pigmentos minerales son óxidos metálicos (generalmente de hierro) que en la actualidad se comercializan como “tierras” o “colores” para cemento.



Figura 8 – Hidratación de pigmentos para la pintura y su mezcla a la cal

Debido a que no es fácil conseguir una cromática uniforme cada vez que se prepara la pintura, es necesario calcular el volumen total requerido y realizar una sola mezcla en los recipientes de la capacidad necesaria. También es necesario tener en cuenta que la tonalidad del color se aclara notablemente al momento del secado, por lo que antes de pintar grandes superficies se deben hacer pruebas a pequeña escala.

En algunos lugares se acostumbra agregar a la pintura sal de cocina o bien sulfato de aluminio (alumbre), con el fin de conferirle mayor adherencia (figura 9). Es suficiente con una cucharada sopera para cada cubeta de 20 litros de pintura que se prepare.

Al igual que sucede con los revoques, la aplicación de la pintura se debe realizar sobre una superficie previamente humedecida. Además se debe buscar la manera de retardar su secado el mayor tiempo posible. Conviene seleccionar las fachadas a pintar en función de las horas en las que no reciben asoleamiento directo y en caso de que esto sea difícil, colocar algún tipo de sombra para controlar el secado.



Figura 9 – Agregado de sal a la cal pigmentada y aplicación de la pintura en la pared preparada

### Bibliografía recomendada

- AZCONEGUI M., Francisco; MARTÍN S., Mónica; CASCOS F., Pedro Pablo; DÍAZ N., Alberto (1998). *Guía práctica de la cal y el estuco*. León: Centro de los Oficios de León.
- CORNERSTONES COMMUNITY PARTNERSHIPS (2006). *Adobe conservation*. Santa Fe, New Mexico: Sunstone.
- GÁRATE, Ignacio (2002). *Artes de la cal*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- GARRISON, James W.; RUFFNER, E. F. (editores) (1983). *Adobe: practical and technical aspects of adobe conservation*. Tucson: Heritage Foundation of Arizona.
- GUERRERO, Luis (1994). *Arquitectura de tierra en México*. México: UAM-Azcapotzalco.
- GUERRERO, Luis (2005) Lime in the construction and restoration of the Mexican architectural heritage. In: *Lime: technical advances for conservation and case studies*. Santiago de Chile: Consejo de Monumentos Nacionales.
- GUERRERO, Luis (2006). Aplicación de la cal en estructuras tradicionales de tierra. En: *Anuario de Investigación sobre Diseño Sustentable*. Tampico: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- GUERRERO, Luis (2007). Tierra y cal. In: *Anuario de Estudios de Arquitectura 2007*. México: UAM- Azcapotzalco.
- HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). *Efeito dos argilominerais do solo na matéria-prima dos sistemas construtivos com solo cal*. Salvador: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal da Bahia. Tese de Grado de Maestria.
- MAGALONI, Diana (1995). Técnicas de la pintura mural en Mesoamérica. En: *Arqueología Mexicana*. México: Ed. CNCA-Raíces.
- MARTÍNEZ, Wilfredo et al (2007). Estabilización volumétrica con yeso y cal de arcillas montmorilloníticas para empleo en adobes en Michoacán, México. In: *5° Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Memórias*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- OLGUÍN, Mario A. (2008). *Comportamiento físico-mecánico de piezas de arcilla dopadas, estabilizadas con minerales como cal y/o yeso*. Morelia: UMSNH. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça (2005). O solo-cal: uma visão histórica e documental. En: *Terra e Seminário IV SIACOT – III ATP. Memórias*. Monsaraz: *Argumentum*; Escola Superior Gallaecia. p. 106-109.
- PAZ, Pedro (coord.) (2001). *Construcción práctica por Antonio Torres Torija*. México: INAH.
- WARREN, John (1999). *Conservation of earth structures*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [www.calhidra.com.mx/index1.html](http://www.calhidra.com.mx/index1.html)
- [www.ambar-minera.com.ar/cal\\_s.html](http://www.ambar-minera.com.ar/cal_s.html)

## Currículo de los autores

---

**Célia Neves**, ingeniera civil, maestra en Ingeniería Ambiental Urbana, coordinadora de la Rede TerraBrasil, miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, consultora, investigadora jubilada del CEPED – *Centro de Pesquisas e Desenvolvimento*, Brasil. [cneves2012@gmail.com](mailto:cneves2012@gmail.com)

**Obede Borges Faria**, ingeniero civil; maestro en Arquitectura; doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental; miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, presidente del *Conselho Municipal de Habitação de Bauru*; profesor de la *Faculdade de Engenharia de Bauru/UNESP*. Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01; 17033-360 Bauru-SP – Brasil Tel: (55 14) 9792 5525 [obede@feb.unesp.br](mailto:obede@feb.unesp.br) y [obede.faria@gmail.com](mailto:obede.faria@gmail.com)

**Ana Paula Milani**, ingeniera civil, maestro y doctora en Ingeniería Agrícola con destaque en construcciones y ambiencia, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Rede TerraBrasil, profesora del *Departamento de Estruturas e Construção Civil* de la *Universidade Federal de Mato Grosso do Sul*. Cidade Universitária 79070-900 Campo Grande-MS Brasil Tel (55 67) 3345 7478 [anamilani@dec.ufms.br](mailto:anamilani@dec.ufms.br); [zanapaula@hotmail.com](mailto:zanapaula@hotmail.com)

**André Falleiros Heise**, arquitecto, maestro en Ingeniería Civil por la Unicamp, asociado del ABCterra, profesor de Diseño de la UNIBAN, dueño de la HEISE arquitetura. Tel: (55 19) 8144 2911 [andre@abcterra.com.br](mailto:andre@abcterra.com.br)

**Fernando Cesar Negri Minto**, arquitecto, maestro en Arquitectura y Urbanismo por la FAUUSP, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Rede TerraBrasil, asociado del ABCterra, profesor de Diseño de la UNIBAN y de Industrialización de la Construcción en la PUCCamp. Asociado de la asesoría técnica USINActah. Tel. (5511) 8609 5177; [fernandonegrini@usp.br](mailto:fernandonegrini@usp.br)

**Lucía Esperanza Garzón**, arquitecta, con 20 años de experiencia en arquitectura y construcción con tierra y materiales naturales, miembro de la Rede Iberoamericana PROTERRA. Diseña, construye, investiga y transfiere tecnologías con materiales no convencionales. Coordina diversos programas de formación y promueve diplomados e seminarios internacionales sobre tecnologías sostenibles con tierra. Participa de conferencias, eventos y talleres internacionales en EEUU, México, Portugal, España, Brasil, Perú, Chile, EL Salvador, Venezuela, Costa Rica, Uruguay entre otros. Av. Calle 24, n° 82-51. Modelia, Bogotá, Colombia. Tel: (571) 263 5342.; [luciagarzon@gmail.com](mailto:luciagarzon@gmail.com)

**Luis Fernando Guerrero Baca**, arquitecto, maestro en Arquitectura, doctor en Diseño con especialidad en Conservación Patrimonial. Coordinador de la Red Iberoamericana PROTERRA. Coordinador del Comité Científico de Tierra del ICOMOS–Mexicano. Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Calle Grieta 165. Jardines del Pedregal. México D.F. c.c. 01900. Tel: (5255) 56527731, [coordinacionprotterra@gmail.com](mailto:coordinacionprotterra@gmail.com) [luisfg1960@yahoo.es](mailto:luisfg1960@yahoo.es)

**Marcio Vieira Hoffmann**, arquitecto y urbanista, maestro en Preservación y Restauración de Patrimonios Históricos por la FAUFBA, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la Rede TerraBrasil, socio del *FATO arquitetura Ltda*. Piracicaba, SP, Brasil. Tel: (5519) 34331573 [www.fatoarquitetura.com.br](http://www.fatoarquitetura.com.br), [marcio@fatoarquitetura.com.br](mailto:marcio@fatoarquitetura.com.br)

**Ramón Aguirre**, arquitecto, especialista en bóvedas y cubiertas livianas de bajo costo, director técnico de Arcilla y Arquitectura, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA. Instructor de talleres en México, Cuba, Argentina, España, Guatemala, Uruguay y Colombia. Actúa ha más de 18 años en investigación y construcción de bóvedas mexicanas. Oaxaca, México. [www.arcillayararquitectura.com](http://www.arcillayararquitectura.com) [aguirre30@msn.com](mailto:aguirre30@msn.com)

**Rodolfo Rotondaro**, arquitecto, miembro del Proyecto de Investigación PROTERRA/HABYTED/CYTED y de la Red Iberoamericana PROTERRA, investigador y consultor en tecnología y arquitectura de tierra, profesor de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo/UBA. Pabellón III, 4to piso, Ciudad Universitaria C1428EHA, Buenos Aires, Argentina. Tel: (54 11) 45740398 E-mail: [rotondarq@telecentro.com.ar](mailto:rotondarq@telecentro.com.ar); [rodolforotondaro@gmail.com](mailto:rodolforotondaro@gmail.com)

## Currículo de los colaboradores

---

**Andrés Nogués**, arquitecto, director y jefe de proyectos del estudio LAND arquitectos, miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA desde 2004. Docente de la Facultad de Arquitectura de la UDELAR, Montevideo, Uruguay desde 1986. Expositor en el III SIACOT, Tercer Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, en San Miguel de Tucumán, Argentina 2004. Conferencia “Arquitectura de Tierra: 3 Proyectos – 5 Técnicas”, Colegio de Arquitectos de Mendoza, Argentina 2005. Actúa hace más de 14 años en investigación diseño y construcción de obras con diferentes técnicas de tierra, adobe, fajina, BTC. [arqnogues@gmail.com](mailto:arqnogues@gmail.com) [www.landarquitectos.com.uy](http://www.landarquitectos.com.uy)

**Graciela María Viñuales**, Buenos Aires, 1940. Arquitecta, Especializada en Restauración, Doctora en Arquitectura. Miembro de Proterra. Asesora Emérita de la Comisión Nacional de Monumentos. Investigadora Principal del Consejo Nacional de Investigaciones. Vicedirectora del CEDODAL, Centro de Documentación de Arquitectura Latinoamericana. Montevideo 1053. 3º B. C1019ABU Buenos Aires. Argentina. T (54-11) 4811-9249 [gramavi@upo.es](mailto:gramavi@upo.es) [www.cedodal.com](http://www.cedodal.com)

**Juan Trabanino**, guatemalteco, arquitecto especialista en construcción con tierra (DSA-Terre, CRATerre-ENSAG) y artista. Capacitador para autoconstructores con tierra y materiales naturales en Francia y Guatemala. Miembro de la Red Iberoamericana PROTERRA y de la red Mesoameri-Kaab. Miembro y fundador de la asociación ARCOLAN sin fines de lucro para la divulgación y la investigación de la arquitectura y construcción con tierra. Organizador del 1er ciclo de conferencias en arquitectura de tierra en la FAOP (Fundación de Arte de Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil) mayo 2010. [juantrabanino@gmail.com](mailto:juantrabanino@gmail.com) <http://juantrababook.blogspot.com/>



Las labores que actualmente ejecuta la Red Iberoamericana PROTERRA se agrupan en cuatro líneas de acción: Investigación, Enseñanza Formal, Desarrollo de Talleres Prácticos y Difusión. La diversidad en la formación, actuación profesional y personalidad propia de cada uno de los miembros de la Red, ha incidido en la manera en que se vincula con estas líneas de acción.

Con el fin de estructurar de manera lógica la interrelación de estas líneas y sobre todo, de hacerlas accesibles para un amplio nivel de lectores, se planteó la idea de generar un texto colectivo en el que algunos miembros de la Red apoyaran sintetizaran su experiencia en temas específicos de la construcción. Así surgió "Técnicas de Construcción con Tierra".

El objetivo central con el que se diseñó el presente texto obedecía a la necesidad del establecimiento de unas normas que deberían cumplir los talleres que desarrollados con el aval de la Red Iberoamericana PROTERRA, a fin de contar con estándares de calidad compartidos. Sin embargo, el presente texto ha ido más allá. La profundidad de los temas tratados ligada a la claridad pedagógica de su redacción hacen de este documento un complemento para la docencia y práctica de la edificación con tierra en un ámbito de mayor amplitud.

Se trata de un texto dirigido a las personas que se habrán de hacer cargo del desarrollo de talleres de transferencia de tecnología, pero también puede resultar de gran utilidad para estudiantes, profesores, constructores, investigadores y personal que labora en instituciones de apoyo a la edificación para quienes se convierte en una guía para su práctica cotidiana. Con esta publicación la Red Iberoamericana PROTERRA da un paso más en el cumplimiento de sus objetivos, como puente entre los diversos profesionales involucrados con la arquitectura y construcción con tierra y la sociedad a la que están destinados a servir.

**Luis Fernando Guerrero Baca**

Coordinador de la Red Iberoamericana PROTERRA



ISBN 978-85-64472-01-3



9 788564 472013