

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**UNAM**



**“MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA:  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES”**

**NUBIA CÁROL VALLES MOLINA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE TECNOLOGÍA**

2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**UNAM**



**TÍTULO:**

**“MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA:  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA PRESENTA

**NUBIA CÁROL VALLES MOLINA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE TECNOLOGÍA**

2010



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

**DIRECTOR DE TESIS:**

M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz

**SINODALES:**

Dr. Arq. Luis Fernando Guerrero Baca

M. Arq. Francisco Reyna Gómez

Dr. Arq. Miguel Arzate Pérez

M. en Dis. Jan Van Rosmalen Jansen

**AGRADECIMIENTOS**

**Agradezco infinitamente a Dios que me da la vida y me permite gozarla.**

**Esta tesis es producto de grandes esfuerzos logrados gracias al apoyo de tantas personas.**

**Primeramente de mi familia, especialmente de mis padres que sin importar cuán lejos he estado de ellos, han apoyado mis deseos de superación incondicionalmente. Gracias a mis maestros, asesores, compañeros de la maestría, amigos y a todos aquellos que se cruzaron en mi camino ayudándome cuando los necesité.**

<b>ÍNDICE</b>	
	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>IV</b>
<b>I. MARCO TEÓRICO DE LOS MUROS DE TIERRA COMPACTADA</b>	<b>1</b>
A. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN	1
B. ANTECEDENTES HISTÓRICOS GLOBALES	3
C. CENTROS DE INVESTIGACIÓN	6
D. UBICACIÓN ACTUAL	7
<b>II. EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y CONSIDERACIONES ESPECIALES</b>	<b>10</b>
A. EL PROCESO CONSTRUCTIVO	10
B. CONSIDERACIONES ESPECIALES	24
<b>III. PROPIEDADES DE LOS MUROS DE TIERRA COMPACTADA</b>	<b>25</b>
A. PROPIEDADES MECÁNICAS	25
B. PROPIEDADES ACÚSTICAS	29
C. PROPIEDADES TÉRMICAS	30
D. PROPIEDADES ECONÓMICAS	33
E. PROPIEDADES AMBIENTALES	36
F. PROPIEDADES ESTÉTICAS	38
<b>IV. PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	<b>43</b>
A. ABSORCIÓN CAPILAR	43
B. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	60
<b>V. APLICACIONES CONTEMPORÁNEAS</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>69</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>74</b>
1. FOTOGRAFÍAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TAPIA	74
2. TIPOS DE SUELOS	79
3. ENCUESTA EN CALPAN PUEBLA	80
4. ANÁLISIS DE COSTOS DE MUROS DE TIERRA COMPACTADA	83

## INTRODUCCIÓN

*“Muros de tierra compactada-Tapia: caracterización sus propiedades”* es una tesis lograda con gran entusiasmo para difundir en México la ancestral técnica de construcción de muros con tierra compactada.

Para fines de este trabajo de tesis de maestría, en lo siguiente, los términos, *tierra compactada* y *tapia* serán utilizados como sinónimos.

Está **fundamentada** en la necesidad de información documentada para promover la construcción con tierra. Diferentes instituciones en diversos lugares se han dado cuenta de de ésta situación, por ello en los últimos años han estado realizando proyectos e investigaciones acerca de la tierra.

A nivel internacional es el caso del proyecto “Terra” que se desarrolló en el Getty Conservation Institute en colaboración con el Gaia Project (una colaboración entre CRATerre-EAG e ICCROM), una iniciativa para promover la conservación de la Arquitectura de tierra que a pesar de culminar en el 2006 sus iniciativas y metas han continuado a través de de programas particulares en la instituciones colaboradoras.

En Francia el grupo *CRATerre* está impulsando fuertemente la investigación y construcción con tierra. Actualmente tiene varias publicaciones en diferentes idiomas y ofrece cursos al público en general así como memorias de coloquios y exposiciones.

A nivel nacional, el proyecto Proterra fue creado por el programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (red de vivienda CYTED) del año 2001 al 2005, cuyo objetivo principal fue promover el uso de la tierra como material de construcción por medio de la transferencia de tecnología para los sectores productivos y las políticas sociales en los países Iberoamericanos. Se comprendió que la difusión de la Arquitectura y construcción con tierra no podría restringirse solamente a los sectores productivos, era necesario integrar al medio científico, depositario del conocimiento académico; y al medio técnico, poseedor del conocimiento práctico, del modo de desarrollar, transferir y aplicar la tecnología en todos sus aspectos<sup>1</sup>

Por otro lado, la *“Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda del CONAFOVI”* indica que en México, la cultura de ahorro de energía se inició hace más de una década, pero los beneficios aún no son palpables. La sociedad mexicana, requiere de nuevos diseños de viviendas que se adapten a sus necesidades y que además modifiquen las tecnologías actuales, altamente consumidoras de energía...<sup>2</sup>

En septiembre del 2009 en el taller de Artesanos de Arquitectura de Tierra en América Latina y del Caribe, la técnica, la tradición oral y formas de transmitir el oficio, llevado a cabo en Tlaxcala, donde participaron autoridades de la UNESCO, diferentes investigadores de Latinoamérica y maestros artesanos que elaboran construcciones a base de tierra, donde tuve la oportunidad de asistir, se

<sup>1</sup> GUERRERO Luis, *Patrimonio construido con tierra*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, división de Ciencias y Artes para el Diseño 2007.

ISBN 978-970-31-0827-5

<sup>2</sup> *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*, Primera edición, 2006 ISBN: 968-7729-34-1, D.R. ©  
CONAFOVI Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda, México, D.F.

manifestó claramente el interés por dar a conocer los beneficios de la tierra en la Arquitectura y por apartar los mitos que descalifican estas técnicas constructivas ancestralmente conocidas.

Sin duda se requiere impulsar las técnicas populares y difundirlas de manera tal que en conjunto con las innovaciones tecnológicas pueda crear sinergia ofreciendo alternativas al medio de la construcción.

En el **contenido** de este documento se recopila e interpreta información para realizar una caracterización de las propiedades de la *tapia*, enfatizando los beneficios que construir con tierra compactada puede traer consigo.

Los datos que se recabaron se basan en fuentes escritas de diferentes países, en experiencias adquiridas en talleres donde se enriquecieron los comentarios con participaciones de expertos de diferentes nacionalidades y costumbres, en resultados de pruebas de laboratorios hechas con el apoyo de el Instituto de Geología de la UNAM y del Laboratorio de materiales de la UAM Xochimilco y en encuestas aplicadas a habitantes de viviendas de muros de tierra compactada en San Andrés Calpan, Puebla.

En el Capítulo I se desarrolla el marco teórico de los muros de tierra compactada, aquí se describen los diferentes nombres que reciben estos muros así como sus diferentes clasificaciones, los antecedentes históricos globales, los centros de investigación y la ubicación actual de viviendas construidas con tierra.

En el Capítulo II se describen los pasos para construir un muro de *tapia* y se mencionan algunas consideraciones especiales que se deben de tener para esta Arquitectura.

El capítulo III es el eje principal de este documento, ahí se enlistan las propiedades más relevantes de los muros de tierra compactada, dividido en seis grupos: mecánicas, acústicas, térmicas, económicas, ambientales y estéticas.

El capítulo IV contiene información detallada de pruebas de laboratorio de absorción capilar, resistencia a la compresión y niveles de toxicidad, realizadas a un muro experimental de *tapia*.

El capítulo V muestra aplicaciones contemporáneas en construcciones de diversa índole, como oficinas, casas habitación y escuelas.

En el capítulo VI se enlistan las conclusiones del documento, con un panorama alentador para que se siga difundiendo la construcción con tierra.

Ésta tesis es un instrumento que pretende ser de utilidad **dirigido a** toda persona interesada en adquirir conocimiento, especialmente a aquellos que de una u otra manera intervienen en el proceso constructivo de un inmueble, ya sean arquitectos, diseñadores, ingenieros, constructores, inversionistas o clientes.

Redescubrir es volver a sentir interés por algo o alguien que se había olvidado, por diversas circunstancias, durante varios años se ha asociado la construcción de tierra con pobreza o fragilidad, sin embargo, los productos tecnológicos han permitido mejorar las técnicas y es un gusto y deber profesional transmitir estos nuevos conocimientos a la sociedad, para que le permitan con un nuevo enfoque valorar la tierra.



## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

En el quehacer profesional, me he encontrado con opiniones erróneas a causa de la falta de información, inclusive yo fui una de ellas. Por ello, ahora es mi turno de transmitir el conocimiento que he adquirido.

El **objetivo general** que pretende alcanzar esta tesis es:

***Recopilar e interpretar información sobre las propiedades de los muros de tierra compactada para promover su uso.***

De esta manera los futuros usuarios de muros de tierra compactada en México mejorarán su aceptación al conocer los beneficios que pueden obtener.

La **hipótesis** planteada es:

***“Si los beneficios de los muros de tierra compactada se documentan y divulgan, entonces aumentará su uso en cantidad y escala”.***

***Hipótesis secundarias:***

***“Si se aprovechan adecuadamente las cualidades de la tapia puede utilizarse en México como un sistema constructivo tanto para zonas rurales como urbanas”***

***“En México, los muros de tapia autoconstruidos son más económicos que los construidos con ladrillo recocido”***

## I. MARCO TEÓRICO DE LOS MUROS DE TIERRA COMPACTADA

### A. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

La *tierra apisonada o compactada* en forma estática o dinámica por impacto o vibración abarca sistemas tradicionales y no tradicionales y es usado en cuatro continentes<sup>3</sup>.

Los muros de *tapia* son muros monolíticos de tierra encofrada y compactada en capas cuya técnica recibe diferentes nombres alrededor de nuestro planeta, los términos más conocidos que describen esta técnica son *Rammed Earth* en Estados Unidos, *Pisé de terre* en Francia, *Terra Cruda* en Italia, *Stempflembau* en Alemania, *Terra Crua* en Portugal y *Tapia* en Sudamérica.

Según el instituto CRATerre, los diversos sistemas constructivos que se emplean cuando se ha de utilizar tierra cruda, se pueden reunir en tres grandes grupos, monolíticos, trabajo de bloques y en estructura. La tierra compactada está en el grupo de los monolíticos. *Ver figura 1.*

En función del tipo de encofrado y por el material constitutivo del muro, hay varios grupos de clasificación de las *tapias*, los que interesan en este caso son:

- *Tapia estabilizada en masa.* Es aquella que no lleva ningún tipo de revestimiento y tiene en la mezcla aglomerantes hidráulicos como el cemento Portland o la cal hidráulica.
- *Tapia estratificada.* Consistente en diferentes capas alternas de tierras de diferentes tonalidades, con un resultado plástico muy interesante.
- *Tapia mixta.* Son aquellos tapiales que presentan en los parámetros verdugadas de ladrillo, cerámica o piedras y tierra amasada en el interior del muro.

Por la utilización de cemento portland como aglomerante, los muros de tierra *compactada estabilizada* de esta manera se clasifican dentro de suelo-cemento.

Se define al suelo-cemento como un material elaborado a partir de una mezcla de suelos finos y/o granulares, cemento y agua, la cual se compacta y se cura para formar un material endurecido con propiedades mecánicas específicas.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> CHIAPPERO Rubén Osvaldo, María Clara Supisiche, *Arquitectura en tierra cruda*; breves consideraciones sobre la consideración y la restauración. Buenos Aires, nobuko, 2003, Pág. 39.

<sup>4</sup> <http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm> 03/04/08, artículo suelo-cemento 1a parte

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES



Figura 1: CRATerre.  
Diagrama de los usos de la tierra cruda

## B. ANTECEDENTES HISTÓRICOS GLOBALES

Hablar de construcción con tierra es hablar de la evolución de la humanidad, es una práctica que se ha realizado desde hace varios miles de años. La tierra como material de construcción se ha utilizado desde hace tantos años que inclusive está mencionada en el Libro del Éxodo de la Biblia cap.1 vers.14. No se sabe exactamente dónde ni cuándo inició la práctica de la construcción con tierra compactada, aunque sí se tienen algunas referencias.

*Véase la Tabla I-Cronología de la utilización de la tierra compactada por regiones. En ella se ejemplifica el uso de los muros de tierra compactada a través del tiempo en diferentes culturas y momentos históricos importantes en los cinco continentes. Nótese que la introducción del sistema de tierra compactada en América se da aproximadamente 5,000 años después que en el Oriente medio, en Asia central y en China.*

Los primeros vestigios encontrados datan del Neolítico y están situados en Mesopotamia, se han descubierto evidencias de edificios como la torre de Babel alrededor del 7,000 a.C., de igual manera en los mismos tiempos se descubrieron en el Himalaya-Karakoram vestigios de construcciones de *tapia* y adobe como el palacio del Dalai-Lama.

Se tienen también vestigios que datan apx. del año 2,000 a.C. de los hábitats troglodíticos de la Capadocia construidos por la civilización Hitita y de la muralla china iniciada hace más de 4,000 años construida en algunas partes con tierra compactada.

Casi en todas las culturas antiguas hay construcciones hechas con tierra. Los romanos usaron esta técnica conforme se desplazaban en Europa. Los españoles exportaron la tecnología de tierra compactada al Nuevo mundo.<sup>5</sup> Durante la ocupación de España por los moros en los siglos XIII Y XIV, las técnicas de construcción de tierra se utilizaron extensivamente. Varias de las partes de la Alhambra en Granada, fueron construidas con tierra compactada y aun en nuestros días están en servicio.<sup>6</sup>

Casi en todas las culturas antiguas hay construcciones hechas con tierra como este antiguo monumento de pisé en Marruecos.



Fuente: EASTON David, *The Rammed Earth House*

Algunas partes de la Alhambra en Granada, fueron construidas con tierra compactada



Fuente: NCVM

<sup>5</sup> TIBBETS Joseph M. *The earth builders encyclopedia*, segunda edición, 2001 SWSA, pág 198.

<sup>6</sup> EASTON David, *The Rammed Earth House Completely Revised Edition*, Chelsea Green Publishing Company, EUA, 2007, pág. 6.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Aun se conservan grandes monumentos antiguos construidos con tierra compactada en diferentes partes del mundo como edificaciones en la ruta de seda, el Palacio de Potala, la muralla china, y el Palacio de Badi.



Fuentes:

<http://ruta.seda.googlepages.com/>, <http://www.sacred-destinations.com/tibet/lhasa-potala-palace.htm>,  
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jinshangling2.jpg>, <http://www.pbase.com/jyqm/image/74637929>

**TABLA I CRONOLOGÍA DE LA UTILIZACIÓN DE LA TIERRA COMPACTADA POR REGIONES**

PERIODO	EUROPA Y NORTE DE ÁFRICA	ORIENTE MEDIO Y ASIA CENTRAL	CHINA	AMERICA	AUSTRALIA
7000 a.C.		La Torre de Babel y el palacio del Dalai Lama en el Himalaya-Karakoram			
2300 a.C.		Hábitats troglodíticos de la Capadocia construidos por la civilización Hitita	La cultura Lung-Shan inicia la construcción de murallas de tierra alrededor de sus asentamientos		
1900 a.C.			Asentamientos de la cultura Erlitou		
1600 a.C.			Asentamientos de la Dinastía Shang de Anyang		
800 a.C.	Asentamientos fenicios en el Europa occidental	Asentamientos del periodo Muomhong			
200 a.C.	Asentamientos fenicios en el norte de África, y sur de Francia. Hannibal invade España, construyen torres de vigilancia de tierra compactada		Dinastía Qin. Construcción con tierra compactada de partes de la muralla china		
220 (después de Cristo)			Periodo de los tres reinados		
500		Panjikent "la ruta de seda"			
600	Expansión musulmana de la península arábica al río Indo		Dinastía Tang, "la ruta de seda"		

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PERIODO	EUROPA Y NORTE DE ÁFRICA	ORIENTE MEDIO Y ASIA CENTRAL	CHINA	AMERICA
700	Expansión musulmana del norte de África a España	Ruinas mongólicas Khar Balgas		
900			Fin de la Dinastía Tang. Movimiento al sur de los Hakkas.	
1100	Expansión Almohade en España y norte de África			
1200	Máximo esplendor de la Alhambra en Granada	Genghis Khan arrasa varias ciudades de "la ruta de seda"		
1300		Edificaciones musulmanas budistas en Ladakh, Mustang y Bhutan		
1500	La España cristiana, construcciones vernaculares a través de Europa. El Palacio El Badi en Marrakech		Dinastía Ming, continuación de la gran muralla china	Expansión de España a América
1600	Introducción de la tierra compactada a Suiza	Construcción del Palacio Potala		
1800	Construcciones a partir de las publicaciones del Arq. Cointeraux		Migración China a América	Migración europea a Australia y Nueva Zelanda
1900	Vivienda de bajo costo en Inglaterra durante la primera guerra mundial y en Alemania y Escandinavia durante la segunda.			Fomento de la construcción con el "New deal housing" en EUA
1970 <sup>7</sup>	Se funda CRATerre			David Easton inicia investigación, publicación y construcción con tierra

<sup>7</sup> Ob. Cit. JAQUIN Paul, Historic Rammed Earth

### C. CENTROS DE INVESTIGACIÓN

¿Quiénes han estudiado los muros de tierra compactada, dónde están?

Actualmente diferentes grupos y organizaciones se dedican a investigar más sobre la construcción de tierra y sus efectos.

En Francia el grupo *CRATerre*, un laboratorio de investigación y un equipo de enseñanza de la escuela de Arquitectura de Grenoble, está impulsando fuertemente este tipo de construcción. Actualmente tiene varias publicaciones en diferentes idiomas y ofrece cursos al público en general así como memorias de coloquios y exposiciones. Situado como el líder de investigación a nivel mundial.

En Estados Unidos el Instituto de Energía de Nuevo México (*New México Energy Institute*) está realizando investigaciones sobre los efectos de la masa térmica de los muros de tierra y La Asociación de adobe del Suroeste (*The Adobe Association of the Southwest*) con sede en El Rito Nuevo México tiene una escuela de construcción con adobe y cada año organiza un ciclo de conferencias y talleres internacionales donde los temas son enfocados a la construcción con tierra en sus diferentes modalidades.



## D. UBICACIÓN ACTUAL

### 1. La construcción de tierra en cifras

¿Actualmente dónde están las construcciones de tierra compactada?

Para dar una idea de la importancia y la magnitud adquirida por la construcción con tierra, aproximadamente el 30% de la población mundial, cerca de los 1,500,000,000 de personas, viven en un hábitat de tierra.

En Perú, el 60% de las viviendas son de tierra, construidas en *pisé* o adobe<sup>8</sup> y en la India, persisten unos 50 millones de casas construidas con tierra. Los habitantes de las zonas altas de las montañas andinas poseen una rica tradición de construcción con tierra. Este tipo de construcción es apropiado porque es simple y basado en materiales localmente disponibles. Es una tecnología que la gente entiende y desea.

En la región de Lyon, Francia, la tradición de rellenar con tierra (*stuffed earth*), data de la era de los Fenicios, el suelo producto de los deslaves de los Alpes, tenía una composición ideal para la construcción de tierra compactada. Aun en la actualidad, el 15% de las construcciones rurales están hechas con esta técnica<sup>9</sup>, ahí llamada *pisé de terre*.

Mapa de ubicación de construcciones de Tierra compactada en todo el mundo



**Fuente:** KEABLE Julian, *Rammed Earth Structures a code of practice, intermediate technology Publications, 1996, UK. Pág. 3*

<sup>8</sup> HOUBEB Hugo, Guillaud Humbert, *Traité de construction en terre*, Marceille, Éditions Parenthèses, 2006, Pág. 16.

<sup>9</sup> EASTON, David, *The Rammed Earth House*, U.S.A., Chelsea Green Publishing Company, 1996, Pág. 5.



En México no se ha difundido lo suficiente este sistema aunque geográficamente esta ubicado en condiciones similares a países que construyen con tierra compactada, tal es el caso del aislamiento como país en el que nos encontramos, que ni si quiera aparece en los mapas como un país que lo utilice.

Desafortunadamente la relación psicológica existente en la mayoría de la población nacional en gran manera ha limitado la expansión de los muros de tierra compactada en el país ya que se le relaciona con casas para gente de escasos recursos, con suciedad e inestabilidad, mitos que se aclaran en los próximos capítulos descriptivos de las propiedades de estos muros.

## 2. La influencia de Estados Unidos de Norteamérica en México

La frontera más grande de México es con Estados Unidos, de ahí que una gran influencia cultural es ejercida sobre este país y aún más en los estados del norte.

En los Estados Unidos coloniales, los inmigrantes alemanes establecieron este tipo de construcción en Nueva York y Pensilvania en los tardíos 1,700's, algunas de estas casas están en uso todavía, aunque, es difícil documentarlas. Actualmente, los habitantes mismos desconocen el tipo de vivienda que habitan, debido a que son construcciones con muros cubiertos.<sup>10</sup>

El proceso evolutivo de la construcción y difusión del uso de la tierra compactada se fue dando en los Estados Unidos de Norteamérica con mayor auge a partir de los años 20's.

La casa en la montaña de Tucson está construida con tierra compactada, su diseño fue realizado por uno de los Arquitectos de Estados Unidos con más reconocimiento en este tipo de construcción.



Fuente: JOY Rick, Desert Works

A partir de 1920 el gobierno de los Estados Unidos y varias Universidades empezaron a interesarse en construir con "rammed earth". Investigaciones y proyectos comenzaron en la "Agricultural Experiment Station" de la Universidad de California, Davis, en 1926. En el mismo año, el arquitecto M.C. Betts y el ingeniero T.A.H. Miller publicaron "Rammed earth walls for buildings" para la USDA. Aunque desafortunadamente el gobierno no promovió con suficientes esfuerzos la difusión de esta técnica.<sup>11</sup>

En Colorado, Lydia y David Miller, en gran manera responsables del desarrollo en EUA más allá de los orígenes rústicos de la tierra compactada, construyeron 5 casas de *tierra compactada estabilizada* y documentaron sus experiencias, se mudaron a Europa y ampliaron sus conocimientos, difundiéndolos entre la comunidad. Otra familia con tradición en construcción con tierra son los Schmidt, de descendencia alemana quienes se dieron cuenta de los *muros de tierra compactada* construidos en

<sup>10</sup> TIBBETS, Joseph M., *The earthbuilders enciclopedia*. Second Edition, Bosque N.M., 2001(CD-ROOM)

<sup>11</sup> Idem, Pág. 193.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Rusia. John Schmidt hizo algunos estudios de éstos muros en Rusia. Primero construyeron dos casas en Ohio en los 40's y cuando se mudaron para Arizona en 1974 iniciaron su propia compañía especializada: *Rammed Earth Consulting*. Con estos ejemplos la comunidad se fue apropiando de este tipo de construcciones y actualmente solamente en el sur de Arizona hay docenas de estructuras de este tipo en el condado de Cochise.<sup>12</sup>

David Easton, de Napa California, ha sido de los constructores y asesores de *muros de tierra compactada* más reconocidos en Estados Unidos, desarrolla su propia cimbra de acuerdo a cada proyecto, su trabajo abarca desde muros hasta pisos estabilizados, adobe estampado, techos verdes y en general el uso de la *tierra estabilizada* hasta donde le permiten los diferentes códigos de California.

Aunque no es estadounidense, pero si ha hecho investigación en Estados Unidos, el artista y constructor de origen Austriaco Martin Rauch ha estudiado detalladamente la tierra compactada, durante más de dos décadas de teoría y práctica ha sido capaz de actualizar las técnicas del *rammed earth* tradicional, materializando su obra en extraordinarios edificios contemporáneos. Cualquier libro de este autor es una guía para el arte de construir con tierra. Rauch no inició construyendo *rammed earth* como Arquitecto, sino que lo hizo como artesano de cerámica y escultor.

Fue influenciado por maestros como Maria Biljan-Blider y Matteo Thun.<sup>13</sup> En cooperación con Robert Felber, su compañero de discusión por muchos años.

Proyecto de Martin Rauch, y Arq. Peter Stienen, zoológico rodeado de muros de tierra compactada



Fuente:  
<http://www.lehmtonerde.at/english>

<sup>12</sup>TIBBETS, Joseph M., *The earthbuilders enciclopedia*. Second Edition Pág. 194 y 195

<sup>13</sup>KAPFINGER, Otto, *Martin Rauch Rammed Earth, Architektur Lehm und, Terra Cruda*. Australia, 2001.

## II. EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y CONSIDERACIONES ESPECIALES

A continuación se describen de una manera básica los principales pasos a seguir para construir un muro de tierra compactada: cimentación, selección de la tierra, estabilización, encofrado, humedecimiento, compactación, descimbrado, sello, proporciones estándar y consideraciones especiales.

Dependiendo de los materiales a la mano y del resultado esperado, las variantes resultantes pueden ser innumerables.

### A. EL PROCESO CONSTRUCTIVO

#### 1. Cimentación

Se debe considerar un sistema de cimentación como en cualquier otro sistema constructivo tradicional, ya sea con el sistema de zapata corrida de concreto o cualquier otro que el estructurista proponga. También se debe dejar una dala de desplante para evitar que el muro tenga contacto directo con la humedad del exterior en caso de lluvias. De la dala de desplante se sugiere dejar varillas de apx 40 cm de altura @ 40 cm para mayor adherencia del muro con la estructura.

En las imágenes se aprecia el trazo y el armado para la cimentación, obtenidos del Taller rammit yourself al que asistí en Oracle Arizona, con Quintin Branch.



Fuente: NCVM

#### 2. Selección de la tierra

La tierra o suelo, es el material principal y de sus propiedades depende en gran medida el resultado. (**Ver anexo 2. Tipos de suelo**). La tierra de mejor calidad es aquella derivada de rocas ígneas como el granito, aunque la tierra que proviene de rocas sedimentarias también puede utilizarse los muros alcanzan menos durabilidad, en ese caso, con el cuidado y los agregados necesarios se puede lograr también un resultado de muy buena calidad.

A efectos de reducción de coste por insumos y por transportación así como de mejora de la organización de la obra, es ideal la proximidad de la tierra al lugar donde se va a construir, ya sea del mismo terreno, de un banco cercano o inclusive haciendo tratos con compañías dedicadas a hacer albercas, quienes no cobran en algunos casos por proporcionar el material. Antes de definir si se utilizará la tierra que es accesible, se deben de realizar algunas pruebas que indiquen si es óptima para


el fin deseado. Si existen referencias de construcciones anteriores similares en la zona es recomendable investigar con los constructores y propietarios qué tierra utilizaron así como los resultados obtenidos.

Los suelos se componen de partículas sólidas y huecos. Los huecos pueden retener agua en mayor o menor medida de acuerdo con el tipo, forma, tamaño y disposición de las partículas que condicionan la permeabilidad a través del tamaño de los poros. Del contenido de agua retenida depende a su vez la deformabilidad y la resistencia del suelo.

A grandes rasgos, la composición de la mayoría de las construcciones de *tapia* desde la antigüedad ha sido un 70% de arena y grava-30% de arcilla y limos<sup>14</sup>. La granulometría usada varía según la región, por ejemplo en Argentina para el sistema de *tapia* es 5% arcilla, 5% de limos, 90 % de arena.<sup>15</sup> Estos porcentajes pueden tomarse como base, para buscar la tierra más conveniente según los objetivos de la obra.

Las muestras se deben de tomar de una capa de suelo firme aprox. a 1.5 o más de profundidad, para ello hay que eliminar la capa superficial con impurezas y organismos vivos inadecuados para la construcción. Puesto que el suelo puede variar inclusive a distancias cortas, es recomendable etiquetar la muestra con la profundidad y localización de que fue tomada. Las piedras mayores a un puño deben de eliminarse.

Para analizar la tierra de una manera sencilla, existen diferentes pruebas de campo que a continuación se describen. La implementación de estos ensayos sencillos preferentemente deberá seguir el orden presentado aquí para detectar a partir del ensayo más sencillo si la tierra es óptima para *muros de tierra compactada*.

• Prueba de Olfato		
	Objetivo	Detectar materia orgánica
	Equipo	Ninguno
	Duración	Aprox. 2 minutos
	Procedimiento	Inmediatamente después de extraer el suelo, debe olerse. (Si existe materia orgánica se detectará un olor mohoso o rancio que se vuelve más fuerte al humedecerse o calentarse) Los suelos que contienen materia orgánica no deben emplearse o ensayarse más.
Fuente: NCVM		

<sup>14</sup> EASTON David, *The Rammed Earth House Completely Revised Edition*, Chelsea Green Publishing Company, EUA, 2007, pág. 100.

<sup>15</sup> CHIAPPERO Rubén Osvaldo, María Clara Supisiche, *Arquitectura en tierra cruda*; breves consideraciones sobre la consideración y la restauración. Buenos Aires, nobuko, 2003, Pág. 34.

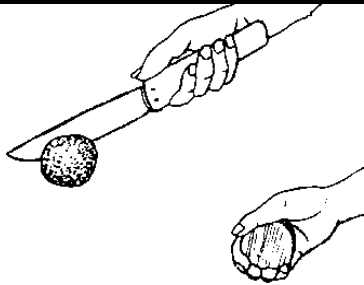
• Prueba de Tacto



Fuente: NCVM  
 Prueba de tacto realizada en Oracle  
 Arizona EUA..

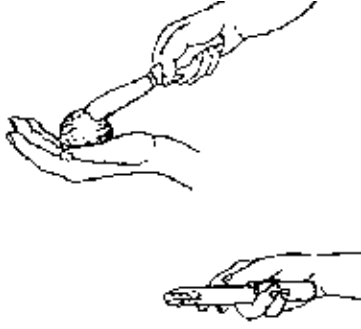

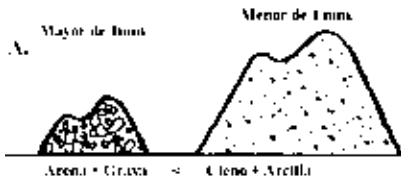
Objetivo	Detectar tipo de suelo
Equipo	Ninguno
Duración	Algunos minutos
Procedimiento	Después de sacar las partículas más grandes (grava), se humedece el material y se frota una muestra de suelo entre los dedos y la palma de la mano.  Un suelo arenoso se siente áspero y no tiene cohesión cuando se humedece. Un suelo limoso aún se siente ligeramente áspero pero tiene cierta cohesión cuando se humedece. Los terrones duros se resisten a ser triturados cuando están secos, pero que se vuelven plásticos y pegajosos o viscosos cuando se humedecen indican un alto porcentaje de arcilla.

• Ensayo del Lustre

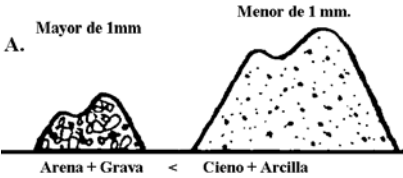
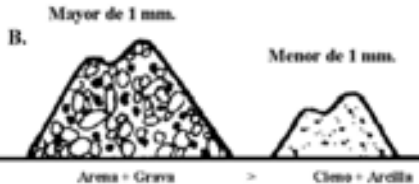
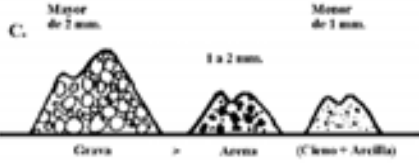
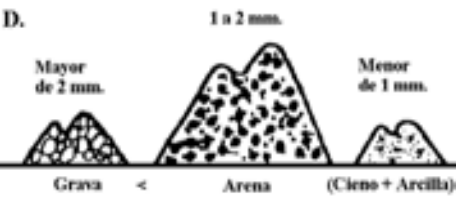


Objetivo	Detectar tipo de suelo
Equipo	Cuchillo
Duración	Algunos minutos
Procedimiento	Hacer una bola de suelo ligeramente humedecido y cortar en dos partes con un cuchillo.  Si la superficie cortada revela una superficie opaca, indica predominancia de limo, si la superficie cortada es brillante, indica una mayor proporción de arcilla.

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

• Prueba de Adherencia		
	Objetivo	Detectar cantidad de arcilla
	Equipo	Cuchillo
	Duración	Aprox. 2 minutos
	Procedimiento	<p>Hacer una bola de suelo ligeramente humedecido e introducir un cuchillo o navaja.</p> <p>Cuando el cuchillo penetra fácilmente la bola de suelo, la proporción de arcilla generalmente es baja. Los suelos arcillosos tienden a resistir la penetración y a pegarse al cuchillo cuando éste es retirado.</p>
• Ensayo del Lavado		
 <p>imagen: <a href="http://mrkite.blogia.com">mrkite.blogia.com</a></p>	Objetivo	Detectar cantidad de arcilla
	Equipo	Tazón o chorro de agua
	Duración	Algunos minutos.
	Procedimiento	Al lavarse las manos después de estas pruebas la manera en que el suelo se elimina nos da un mayor indicio de su composición: la arena y el limo son fáciles de retirar, mientras que la arcilla necesita ser frotada.
• Ensayo Visual		
	Objetivo	Detectar cantidad de grava
	Equipo	Dos cribas con malla de alambre retícula fina y media
	Duración	Aprox. media hora.
	Procedimiento	<p>Con la ayuda de una criba se separan las partículas de arena y la grava seca en dos montículos, sobre una superficie limpia. Antes que nada podría ser necesario triturar los terrones de arcilla.</p> <p>Comparando los tamaños de los montículos es posible hacer una clasificación del suelo a graso modo.</p>

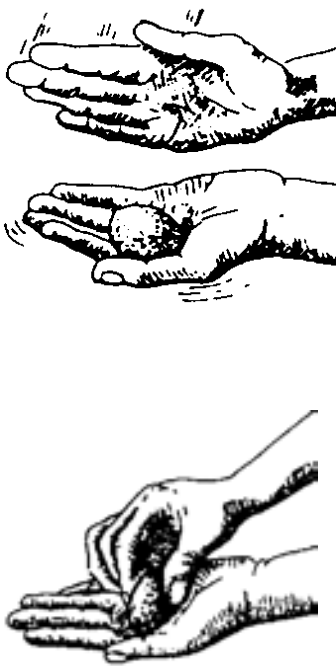
## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

<p>A.</p>  <p>Arena + Grava &lt; Cieno + Arcilla</p>	<p>A. El suelo es arcilloso si el montón de "limo + arcilla" es más grande, una clasificación más precisa requiere de otros ensayos.</p>
<p>B.</p>  <p>Arena + Grava &gt; Cieno + Arcilla</p>	<p>B. Similarmente, el suelo es arenoso o pedregoso si el montón de "arena + grava" es más grande.</p>
<p>C.</p>  <p>Grava &gt; Arena &gt; (Cieno + Arcilla)</p>	<p>C. D Un cernido con una criba de 2 mm. nos revela si el suelo es pedregoso o arenoso.</p>
<p>D.</p>  <p>Grava &lt; Arena &gt; (Cieno + Arcilla)</p>	<p>D. Un cernido con una criba de 2 mm. nos revela si el suelo es pedregoso o arenoso.</p>

En el caso del suelo arenoso o pedregoso, deberá humedecerse un puñado del material original (antes del cernido), hacerlo una bola y dejarlo secar en el sol. Si se parte al secar, se le llamará "limpio", y no será adecuado para construcciones de tierra a menos se mezcle con otros materiales.

Si el suelo no es "limpio", el montón de limo y arcilla deberá emplearse para las pruebas siguientes.

• Ensayo de Retención de Agua

	Objetivo	Detectar tipo de suelo
	Equipo	Ninguno
	Duración	Aprox. 2 minutos
	Procedimiento	<p>Se hace una bola del tamaño de un huevo con una muestra del material fino, añadiendo el agua necesaria para mantenerlo unido sin que se pegue a las manos. La bola se presiona suavemente en la palma curvada y se golpea fuertemente con la otra mano, agitando la bola horizontalmente.</p> <p>Cuando toma 5 - 10 golpes para que el agua brote a la superficie (liso, apariencia "uniforme"), se le llama reacción <i>rápida</i>. Cuando se presiona el agua desaparece y la bola se desmenuza, indicando una <i>arena muy fina o limo grueso</i>.</p> <p>Cuando el mismo resultado se obtiene con 20 - 30 golpes (reacción <i>lenta</i>), y la bola no se desmenuza pero se aplasta al ser presionada, la muestra es <i>limo ligeramente plástico o arcilla limosa</i>.</p> <p>Si no hay reacción o ésta es muy <i>lenta</i>, y no hay cambio de apariencia al ser presionada indica un alto <i>contenido de arcilla</i>.</p> <p>5 a 10 golpes = rápido                  20 a 30 golpes = lento                  Más de 30 golpes = muy lento</p>

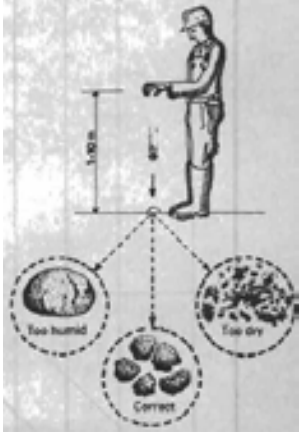


• Ensayo de Hacer Hebras, prueba de consistencia

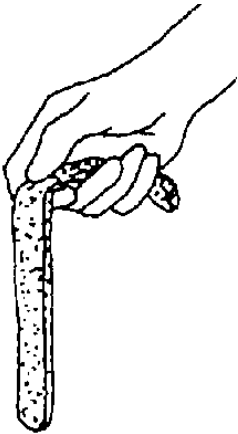


Objetivo	Determinar cantidad ideal de agua
Equipo	Tabla plana, aprox. 30 x 30 cm.
Duración	Aprox. 10 minutos.
Procedimiento	<p>Otra bola húmeda del tamaño de una aceituna se alisa sobre la superficie plana limpia, formando una hebra. Si se rompe antes que el diámetro de la hebra sea de 3 mm., será muy seca y se repite el proceso después de rehacer la bola con más agua. Esto deberá repetirse hasta que la hebra se rompa cuando tenga exactamente 3 mm. de espesor, indicando un adecuado contenido de humedad.</p> <p>La hebra se rehace nuevamente en una bola y se aprieta entre el pulgar y el índice.</p> <p>Si la bola es dura de triturar, no se agrieta ni se desmenuza, tendrá un <i>alto contenido de arcilla</i>.</p> <p>El agrietamiento y desmenuzamiento muestran un <i>bajo contenido de arcilla</i>.</p> <p>Si se rompe antes de formar una bola, tendrá un <i>alto contenido de limo o arena</i>.</p> <p>Si se siente algo esponjoso y suave significa que es un <i>suelo orgánico</i>.</p>


• Ensayo de optimo contenido de agua

	Objetivo	Determinar cantidad ideal de agua
	Equipo	Ninguno
	Duración	Aprox. 2 minutos
	Procedimiento	Tomar un puño de la mezcla húmeda, apretarlo y dejarlo caer de una altura de 1.10 m sobre una superficie dura.
		Si se parte en 4 o 5 piezas, tiene el correcto contenido de agua. Si permanece en una pieza con algunas grietas, tiene demasiada agua y si se desintegra en polvo grueso, el contenido de agua es muy bajo.

• Ensayo de la Cinta, prueba de cohesión

<p>16</p> 	Objetivo	Determinar cantidad ideal de agua
	Equipo	Ninguno
	Duración	Aprox. 10 minutos
	Procedimiento	Con el mismo contenido de humedad que el de la prueba de hacer hebras, a una muestra de suelo se le da la forma de un cigarro de 12 a 15 mm. de espesor.
		Después se aplana progresivamente entre el pulgar y el índice formando una cinta de 3 a 6 mm. de espesor, teniendo cuidado que se alargue tanto como sea posible.
	Una cinta larga de 25 a 30 cm. tiene un <i>alto contenido de arcilla</i> .	
	Una cinta corta de 5 a 10 cm. muestra <i>poco contenido de arcilla</i> .	
	Si no se puede formar la cinta significa un <i>contenido de arcilla despreciable</i> .	

<sup>16</sup> Ob. Cit. Información sobre materiales de construcción: Tierra, suelo, laterita.

• Ensayo de Sedimentación		
	Objetivo	Determinar cantidad ideal de agua
	Equipo	1 frasco de vidrio con tapa
	Duración	Aprox. tres horas
	Procedimiento	Se llena un cuarto del frasco de vidrio con suelo y con agua limpia hasta casi al tope Se deja empapar bien el suelo durante una hora, luego, con la abertura bien tapada, se sacude fuertemente el frasco y después se coloca sobre una superficie horizontal. Esto se repite nuevamente una hora después y se deja reposar el frasco por, al menos, 45 minutos. <sup>17</sup>
		Trascurrido este tiempo, las partículas sólidas se asentaran en la base y se podría medir con bastante exactitud las proporciones relativas de arena (capa inferior), limo y arcilla. Sin embargo, los valores se distorsionaran ligeramente ya que el limo y la arcilla se habrán expandido con el agua.
Material orgánico (agua) .....		
Arcilla .....		
Limo .....		
Arena .....		
Grava .....		
<p>Fuente: EASTON David, The rammed earth house, Completely Revised Edition. Las partículas sólidas se asentaran en la base y se podrían medir con bastante exactitud las proporciones relativas de arena (capa inferior), limo y arcilla.</p>		

Si el color de la tierra es el deseado, pero la composición no es óptima, se pueden importar algunos materiales para mejorar la tierra. Cuando se tiene exceso de arena y poca arcilla, se puede combinar en menor proporción con una tierra más arcillosa que la del sitio y si las pruebas muestran demasiada arcilla y limo, la tierra se puede mejorar agregándole arena para construcción de un banco diferente.

<sup>17</sup>Ob. Cit. Información sobre materiales de construcción: Tierra, suelo, laterita.

### 3. Estabilización

La función de la estabilización es incrementar la resistencia de un material al deterioro producido por la lluvia, el agua estancada, la compresión, flexión, tracción y abrasión producida por el viento y la durabilidad en general.

La tierra sin estabilizar puede sufrir algunos problemas como:

- Una excesiva absorción de agua causando grietas y deterioro por el frecuente humedecimiento y secado (dilataciones y contracciones).
- Debilitamiento y desintegración por lluvias e inundaciones
- Poca resistencia a la erosión y a los impactos
- Posibilidad de penetración de roedores e insectos

Hay tres métodos de estabilización: físicos, químicos y físico-químicos. Los físicos son aquellos en que se utilizan productos naturales como pelos, resinas vegetales, goma o cenizas, los químicos son en los que se utilizan productos artificiales como el cemento, la cal, el asfalto, los polímeros, fibra de vidrio, resinas con base en formaldehidos, resinas de acrílico o con base polivinílica, componentes aluminicos o productos sintéticos como los ácidos, sodas, silicatos y parafinas.<sup>18</sup> Los físico-químicos cuyo principal objetivo es hacer los muros más resistentes al agua pueden ser agentes hidrófogos como derivados del amoniaco o resinas, o agentes vinculantes como cemento hidráulico, silicatos de sodio o resinas sintéticas. Los estabilizantes más utilizados son el cemento y la cal.



En el caso del cemento, aumenta considerablemente la resistencia a la rotura por compresión simple, en tanto que las emulsiones asfálticas son empleadas para conferir y aumentar la impermeabilidad de las partículas. En cuanto a la cal con porciones entre el 5% y el 10% del peso de la tierra, mejora la resistencia al goteo e incrementa la resistencia a la compresión cuando se emplea en porcentajes más altos. El cemento permite lograr mejores resultados pero también tiene sus limitaciones. Su utilización suprime totalmente la contracción de la arcilla de un suelo y le brinda una estructura resistente. Reemplazando un 10% del peso total de la tierra con cemento, las pruebas dan mayor resistencia a la compresión seca que el suelo solo, pero se corre el riesgo que el material fisure tanto por endurecimiento rápido de la mezcla debido al fragüe del cemento como por la falta de un proceso de curado bien realizado.<sup>19</sup> En estos casos se recomienda cubrir con un plástico el muro una vez descimbrado, para que la pérdida de humedad sea más lenta y la posibilidad de una helada disminuya.

<sup>18</sup> CHIAPPERO Rubén Osvaldo, María Clara Supisiche, *Arquitectura en tierra cruda*; breves consideraciones sobre la consideración y la restauración. Pág. 37.

<sup>19</sup> Idem pág.. 38.

TABLA DE RELACIÓN ENTRE CONTENIDO DE AGUA Y ESTABILIZANTE<sup>20</sup>

Óptimo contenido de agua (OWC) %	Evaluación	Potencial para estabilizarse	para Estabilizador usual
7-9	bueno		cemento
9-17	excelente	El más sencillo para estabilizar	
17-22	aceptable	Difícil de estabilizar	
22-25	posiblemente aceptable		

El contenido de cemento en peso suele ser del orden del 3 al 7% en peso de materiales secos y a largo plazo, su resistencia a compresión suele ser superior a 4 MPa. El contenido de agua se elige para obtener mezclas de consistencia seca que permitan su compactación con rodillo.<sup>21</sup>

#### 4. Encofrado

Alrededor del mundo es muy similar la manera de contener la tierra para compactarla y formar los monolitos. Generalmente consiste en formas de madera con refuerzos tanto en el sentido vertical como en el horizontal<sup>22</sup>

Un buen encofrado deberá reunir las siguientes características:

- Solidez, para evitar que los grandes esfuerzos a que será sometido provoquen deformaciones o desplomes. Para ello es necesario que los elementos tengan la sección suficiente y vayan provistos



Imágenes 1y2 Fuente: [http://www.historicrammedearth.co.uk/rammed\\_earth\\_formwork.htm](http://www.historicrammedearth.co.uk/rammed_earth_formwork.htm), Imágen 3 Fuente: NCVM

El encofrado alrededor del mundo es muy similar. Se muestran cimbras en Marruecos, Kagbeni Nepal y Cd Juárez Chih. Méx.

de un potente sistema rigidizador.

<sup>20</sup>DOAT P., HAYS A., HOUBEN H. MATUK S. VITOUX F. *Building with earth*, the mus village society, New Delhy India, 1991. p.178

<sup>21</sup>Ob. cit. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., artículo suelo-cemento 1a parte

<sup>22</sup>Ob. Cit. JAQUIN Paul, Historic Rammed Earth.

- Manejabilidad, ya que las operaciones de montaje y desmontaje se realizan muchas veces en una misma obra. Un encofrado demasiado grande será poco manejable por su excesivo peso; mientras uno muy pequeño aumentará el número de ciclos. El tamaño óptimo es alrededor de 1.80 m x 0.60 m y de 1.80 m x 0.45 m. teniendo éstas dos dimensiones disponibles como mínimo. El primero se utilizará a lo largo del muro en la parte frontal y posterior y el segundo podrá utilizarse igual que el anterior para rematar secciones más pequeñas y mayormente en el costado o ancho del muro. Dependiendo del proyecto, la cimbra se podrá modificar, para muros con espesores a partir de los 30 cm. Se sugiere al proyectista tomar en cuenta las dimensiones de sus cimbras para modular las alturas de los entrepisos u otros elementos interrelacionados con los muros de tierra.
- Inalterabilidad. Si el encofrado es de madera, las tablas que lo componen deben estar separadas unos milímetros para permitir la expansión provocada por la humedad. Debemos también tener la precaución de no dejar montado el encofrado de un día para otro. Actualmente hay unas cimbras de metal diseñadas para muros colados de concreto, éstas también se pueden utilizar para los muros de tierra.

Para prevenir desprendimiento de la tierra, en las esquinas se deberán colocar lambrines de madera sesgados a 45º y prevenir cualquier instalación o refuerzo estructural que deba quedar ahogado.

## 5. Humedecimiento

Es necesario que la tierra esté húmeda antes de compactarla, se debe de tener cuidado de no mojar en un solo punto, tratando de humedecer homogéneamente. Demasiada agua dará poca resistencia, menos durabilidad y será fácilmente atacable por la abrasión. El agua empleada no debe superar el 12% del peso de la tierra empleada.<sup>23</sup> (Ver tabla de relación entre contenido de agua y estabilizante, Cap. II.A.3)

---

<sup>23</sup> BARBETA Solá, Gabriel, *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*, tesis doctoral, tutor Ferran Gomá i Ginestà. Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona., 2002, pág. 41, antecedentes científicos. 09tes18.pdf

## 6. Compactación

Un correcto llenado del encofrado deberá hacerse en capas de entre 7 y 10 cm. antes de la compactación.



El pisón es el elemento básico puede ser manual, el pisón mazo de 15 x 15 cm. o con el martillo neumático que proporciona una mayor uniformidad al compactado. Para la base de golpeo se solía usar una madera más dura, como la de roble o carrasca, actualmente se propone también una placa metálica para mayor impacto el golpe. El pisón no debe ser demasiado pesado pues se dificultará la compactación. La técnica consiste en dejar caer el pisón sobre la tierra tomándolo a la altura del pecho, no es necesario golpear sin soltar la herramienta.

El trabajo del apisonado es muy duro y a la vez muy delicado, ya que puede provocar diferencias en la ejecución debido al cansancio del trabajador. En este caso se recomienda supervisar constantemente a



los encargados de este trabajo y sustituirlos en el caso de que el rendimiento disminuya considerablemente.

## 7. Descimbrado y resane



Una vez compactada toda una hilera, se puede descimbrar. Se debe de realizar con cuidado en el sentido vertical del muro, de arriba hacia abajo o abajo hacia arriba e inmediatamente rellenar los huecos de los sujetadores, con la misma mezcla pero cuidando que sean solamente agregados finos y con un poco más de humedad, haciendo presión para que se adhieran a el resto del muro.

## 8. Sello



La tierra sin sellar aun cuando esté estabilizada es vulnerable al viento y a la lluvia, por esto, se recomienda aplicar un sellador que permita que el muro respire. La mezcla hecha de agua y nopal fermentado, produce un sello de consistencia viscosa, que aplicado al muro, le dejara su apariencia natural, sin ningún brillo que le pudiera parecer artificial y lo protege sin utilizar soluciones químicas o que dañen el medio ambiente. Se sugiere que se aplique con pistola para fumigar.

Según Quintin Branch, experto en construcción con tierra en Arizona, también se puede hacer un sello preparado con tres partes de agua y una de cola blanca para lugares como cocinas donde el poco polvo que puedan soltar los muros, es indeseado.

## 9. Proporciones estándar

Tabla 1. TABLA DE RELACIÓN ESPESOR - ALTURA EN MUROS DE TIERRA COMPACTADA ESTABILIZADA.  
Artículo publicado por the New México Earthen Buildings Material Code.

ESPESOR DE MUROS	MÁXIMA ALTURA DEL MURO
12" (MUROS DIVISORIOS INTERIORES)	6' 0" = 1.83M (SIN CERRAMIENTO)
12" (30.5 CM)	8' 0" = 1.83M
18" (45.7 CM)	10' 8" = 1.83M
20" (50.8 CM)	11' 4" = 3.45M
22" (55.9 CM)	12' 0" = 3.65M
24" (61.0 CM)	12' 8" = 3.86M <sup>24</sup>

<sup>24</sup> Revista: *Rammed Earth Book # 9 special issue*, 2001 SWSA ISSN-1093-006X, pag22.

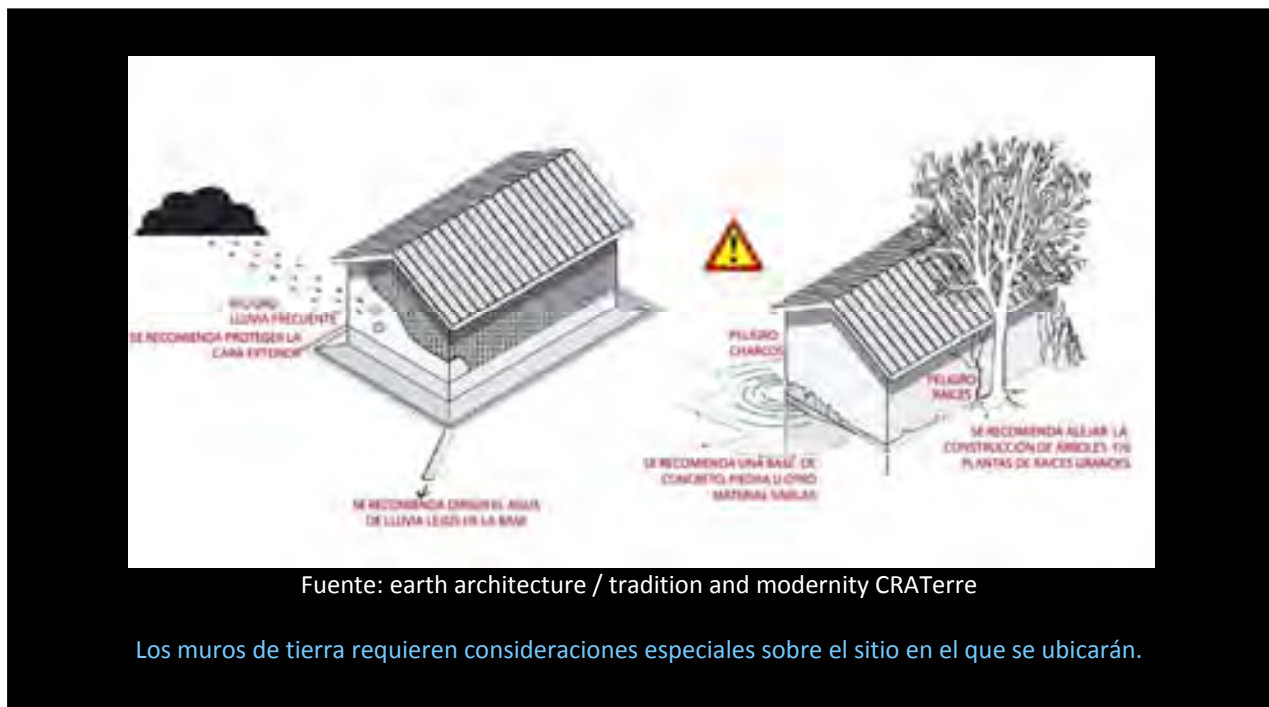


Todas las aberturas mayores de 24" de ancho requieren un dintel de concreto o un arco de medio punto de refuerzo que puede ser también de adobe, como mínimo los dinteles deben ser mayores que el vano 12" (30.5cm) en cada lado y tener una altura de 6" (15.2 cm) con un refuerzo mínimo de 3v. #4@ 4" (10.2cm) para muros de 18 y 20" de espesor y vanos de entre 20 y 60" (61 y 150 cm).<sup>25</sup>

Para más información sobre datos técnicos sugiero consultar el reglamento de Construcción de Nuevo México sobre construcciones con tierra, 2006 New México Earthen Building Materials Code. Su versión descargable se encuentra en:

<http://www.nmcp.state.nm.us/nmac/parts/title14/14.007.0004.htm>

## B. Consideraciones especiales



Los muros de *tapia* son una estructura monolítica que puede ser dañada por agentes climáticos como la lluvia, por ello se deben de proteger al menos con una trabe que remate en la parte más alta y si están construidos en una zona donde la precipitación sea frecuente, un alero y un aplanado en la parte exterior es una manera adecuada de protegerlos, por decirlo de otra manera, requiere de un sombrero y un abrigo. La humedad puede penetrarlo y dañarlo también por la base, para evitarlo se debe de levantar sobre una estructura que lo proteja como puede ser una base de concreto o de piedra, la cual sería como unas botas para la lluvia.

Se recomienda construir estas estructuras lejos de los árboles, para que las raíces no ejerzan fuerzas que provoquen cuarteaduras en ellos. Si los muros se compactaron correctamente y no se agregó materia orgánica, no se debe de tener ningún problema por insectos puesto que el muro tendrá demasiada resistencia para poder ser atravesado por un insecto.

<sup>25</sup> Revista: *Rammed Earth Book # 9 special issue*, 2001 SWSA ISSN-1093-006X, pág. 31

### III. PROPIEDADES DE LOS MUROS DE TIERRA COMPACTADA

#### A. PROPIEDADES MECÁNICAS

##### Resistencia a la compresión, flexión, peso, modulo de Young, Permeabilidad y Penetración

Los siguientes datos han sido proporcionados por diferentes organizaciones (Australia, Estados Unidos, Francia, etc.). Dan una idea del desempeño técnico de la tierra como material de construcción y pueden servir como bases para el diseño arquitectónico.<sup>26</sup> Son el resultado de una recopilación de datos por expertos que pretenden ayudar en un cambio del valor asociado con la tierra en la industria de la construcción, para que sean conocidos y fructíferos. (*Ver capítulo IV-B Prueba de Compresión*)

TABLA DE DATOS MECÁNICOS DE LOS MUROS DE TIERRA COMPACTADA

Datos	Unidades	Fuente
Peso (sistema de gravedad)	110-130 lb/ft <sup>3</sup> 1762.03-2082.4 kg/m <sup>3</sup>	ASTM D698, Rammed Earth Solar Homes Inc <sup>27</sup>
tensión	1/5 resistencia a la compresión	prueba brasileña
Resistencia a la compresión		
estabilizados con cemento	50 a 100 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
estabilizados con cal	30 a 80 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
estabilizados con productos químicos	20 a 40 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
estabilizados con muy fuertes productos químicos	150 a 400 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
Modulo de Young	7,000 a 70,000 kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
Permeabilidad	1x 10 <sup>-6</sup> cm/ segundo	CRATerre France
Encogimiento lineal por secado	2mm/m	CRATerre France
compresión	45.73 Kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
flexión	0.05 Kg/cm <sup>2</sup>	CRATerre France
Penetración	450 kg	CRATerre France

TABLA DE COMPARACIÓN DE PROPIEDADES ENTRE ADOBE Y TIERRA COMPACTADA<sup>28</sup>

Tipo de muro	Compression (kg-cm <sup>2</sup> )	Flexión (bending) (kg-cm <sup>2</sup> de la sección de muro)	Penetración (kg)
	TIERRA SIN ESTABILIZAR		
ADOBE cubierto con mortero	6.84	0.03	450
TIERRA COMPACTADA	6.16	0.028	450
	TIERRA ESTABILIZADA		
ADOBE estabilizado con 5.6% emulsión de mortero	5.5	0.04	450
TIERRA COMPACTADA	<b>45.73</b>	<b>0.05</b>	<b>450</b>
BLOCK DE TIERRA COMPRIMIDO	57.05	0.05	450

MUROS de adobe y block. Altura 2.45 m, largo 1.2 m ancho 0.30 m., de tierra compactada Altura 2.45 m, largo 2.4 m ancho 0.35 m. Block comprimido 30 x 26 x 21 cm.

<sup>26</sup> P.DOAT, A.HAYS, H. HOUBEN, S. MATUK & F. VITOUX (CRATerre France) *Building with earth*, pág 185

<sup>27</sup> Rammed Earth Solar Homes Inc.

<sup>28</sup> IDEM. DOAT, pág.162



## 1. Resistencia al fuego

Bajo ninguna circunstancia se debe de poner en peligro la seguridad de los que residen en un espacio ya sea de manera pasajera o permanente. En el caso de un incendio en un inmueble de *tapia*, el fuego no traspasará los límites del espacio donde se ha generado, evitando que se propague y poner en riesgo otros espacios. Cabe mencionar que se deben de tomar las medidas necesarias como extinguidores y salidas de emergencia en cada construcción.

La tierra es un material inerte que no se incendia, siempre y cuando no se utilicen las capas superficiales del suelo.

Por la similitud del adobe con el sistema de esta investigación, menciono una prueba de resistencia al fuego que se realizó en Australia en 1982 a un muro de adobe de 2.95m de alto, 2.905m de largo y 250mm de ancho. El resultado fue: La pared califica por una resistencia al fuego en 4 horas, en términos de la AS 1530, parte 4-1975.<sup>29</sup>

## 2. Resistencia a sismos

Siglos de experiencia en la construcción con tierra así como investigación moderna han demostrado que la construcción con tierra puede ser segura aun en las más activas áreas sísmicas. Algunas veces modestas cantidades de materiales como el cemento y el acero pueden ser necesitadas, pero, siempre en conjunción con el entendimiento del tipo de tierra específico a utilizar, el método constructivo y de los principios de ingeniería en general requeridos para asegurar durabilidad y seguridad.<sup>30</sup>

Si se ha de utilizar concreto en zonas sísmicas, es importante recordar que la tierra y el concreto reaccionan de manera diferente, por lo que se sugiere poner un material intermedio entre estos dos materiales a manera de liga, como el ladrillo recocado evitándose así fisuras.

## 3. Durabilidad

La durabilidad de un muro de *tapia* está directamente relacionada con el mantenimiento preventivo que a éste se le realice y con su correcta construcción. El mantenimiento preventivo consiste en resanar los muros periódicamente con la misma tierra que se pudiera desprender, sellar con baba de nopal o alguna sustancia similar que permita la respiración de los muros cuando estén expuestos a vientos fuertes y/o humedad, evitar muebles cercanos con puntas que pudieran erosionar el material, etc. (*Ver capítulo 1.3.10 consideraciones especiales*)

La Arquitectura monumental en tierra cruda se ha mantenido en pie durante un siglo en promedio y casos como el de Paquimé hasta por más de 700 años. Como es de suponer, esta Arquitectura ha sido edificada en su totalidad con métodos constructivos tradicionales, ya se trate de bajareque, *tapia*, de adobe o de sistemas mixtos<sup>31</sup>.

La alhambra en España que se construyó en parte con *tapia* alrededor del año 1,200 sigue en pie, es decir, tiene más de 800 años.

<sup>29</sup> TIBBETS, Joseph M., *The earthbuilders enciclopedia*, Pág. 104.

<sup>30</sup> [http://www.ecoact.org/Programs/Green\\_Building/green\\_Materials/earthen\\_structural.htm](http://www.ecoact.org/Programs/Green_Building/green_Materials/earthen_structural.htm) 5 junio 2008

<sup>31</sup> AGUILAR Berenice, Construir con adobe fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo, pág. 31.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Según información proporcionada por habitantes en casas de *tapia* en San Miguel Calpan, Puebla México, sus casas las construyeron hace más de 100 años. La mayoría de ellos son ancianos que manifestaron que sus casas fueron construidas desde antes de que ellos nacieran. (**Ver anexo 3: encuesta**)

Según evidencias tangibles así como datos documentados, las construcciones de *tapia* bien hechas y bien cuidadas duran por lo menos 100 años en perfectas condiciones.

### Hakka Tulou

Este sitio comprende 46 casas de tierra provistas de varios pisos, construidas entre los siglos XII y XX, y esparcidas a lo largo de un eje de 120 km al sudoeste de la provincia de Fujian, pudiendo albergar hasta un total de 800 personas. Construidas con una finalidad defensiva solían llamarse “pequeños reinos familiares” o “pequeñas ciudades prósperas”.

Yuchang Lou ha permanecido en pie por más de 700 años .

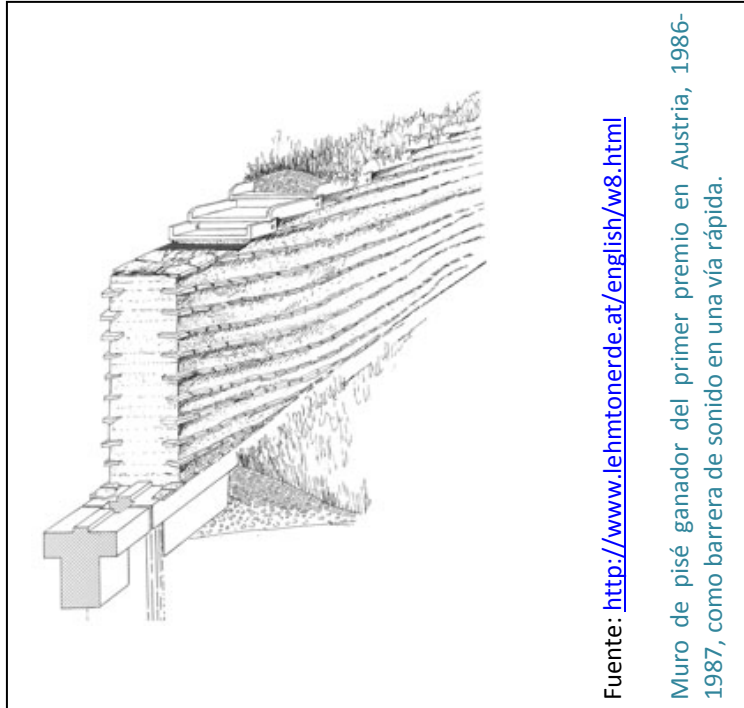
Los materiales para construir tulou se obtienen en la propia comarca. Los mismos consisten en una mezcla de arcilla, arena y cal, a la que se añade gran cantidad de claras de huevo, azúcar moreno y líquido espeso de arroz glutinoso molido como agente adhesivo, si se trata de una familia acomodada. Esa mezcla se apisona para formar paredes.



Fuente: <http://www.chinatoday.com.cn>

## B. PROPIEDADES ACÚSTICAS

Un recinto habitable debe de generar un ambiente en el que se desarrollen las actividades propias del lugar de una manera cómoda. El ruido es una de las mayores fuentes de estrés ambiental que pueden interferir en estas acciones. Para evitarlo, una opción es construir con muros de tierra ya que éstos transmiten mal las vibraciones sonoras, de modo que se vuelven una eficaz barrera contra los ruidos. Dan Whipple escribió en la revista *New West* lo siguiente: las casas de tierra son maravillosamente eficientes, según Tom Ward de Ward+Blake Architects en Jackson. Los muros de tierra compactada son algunas veces de dos pies de ancho y la acústica es grandiosa.<sup>32</sup>



Las propiedades acústicas de un muro de tierra se demuestran con el premio de 1er lugar otorgado por el departamento de construcción de Austria, a la barrera de sonido en una vía rápida. El muro de tierra propuesto además, utiliza el material del lugar equilibrándose con el entorno y ahorrando costos en el transporte de material.

Según estudios de la Organización Mundial de la Salud, el ruido ambiental tiene efectos adversos sobre la salud de las personas. Deficiencias en la audición, trastornos del sueño y la conducta, merma en el rendimiento y disfunciones fisiológicas o de salud mental.<sup>33</sup>

Características acústicas<sup>34</sup>

Para un muro de 40 cm: atenuación para una frecuencia de 500 Hz= 56 Db

Una conversación produce aproximadamente 50 db. Corroborando el anterior dato de CRATerre con uno nacional: el 75% de las personas encuestadas en Calpan Puebla, los ruidos ni conversaciones pasan de una habitación a otra con facilidad. (**Ver anexo 3: encuesta**)

<sup>32</sup>[http://www.treehugger.com/files/2008/02/the\\_dirt\\_on\\_rammed-earth.php](http://www.treehugger.com/files/2008/02/the_dirt_on_rammed-earth.php)

<sup>33</sup> <http://waste.ideal.es/acustica.htm>

<sup>34</sup> DOAT P, A.HAYS,H. HOUBEN, S. MATUK & F. VITOUX (CRATerre Francia) *Building with earth*, Primera edición en inglés, 1991, New Delhi India. Pág 185

### C. PROPIEDADES TÉRMICAS

Un estudio titulado “Transient Thermal Response of Adobe” (Respuesta termal transitoria del adobe) fue realizado por el Dr. Francis Wessling, en la Universidad de Nuevo México en E.U.A., en 1975. En un modelo computarizado de 61 cm. (24 pulgadas) de ancho sujeto a variaciones de temperatura externas entre -9.4 °C y 20 °C (15°F y 68 °F) durante periodos de 24 horas. Una capa de aislante de fibra de vidrio de 7.5 cm. (3 pulgadas) de espesor fue colocada en el interior para aislar el muro de las temperaturas internas, las cuales se mantuvieron a 70 °F (21°C). El artículo declaró:

“Las temperaturas variaron grandemente en la superficie exterior, pero sólo levemente en una posición intermedia del muro. La variación exterior fue de 53 grados y la variación a las 12 pulgadas (el centro del muro) fue menos de 3 grados en un periodo de 24 horas. En la interfaz de aislante del adobe, las variaciones fueron sólo una fracción de grado en el mismo periodo. El muro de adobe de 24 pulgadas tomó aproximadamente dos semanas el alcanzar un nueva condición constante después de que las variaciones de temperatura exterior iniciaron. Un muro de 12 pulgadas respondió a las mismas condiciones de tres a cuatro días. La mayor atenuación ocurrió en las primeras 12 pulgadas del muro”<sup>35</sup>

Por lo anterior, un espesor de muro optimo para aprovechar el efecto de masa térmica debe de ser entre 30 y 36 cm. (12 y 14 pulgadas).<sup>36</sup>

Actualmente en Estados Unidos, se aplica el término de “flywheel effect” para describir las ventajas térmicas de los muros de tierra. El efecto de retraso térmico en un muro de tierra de 16 pulgadas de espesor, es de 12 horas, es decir, en una tarde de verano caluroso a las 3:30 p.m., en el interior de la estructura se sentirá como cuando estaba fresco a las 3:30 a.m.. Es por esta razón que la divulgación de los muros de tierra se da en zonas calurosas o de climas extremos.

Estos dos efectos de la masa térmica, moderación y retraso del flujo calorífico, tienen importantes implicaciones a la hora de hacer un cálculo para el equipo de clima en caso de requerirlo, el equipo de clima será menor que el tradicional y se utilizará por periodos de tiempo más cortos.

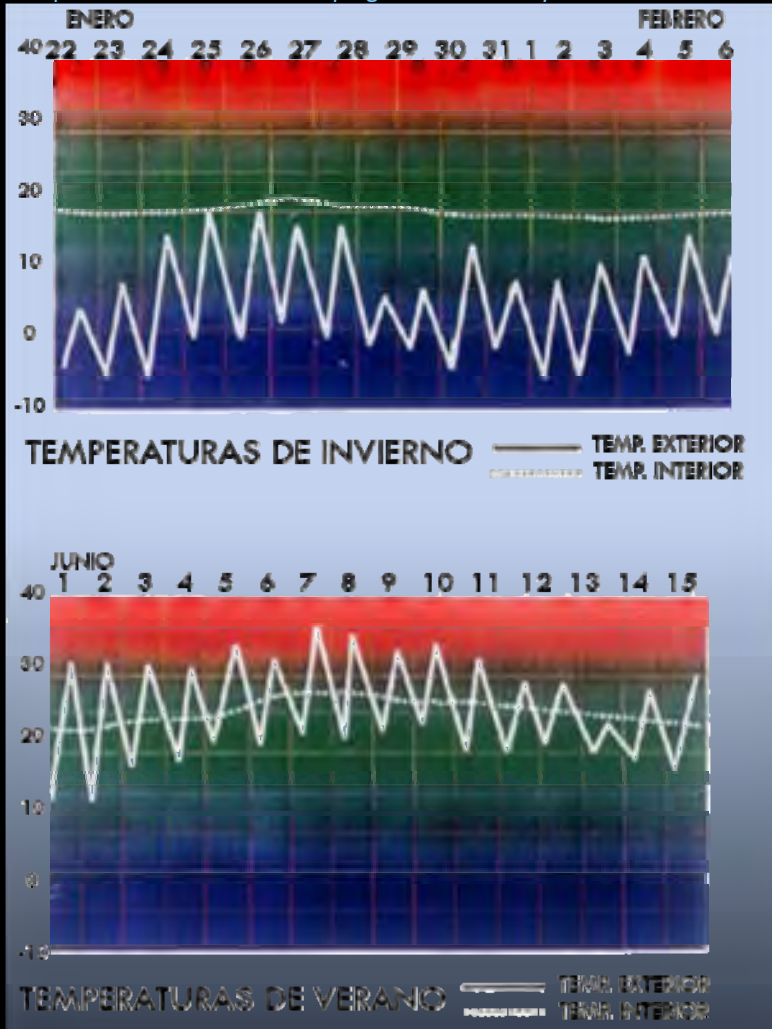
---

<sup>35</sup> GRAM. Mc. Henry, Paul Jr..*Adobe and rammed earth buildings; design and construction*, 4a edición , Tucson, The University of Arizona Press, 1998, Pág. 155.

<sup>36</sup> Idem. Pág. 155

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Reducción térmica de un muro de tierra compactada en Benzon Az. Se muestran variaciones de temperatura exterior e interior en verano e invierno, en una casa de tierra compactada con muros de 24 pulgadas de ancho y estuco al exterior.



Fuente: Rammed Earth Solar Homes  
[www.rammedearthhomes.com](http://www.rammedearthhomes.com)

Traducción de la tabla: oscilaciones de temperatura en una casa de tierra compactada estabilizada en Benzon Arizona.

La gráfica de invierno muestra que bien se gana energía solar con este tipo de muro, el cual es de 24 pulgadas de espesor (60.96 cms) con una capa aislante de estuco en el exterior. El nivel de confort es fácilmente sostenido en esta elevación de 4000'. la gráfica de verano también muestra el efecto de moderación de los muros anchos, el cual es mejorado con un enfriador evaporativo.



Propiedades térmicas de un muro de *tapia*

**Expansión térmica:**

0.012 mm/m por °C

**Coefficiente de conductividad:**

0.44 a 0.57 Kcal/h m °C

**Calor específico** C= 0.2 Kcal/kg

**Coefficiente de transmisión K para un muro de tierra estabilizada**

- Muro de 20 cm: 1.6 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 1.30 W / m<sup>2</sup> °C
- Muro de 30 cm: 1.2 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 1.00 W / m<sup>2</sup> °C
- Muro de 40 cm: 1.0 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 0.86 W / m<sup>2</sup> °C
- Muro de 50 cm: 0.8 Kcal/h m<sup>2</sup> °C 0.70 W / m<sup>2</sup> °C

**Tiempo de retraso térmico**<sup>37</sup>

Para un muro de 40 cm= entre 8 y 12 hrs.

---

<sup>37</sup> DOAT P, A.HAYS,H. HOUBEN, S. MATUK & F. VITOUX (CRATerre France), *Building with earth*, Primera edición en inglés, 1991, New Delhi India. Pág 185

## D. PROPIEDADES ECONÓMICAS

### 1. Costo x m<sup>2</sup>

Para el análisis de costo se utilizó el método descrito por Suarez Salazar en su Manual de Costos y Procedimientos de Construcción, de donde se extrajeron los cuadros de rendimiento para los conceptos preliminares así como los modelos de los precios unitarios. El rendimiento del muro de tierra compactada se obtuvo de las experiencias personales de construir con este sistema.

El m<sup>2</sup> de muro tapia estabilizada de un espesor de 40 cm aparente, tiene un precio entre \$249,973.

El m<sup>2</sup> de muro de tabique tradicional espesor de 14 cm con aplanado y pintura, tiene un precio \$530.810 (conservador) y \$203.406 (situación ideal).

Por lo tanto, un muro de tierra compactada puede ser desde 0.81 veces un muro de tabique, es decir más barato y hasta 2.1 veces, o sea, el doble de caro. En una situación intermedia, el costo de un muro de tierra es 1.06 veces el de uno de tabique con aplanado y pintura.

Se debe de considerar como una inversión a corto plazo, ya que los ahorros que se tendrán en energía y en clima sobre todo en las áreas extremosas, redituarán la inversión satisfactoriamente.

El 100% de las personas encuestadas en Calpan Puebla dijeron que construir muros de tierra era barato. **(Ver anexo 3: encuesta)**

TABLA DE COMPARACIÓN DE ÁREA EN M<sup>2</sup> DE MURO (c) QUE PUEDE SER CONSTRUIDA POR DÍA, POR UNA PERSONA<sup>38</sup>

Consideraciones	Tierra compactada (d)	Adobe (e)	BTC (f)
Tierra sin estabilizar	3	2.1	1.5
Tierra estabilizada	2.5	2.0	1.2
Equipo mínimo deseable	Encofrado y pisón	Tamiz y molde	Tamiz y prensa
Mínimo número de personas en el sitio	2 a 3	1	1
Grado de dificultad	Se requiere conocimiento	mediano	sencillo

c. muro 40 cm de espesor

d. levantamiento de la cimbra, llenado, compactado y remoción de cimbra.

e. tamizado, mezcla, moldeo y construcción de muro.

f. tamizado, producción de bloques y construcción de muro.

\*Se toma en cuenta a partir que la tierra esta lista en el sitio.

<sup>38</sup>DOAT P., HAYS A., HOUBEN H. MATUK S. VITOUX F. *Building with earth*, the mus village society, New Delhy India, 1991. p.170

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

M-001	MURO DE TIERRA COMPACTADA DE 40 CM DE ESPESOR (OPCIÓN 1) En este caso la cimbra se utiliza 6 veces solamente, lo cual es muy conservador					M <sup>3</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIA-LES</b>						
200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)	M2	1.00000	1.00000	\$146.089	\$146.08940
300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO 0,40 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M3	0.41200	0.41200	\$216.595	\$89.23726
400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO 0,00285 M3 + 5% DE DESPERDICIO	M3	0.00300	0.00300	\$161.102	\$0.48330
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 001 ( 2 ALBAÑILES + 4 PEONES)	JOR	6.00000	0.16667	\$1,770.000	\$294.99988
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$530.810</b>

M-001	MURO DE TIERRA COMPACTADA DE 40 CM DE ESPESOR (OPCIÓN 1 CON TIERRA COMPRADA) en este caso la cimbra se utiliza 12 veces lo cual es coherente con la práctica común					M <sup>2</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIA-LES</b>						
200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)	M2	1.00000	0.50000	\$146.089	\$73.04470
300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO 0,40 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M3	0.41200	0.41200	\$216.595	\$89.23726
400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO 0,00285 M3 + 5% DE DESPERDICIO	M3	0.00300	0.00300	\$161.102	\$0.48330
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 004 ( 1 ALBAÑILES + 4 PEONES)	JOR	6.00000	0.16667	\$624.000	\$103.99996
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$266.765</b>

Como puede apreciarse la variación entre el muro de tabique y el muro de tierra compactada no es significativa, y no afectaría el costo global de manera importante sobre todo si se utiliza de manera parcial. Cabe resaltar que si se aprovecha la tierra obtenida de la excavación de cimentaciones, e instalaciones subterráneas el costo puede decrecer aún más. En la tabla se observa éste caso bajando a \$203.406m<sup>2</sup> de muro de tierra compactada. (Ver anexo 4: análisis de costos de muro de tierra compactada)

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

M-001	MURO DE TIERRA COMPACTADA DE 40 CM DE ESPESOR (OPCIÓN 2 CON TIERRA DEL LUGAR) en este caso la cimbra se utiliza 12 veces lo cual es coherente con la práctica común					M <sup>2</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
<b>MATERIA- LES</b>						
200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)	M2	1.00000	0.50000	\$146.089	\$73.04470
300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO 0,40 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M3	0.41200	0.41200	\$62.811	\$25.87807
400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO 0,00285 M3 + 5% DE DESPERDICIO	M3	0.00300	0.00300	\$161.102	\$0.48330
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 004 ( 1 ALBAÑILES + 4 PEONES)	JOR	6.00000	0.16667	\$624.000	\$103.9999
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$203.406</b>

<b>MURO DE TABIQUE CON APLANADO Y PINTURA</b>	<b>\$249.973</b>
---	------------------

Sin embargo, si la mano de obra se realiza por parte de los propietarios y si la tierra tiene el color y propiedades deseadas, siendo esta una situación ideal, los costos bajan considerablemente. De esta forma, solamente se tiene que invertir en la renta o realización de la cimbra y en el agente estabilizador.

## 2. Caso de estudio con poca inversión económica

En condiciones adecuadas es un sistema económico accesible para cualquiera, ejemplo Calpulalpan Tlaxcala.



Imagen cortesía Arq. Eugenio Aburto

En Calpulalpan Tlaxcala, como parte del apoyo a los campesinos, en los años 60's, se realizaron una serie de viviendas donde se utilizó la tierra del lugar, se recicló la cimbra de una vivienda a otra y la mano de obra fue de los vecinos, poniendo todo el esfuerzo en cada casa pues no sabían cuál sería la suya aún. Esta situación fue propia para economizar: la vivienda en serie, la mano de obra de los propietarios y el material del sitio fueron indispensables en este caso para que prácticamente fueran gratis las casas construidas.

## E. PROPIEDADES AMBIENTALES

### 1. Material Renovable

En lo que respecta a los materiales es necesario conocer los recursos naturales de cada lugar y la medida en que estos se pueden renovar. Aunque, hay algunos materiales que globalmente se pueden catalogar como ecológicos, por su relación con productos naturales de amplia existencia, como el adobe, las cañas de bambú, *la tierra*, los ladrillos de barro cocido, la construcción con cal y el cemento puzolánico.<sup>39</sup>

### 2. Consumo de energía

Las construcciones de tierra son consideradas alrededor del mundo como confortables. “La tierra tiene futuro... una tonelada de tierra estabilizada con 4% del cemento supone un consumo de 55 termias, frente a las 170 del hormigón (concreto), las 700 de la cerámica o las 7,800 de la lana mineral”<sup>40</sup> Dr. Julián Salas.

El consumo de energía para producir y transportar un material de construcción, antes de convertirse en una estructura se calcula en B.T.U.’s. Los materiales de tierra son menores en B.T.U.’s al compararlos con materiales comunes. En Albuquerque N.M. , P.G. McHenry Jr. determinó la energía consumida en la fabricación de un block de adobe, usando equipo mecánico moderno e incluyendo la entrega a algún lugar en la misma ciudad. Su resultado junto con otros antes estudiados nos refleja lo siguiente:

Se puede demostrar que los muros de tierra compactada estabilizada tienen menos energía incorporada que los ladrillos o bloques tradicionales. También tienen una menor energía incorporada que los que no estén estabilizados, pues el mantenimiento y las reparaciones que se requieren a largo plazo también son tomados en cuenta.<sup>41</sup>

Tabla : Consumo de energía primaria durante la producción		
Materiales base crudos	MJ/kg	Temperatura de producción
Arena y grava	0.1	-
Tierra para construcción cuando es comprimida	0.1	-
Arcilla alta cocción	3.5	1050-1300
Arcilla bien cocida	3	800-1050
Arcilla cocción media	2.5	500-800
Arcilla cocción baja	2	350-500
Azulejos	8	1100 (apx.)
Arcilla expandida	2	1150 (apx.)
Block zytan	4	1200 (apx.)

<sup>39</sup> ARQ PEREZ ELIZALDE LUCILA, Artículo: Construcción Sustentable, *Eco2site*, agosto 2001.

<sup>40</sup> BARBETA Solá Gabriel, *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*, Tesis doctoral, Barcelona 2002

<sup>41</sup> © EARTH STRUCTURES (EUROPE) LIMITED 2008 ,The Manor, Ashley, Market Harborough, LE16 8HE, UK., T:+44 (0)1858 565436 F: +44 (0)1858 565536 E: info@earthstructures.co.uk, Company No: 5104506

### 3. Salud

La utilización de materiales ecológicos permite la realización de edificios saludables y respetuosos con el medio ambiente. A la hora de construir una vivienda ecológica, se deben tener en cuenta diversos factores, en cuanto a los materiales, es primordial utilizar materias primas lo menos elaboradas posibles y en lo posible materiales de procedencia local, como *la tierra*, con lo que se consigue reducir los costes y una mayor integración de la construcción con su entorno. “Por regla general, los materiales de construcción naturales son sanos.”<sup>42</sup>

El problema de algunos materiales orgánicos suele ser su bajo rendimiento técnico, sin embargo, en la actualidad, están siendo reexaminados y mejorados a causa de su indudable salubridad. A medida que estos materiales reciben un nuevo impulso, se están desarrollando nuevas técnicas para utilizarlos de formas diferentes. Unos de los principales materiales orgánicos son los productos de *tierra*. Los productos derivados de la *tierra* más habituales son los bloques de tierra, los ladrillos cocidos al sol y los materiales enlucidos. Contienen escasa energía incorporada, no son tóxicos y, si se trabajan bien, disfrutan de una gran durabilidad.<sup>43</sup>

A diferencia de la mayoría de los materiales de construcción, la tierra no es un material tóxico y su mantenimiento es mínimo. Inspira invertir en un legado: La tierra compactada estabilizada resiste el paso del tiempo para las generaciones futuras.”<sup>44</sup>

Como la arcilla mantiene sus cualidades de absorción de tóxicos intactas, la irradiación del adobe sobre las personas es muy positiva.<sup>45</sup>

Existe la equivocada idea de que vivir en casas de tierra será sinónimo de suciedad y enfermedades por el polvo que se desprende de las paredes, el 100% de las personas encuestadas en Calpan Puebla dijeron que los muros de tierra de sus casas desprenden poco polvo. (**Ver anexo 3: encuesta**)Inclusive algunos comentaron que no necesitaban ningún tipo de sello.

---

<sup>42</sup> EDWARDS Brian, *Guía Básica de la Sostenibilidad*, Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 2004, pág. 81-3.

<sup>43</sup> IDEM, pág. 82-3.

<sup>44</sup> Copyright © 2003-2007, *Terra Firma Builders Ltd.*, 212 Cusheon Lake Road, Salt Spring Island BC V8K 2B9, Canada, 250-537-9355 Fax 250-537-9361, <http://www.terrafirmabuilders.ca>, marzo 2008.

<sup>45</sup> <http://www.terra.org/html/s/rehabilitar/bioconstruccion/materiales/tapial.html>, Septiembre 2009

**F. PROPIEDADES ESTÉTICAS**



Detalle de textura de muro experimental por Nubia C. Valles Molina, en la UAM Xochimilco

Imagen. NCVM

La belleza de un objeto es un juicio de valoración que puede emitirse respecto de una serie de entidades psíquicas, inclusive también respecto de sentimientos que de una u otra manera pueden ser actualizados mediante la percepción. La apreciación puede variar debido diversos factores donde influyen incluso los culturales y no sólo los físicos.

Si pensamos en que una obra arquitectónica es un objeto que, además de cumplir con las funciones básicas de protección y resguardo –inherentes a cualquier edificación–, también puede cubrir las necesidades espirituales y anímicas del ser humano, mediante una expresión plástica, entonces podríamos considerarla también como una obra de arte.

La experiencia estética y el arte como creación implican y traen consigo una forma de acercarse al mundo y de saber de nuestro entorno, pues moviéndose por fuera de los márgenes que se le imponen

como un simple conocimiento de la realidad, se trastocan las reglas que definen lo conocido y trascienden la esfera de lo cognoscible, creando sus propias referencias.<sup>46</sup>

No es producto de la casualidad que desde épocas remotas, paralelamente a la vivienda de los hombres se crearan edificios diseñados de tal suerte que sus formas y detalles permitieran a los individuos tener una experiencia estética que pudiera aproximarlos a lo divino.<sup>47</sup> La naturaleza es lo divino.

En la era contemporánea, los avances tecnológicos y las formas arquitectónicas han cambiado, incluso, el concepto de funcionalidad; sin embargo, la necesidad del ser humano de experimentar la belleza o la majestuosidad de un espacio arquitectónico sigue siendo la misma desde la antigüedad.

La estética juega un papel fundamental en el atractivo de la tierra compactada, es un fuetazo de deslumbramiento o conmoción. Es un reflejo de los gustos y necesidades de un cliente que se involucró en el diseño de ellos, delimitando sus preferencias y plasmando sus emociones.

El hombre término medio, que no es artista ni ciento por ciento utilitario, asigna un valor muy alto a las cosas formalmente *bellas*.<sup>48</sup>

## 1. Significado mitológico y cultural de la tierra

La palabra tierra tiene raíces entrelazadas en las entrañas de cada uno de los seres humanos, para empezar el planeta en el que vivimos se llama así; Tierra, pero ¿por que? Los nombres de los planetas de nuestro sistema solar proceden de la mitología pre helénica, hacen alusión a diferentes dioses y la Tierra es la madre de todos los dioses, se refiere a Gea, la diosa más antigua. De ahí que geos signifique tierra, en el sentido de fertilidad, de la madre que produce la vida, el alimento y la protección.

En el aspecto de protección encontrado en la madre naturaleza, encontramos abundantes recursos, los árboles, las cuevas y la tierra, el suelo que no solamente produce vida y alimentos sino el suelo con sentido de pertenencia, las tierras que son propiedades y generadoras de orgullo de sus dueños. El suelo también produce el hábitat natural, de ahí que la construcción con tierra adquiera una connotación de pertenencia y de calidez, como quien recibe el abrazo de su madre, como la madre naturaleza que provee protección.

---

<sup>46</sup> Ob.cit. Casa del tiempo vol. VII Época III número 87 [en línea] MAZZOTI Pabello Giovana, Alcaraz Romero Víctor Manuel, Arte y experiencia estética como forma de conocer.

<sup>47</sup> Ob.cit. Boletín de arquitectura [en línea] numero 272

<sup>48</sup> IDEM pag.167



## 2. Las modalidades de la percepción

La forma visual, el color, la percepción de la iluminación y la textura son todas percepciones visuales producidas por estímulos ópticos. La superficie táctil y la forma aptica se perciben mediante los dedos y las manos.<sup>49</sup> Cada modalidad de percepción está estructurada de modo especial.

### a) textura

La textura es una percepción cuya apreciación depende ya sea de variaciones en el color local de una superficie, ya sea de variaciones en luz y sombra. En el primer caso la experimentación es de textura plana, en el segundo caso de textura profunda. La textura se presenta ordenada o desordenada y en diferente escala. La textura facilita la aparición de colores de superficie y dificulta la de los colores de campo.

### b) superficie táctil

Martin Rauch ha probado que la tierra compactada se puede combinar con vidrio, madera, metal, pastas de colores y cerámicas en marcos de madera, pisos y paredes para crear Arquitectura.<sup>50</sup>

Las capas de tierra con diferentes agregados, no solamente se sienten diferentes al tacto, sino que también se pueden ubicar de diferentes maneras creando ritmos diferentes.

Ritmo viene de la palabra griega rhein, que significa fluir. Según Klages es primordialmente algo que se presenta con fluidez, un continuo y sucesivo cambio en las transiciones graduales entre dos posiciones límites.

Para que un estímulo origine una sensación agradable de ritmo: el estímulo no debe ser constante, sino que debe estar sometido a cambios incesantes no demasiado regulares. Si no se toma en consideración esto, se obtendrá una experiencia de monotonía en lugar de ritmo. La manera en que debe variar el estímulo solamente puede establecerse juzgando las percepciones que se obtienen en pruebas con distintas alternativas hasta encontrar algo que es juzgado como satisfactorio por las personas encargadas de emitir el juicio.<sup>51</sup>

Los agregados de diferentes tamaños no sólo provocan la unión de la mezcla sino que hacen que la textura se aprecie.



La mayoría de los tonos de la tierra son oscuros, por ello se relacionará al muro de tierra con pesadez, lo cual genera una estabilidad psicológica, como beneficio, al percibirte protegido.



Muro de tierra experimental realizado por NCVM.

<sup>49</sup> HESSELGREN Sven, *Los medios de expresión de la arquitectura*, editorial universitaria de Buenos Aires, Argentina 1962, pág.8.

<sup>50</sup> KAPFINGER, Otto, *Martin Rauch Rammed Earth* | Lehm und Architektur | *Terra Cruda*. Australia, 2001, pág. 13.

<sup>51</sup> IDEM, pág.162








Junto con el ritmo, parece que la experiencia del equilibrio en una composición es una de las experiencias estéticamente más valiosas de las que se basan en la tendencia a la transformación.

**c) Color**

Los colores oscuros se relacionan con pesadez y los claros con liviandad.<sup>52</sup>

Según el 75% de las personas encuestadas en Calpan Puebla, el color y la textura de los muros de tierra de sus casas les parece agradable. (Ver anexo 3: encuesta)

Tabla: Marrón y sus matices:

Nombre	Muestra	HTML	RGB			HSV		
<b><u>Marrón</u></b>		#964B00	150	75	0	30°	100%	59%
<b><u>Caqui</u></b>		#94812B	148	129	43	49°	55%	37%
<b><u>Ocre</u></b>		#CC7722	204	119	34	30°	83%	80%
<b><u>Pardo</u></b>		#964B00	150	75	0	30°	100%	59%
<b><u>Cobre</u></b>		#B87333	184	115	51	29°	29%	72%
<b><u>Cobre Pálido</u></b>		#DA8A67	218	138	203	18°	56%	85%
<b><u>Borgoña</u></b>		#800020	128	0	32	345°	50%	50%

<sup>52</sup> HESSELGREN Sven, *Los medios de expresión de la arquitectura*, editorial universitaria de Buenos Aires, Argentina 1962, pág.253

### 3. Potencial de transformación

Un aparente primitivo, amorfo material es transformado en una estructura refinada que se comunica con todos los sentidos.<sup>53</sup> Los resultados que se pueden obtener con la tierra compactada son ilimitados. En las imágenes anteriores se muestran dos ejemplos de muros donde el uso de diferentes colores da un resultado artístico muy interesante. La creatividad y una técnica excelente son la clave para lograr resultados novedosos.



<sup>53</sup> KAPFINGER, Otto, *Martin Rauch Rammed Earth* | Lehm und Architektur | *Terra Cruda*. Australia, 2001, pág. 11.

#### IV. PRUEBAS DE LABORATORIO

##### A. ABSORCIÓN CAPILAR

**Objetivo:**

Con el fin de obtener una idea del comportamiento de absorción capilar de un muro de tierra compactada, se realizaron las siguientes pruebas en el laboratorio de la UAM Xochimilco.

Cabe mencionar que las muestras se tomaron del mismo muro de prueba que se analizó para fines estéticos y para obtener un dato nacional de resistencia a la compresión. Este muro fue realizado con materiales disponibles en México D.F. por la autora de este documento con ayuda de 2 personas. (*Ver anexo 1: Fotografías de construcción de muros de tapia*)

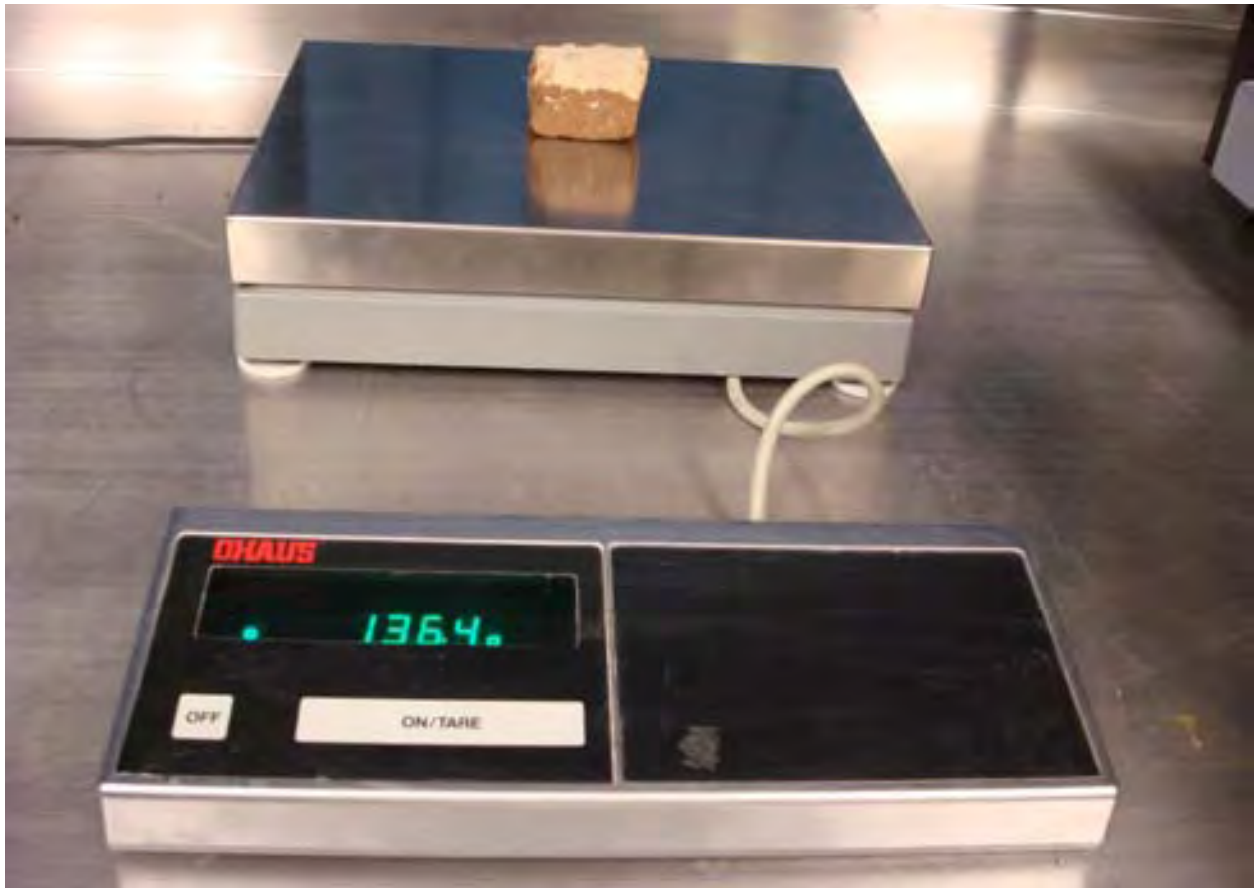
**Equipo:**

1. Báscula digital con precisión en gramos
2. Servilleta absorbente y base
3. Agua
4. Cubo de tierra compactada
5. Cronómetro

**Procedimiento:**

1. Extraer 3 muestras de forma cúbica, donde A medía 4.5 cm de ancho, 5.0 cm de largo y 3.5 cm de alto, B medía 4.3 cm de ancho, 5.6 cm de largo y 4.0 cm de alto, C medía 3.5 cm de ancho, 6.0cm de largo y 4.0 de alto.
2. Vaciar agua hasta que la servilleta quede completamente impregnada
3. Colocar muestra de tierra compactada durante 30 segundos
4. Retirar del agua y pesar
5. Continuar humedeciendo en periodos iguales hasta que el nivel de saturación de humedad de la tierra esté completo.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES



Fotografías: Nubia Cárol Valles Molina.

Arriba equipo utilizado para prueba de absorción capilar, al centro báscula con muestra humedecida parcialmente, abajo tres muestras humedecidas completamente.

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA A				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso (gramos)	Absorción de agua por intervalo, (gr)
00:00	INICIO	0	113.8	0.0
00:30			118.8	5.0
01:00			121.4	2.6
01:30			125.0	3.6
02:00			126.5	1.5
02:30			127.9	1.4
03:00			129.2	1.3
03:30			130.3	1.1
04:00			131.3	1.0

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Tiempo Min:seg	PRUEBA A Nivel de absorción	Incremento de peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
04:30			132.4	1.1
05:00			133.3	0.9
05:30			134.0	0.7
06:00			134.7	0.7
06:30			135.6	0.9
07:00			136.3	0.7
07:30			136.9	0.6
08:00			137.4	0.5

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

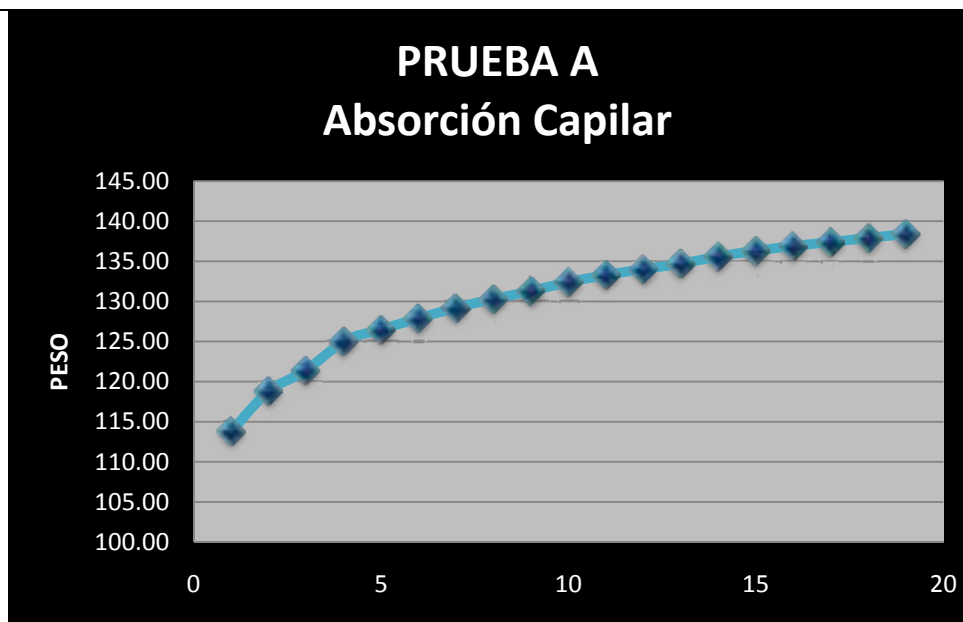
Tiempo Min:seg	PRUEBA A Nivel de absorción	Incremento de peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
08:30			137.9	0.5
09:00			138.4	0.5
09:30			138.8	0.4
10:00			139.1	0.3
10:30			139.6	0.5
11:00			140.0	0.4
11:30			140.3	0.3
12:00			140.6	0.3



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Tiempo Min:seg	PRUEBA A Nivel de absorción	Incremento de peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
12:30			140.9	0.3
13:00			141.1	0.2
13:30			141.3	0.2
14:00			141.6	0.3
14:30			141.8	0.2
15:00			142.0	0.2

CANTIDAD DE ABSORCIONES	PESO
INICIO	113.80
1	118.80
2	121.40
3	125.00
4	126.50
5	127.90
6	129.20
7	130.30
8	131.30
9	132.40
10	133.30
11	134.00
12	134.70
13	135.60
14	136.30
15	136.90
16	137.40
17	137.90
18	138.40
19	138.8
20	139.10
21	139.60
22	140.00
23	140.30
24	140.60
25	140.90
26	141.10
27	141.30
28	141.60
29	141.80
30	142.00





















Se puede observar en la gráfica que la penetración de humedad a la tierra compactada disminuye conforme aumentan los sumergimientos, es decir, que la absorción más rápida se da al principio.



















El peso inicial, sin agua, fue de 113.80 gramos, después de 30 sumergimientos de 30 segundos cada uno, es decir, después de 15 minutos en sumergimiento, la muestra saturada de agua pesaba 142.00 gramos.

La absorción de agua fue de 26.2 gramos.

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

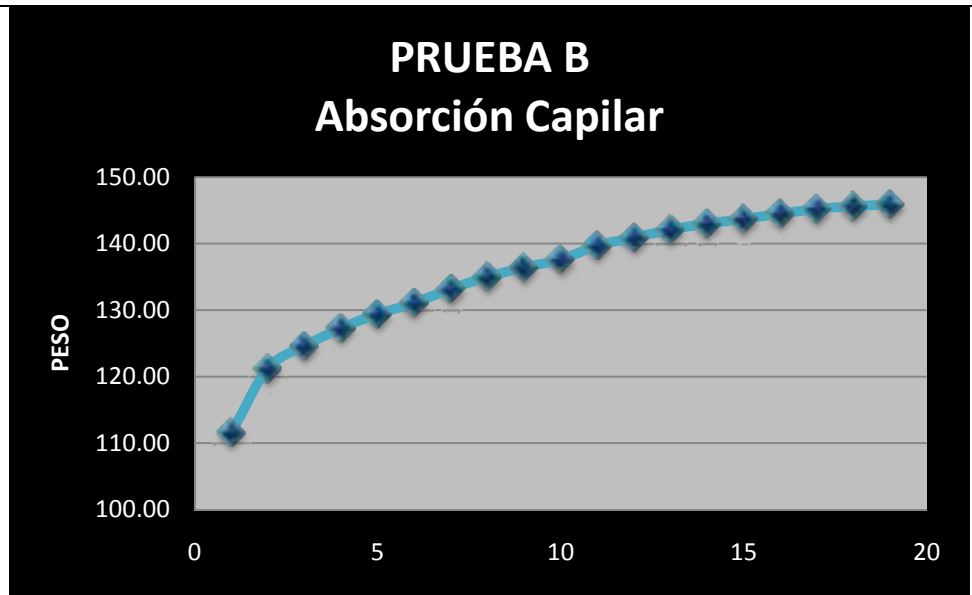
PRUEBA B				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
00:00	INICIO	0	111.6	0.0
00:30			121.2	9.6
01:00			124.6	3.4
01:30			127.3	2.7
02:00			129.4	2.1
02:30			131.1	1.7
03:00			133.2	2.1
03:30			135.0	1.8
04:00			136.4	1.4
04:30			137.6	1.2

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

05:30 PRUEBA B				
06:00	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
05:00			139.7	2.1
05:30			140.9	1.2
06:00			142.1	1.2
06:30			143.0	0.9
07:00			143.7	0.7
07:30			144.5	0.8
08:00			145.2	0.7
08:30			145.6	0.4
09:00			145.9	0.3

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

CANTIDAD DE ABSORCIONES	PESO
INICIO	111.60
1	121.20
2	124.60
3	127.30
4	129.40
5	131.10
6	133.20
7	135.00
8	136.40
9	137.60
10	139.70
11	140.90
12	142.10
13	143.00
14	143.70
15	144.50
16	145.20
17	145.60
18	145.90









Se puede observar en la gráfica que la penetración de humedad a la tierra compactada disminuye conforme aumentan los sumergimientos, es decir, que la absorción más rápida se da al principio.

















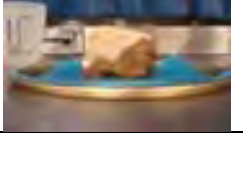

El peso inicial, sin agua, fue de 111.60 gramos, después de 18 sumergimientos de 30 segundos cada uno, o sea, después de 9 minutos en sumergimiento, la muestra saturada de agua pesaba 145.60 gramos.

La absorción de agua fue de 34.00 gramos.



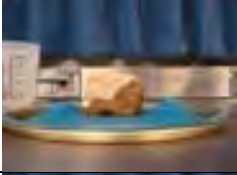











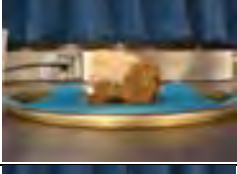



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
00:00	INICIO	0	134.0	0.0
00:30			138.8	4.8
01:00			140.4	1.6
01:30			141.6	1.2
02:00			144.0	2.4
02:30			145.0	1.0
03:00			146.1	1.1
03:30			146.8	0.7
04:00			147.6	0.8
04:30			148.4	0.8

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES










PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
05:00			149.3	0.9
05:30			150.0	0.7
06:00			150.8	0.8
06:30			151.3	0.5
07:00			151.9	0.6
07:30			152.4	0.5
08:00			153.1	0.7
08:30			153.5	0.4
09:00			154.0	0.5

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
09:30			154.5	0.5
10:00			155.0	0.5
10:30			155.4	0.4
11:00			155.8	0.4
11:30			156.2	0.4
12:00			156.7	0.5
12:30			157.4	0.7
13:00			158.0	0.6
13:30			158.5	0.5



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
14:00			158.9	0.4
14:30			159.3	0.4
15:00			159.7	0.4
15:30			160.0	0.3
16:00			160.3	0.3
16:30			160.6	0.3
17:00			161.0	0.4
17:30			161.4	0.4


MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
18:00			161.8	0.4
18:30			162.1	0.3
19:00			162.5	0.4
19:30			162.9	0.4
20:00			163.3	0.4
20:30			163.6	0.3
21:00			163.8	0.2
21:30			164.0	0.2

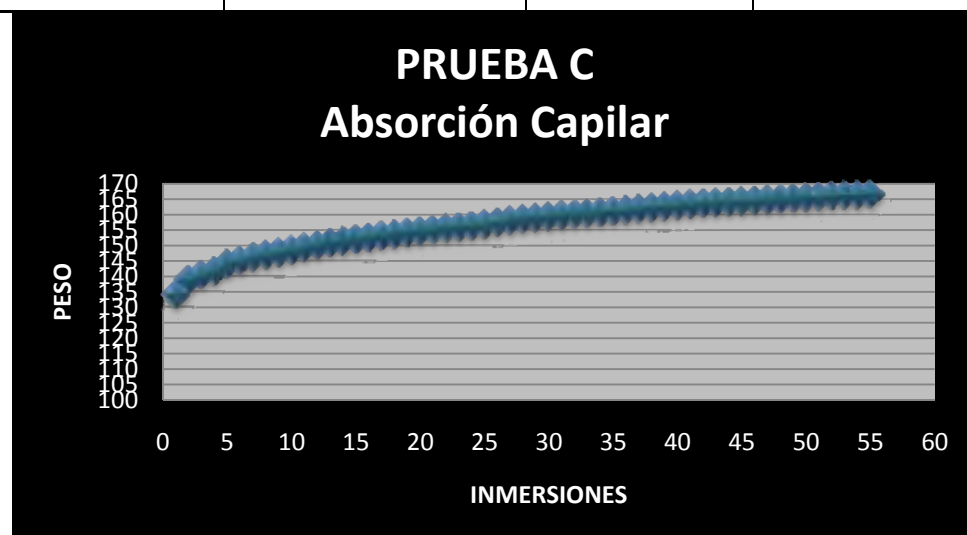
MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
22:00			164.3	0.3
22:30			164.5	0.2
23:00			164.7	0.2
23:30			164.9	0.2
24:00			165.2	0.3
24:30			165.4	0.2
25:00			165.7	0.3
25:30			166.0	0.3

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

PRUEBA C				
Tiempo Min:seg	Nivel de absorción	Incremento en peso	Peso en gramos	Absorción de agua por intervalo, (gr)
26:00			166.2	0.2
26:30			166.3	0.1
27:00			166.5	0.2

	PESO (gr)
INICIO	134.00
1	138.80
2	140.40
3	141.60
4	144.00
5	145.00
6	146.10
7	146.80
8	147.60
9	148.40
10	149.30
11	150.00
12	150.80
13	151.30
14	151.90
15	152.40
16	153.10
17	153.50
18	154.00
19	154.50
20	155.00
21	155.40
22	155.80
23	156.20
24	156.70
25	157.40
26	158.00
27	158.50
28	158.90
29	159.30
30	159.70
31	160.00
32	160.30
33	160.60

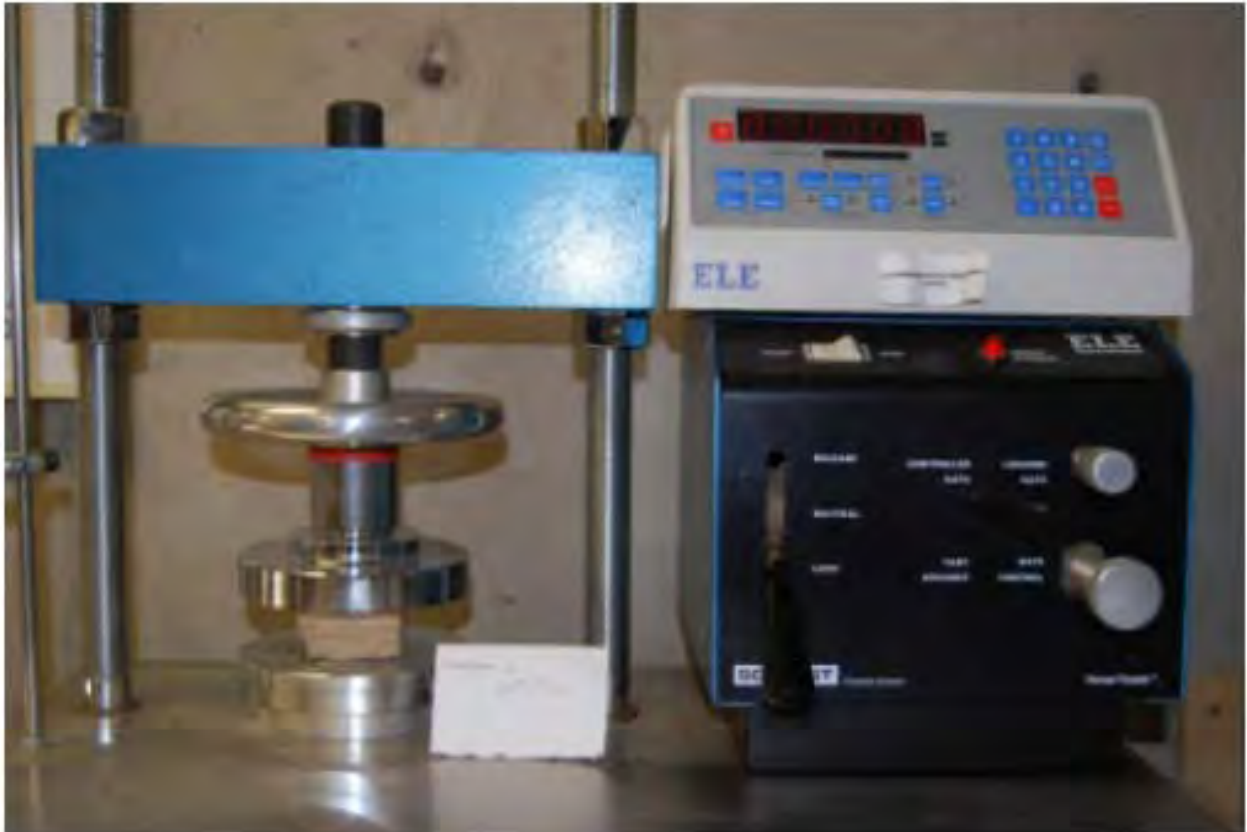


	PESO	ABSORCIÓN	PESO	ABSORCIÓN	PESO
18	154.00	34	161.00	49	165.40
19	154.50	35	161.40	50	165.70
20	155.00	36	161.80	51	166.00
21	155.40	37	162.10	52	166.20
22	155.80	38	162.50	53	166.30
23	156.20	39	162.90	54	166.50
24	156.70				
25	157.40				
26	158.00				
27	158.50				
28	158.90				
29	159.30				
30	159.70				
31	160.00				
32	160.30				
33	160.60				

Se puede observar en la gráfica que la penetración de humedad a la tierra compactada disminuye conforme aumentan los sumergimientos, es decir, que la absorción más rápida se da al principio.

El peso inicial, sin agua, fue de 134.00 gr., después de 54 sumergimientos de 30 segundos cada uno, o sea, después de 27 minutos en sumergimiento, la muestra saturada de agua pesaba 166.50 gramos. La absorción de agua fue de 32.5 gr.

**B. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**



Fotografías: Dr. Luis Fernando Guerrero Baca y Nubia Valles  
Arriba: proceso para obtener muestras. Al centro: máquina universal durante una prueba. Abajo: cuatro pruebas después de obtener resistencia a la compresión.

## **Resistencia a la compresión**

### **Objetivo:**

Conocer la resistencia a la compresión de un muro de tierra realizado en México D.F. con materiales de la región y compactado a mano.

Cabe mencionar que las muestras se tomaron del mismo muro de prueba que se analizó para fines estéticos y para obtener un dato nacional de resistencia a la compresión. Este muro fue realizado con materiales disponibles en México D.F. por la autora de este documento con ayuda de 2 personas. (**Ver anexo 1: Fotografías de construcción de muros de tapia**)















### **Equipo:**

Máquina digital versa tester tipo ELE International.

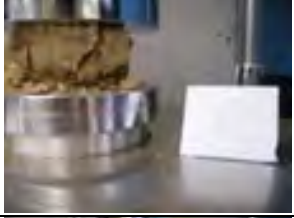



### **Procedimiento:**

Tomar muestras de muro de tierra, de 5 cm x 5 cm aproximadamente, por lo menos con una superficie lisa que se ubicará en la parte inferior, sirviendo como superficie de contacto con la base de la máquina. Los cubos se posicionarán según el sentido de compactación, es decir, como se ubicaban en el muro, con las capas naturales por la compactación en el sentido horizontal.

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Prueba de compresión	Resultado de máquina universal	Lb/in <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
		1,600	112.494
		515	36.209
		1,320	92.808
		1,190	83.668
		1,040	73.121
		800	56.247
		1,225	86.129

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

		975	68.551
		1,335	93.863
<p><b>El resultado de promediar la resistencia obtenida por las 7 pruebas restantes al eliminar el resultado mayor y el menor , es decir eliminando los resultados de las pruebas 1 y 2 es:</b></p>			<b>79.198</b>



## V. APLICACIONES CONTEMPORÁNEAS

¿Qué tipo de construcciones se pueden hacer?

Los muros de tierra poco a poco van adquiriendo credibilidad y con ello su uso se vuelve más frecuente. Las aplicaciones contemporáneas de los muros de tierra compactada se dan en inmuebles de diferentes tipos, brevemente describiré algunos proyecto con diferentes usos alrededor del mundo.

### TWMA

**Uso:** Museo, **Ubicación:** Victoria Australia, **Fecha de Construcción:** 2001, **Arquitecto:** Allan Powell



### CONJUNTO BIO JACARANDAS

**Uso:** Residencia Unifamiliar, **Ubicación:** Ciudad Juárez, Chihuahua, México, **Fecha de Construcción:** 2005, **Arquitecto:** Jorge Calderón Trueba – Nubia C. Valles M.



## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

### PRINTSHOP GUGLER

**Uso:** Oficinas, **Ubicación:** Pielach A., **Fecha de Construcción:** 1999, **Arquitecto:** Ablinger, Vedral & Partner, **muros:** Martin Rauch Lehm Ton Erde Baukunst GmbH, Schllins A



Fuente:  
<http://www.lehmtonerde.at/english/w18.html>

El edificio de oficinas se construyó con 160 elementos de tierra compactada prefabricados, de 1.7 x 1.3 x 0.4 m.

### LENTON BRAE'S WINERY

**Uso:** Bodega, **Ubicación:** Margaret River WA, Australia, **Fecha de Construcción:** 1989, **Arquitecto:** Giles Bruce Tomlinson



Fuente. [www.lentonbrae.com](http://www.lentonbrae.com)

En 1998 el Busselton Shire Council decretó este edificio como patrimonio por su significado arquitectónico

### ESCUELA DE ARTES PLÁSTICAS DE OAXACA

**Uso:** Universidad, **Ubicación:** Oaxaca, México, **Fecha de Construcción:** 2009, **Arquitecto:** Mauricio Rocha



Fuente:  
<http://www.imcy.com/revistacy/arquitectura.htm>

Uno de los grandes retos a resolver fue utilizar un sistema constructivo prácticamente inédito en México con una magnitud de más de 1500 m<sup>3</sup> de tierra compactada.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

### TUCSON MOUNTAIN HOUSE

**Uso:** Vivienda, **Ubicación:** Tucson, EUA, **Fecha de Construcción:** 2001, **Arquitecto:** Rick Joy, Andy Tinucci



### VILLA ROMILLÉ

**Uso:** Casas, **Ubicación:** Rennes, Francia, **Fecha de Construcción:** 1992, **Arquitecto:** OPAC d'I Ile et villaine, Dominique Urien, Rennes



### LKH FELDKIRCH

**Uso:** Hospital, **Ubicación:** Feldkirch Alemania, **Fecha de Construcción:** 1993, **Arquitecto:** Arch. DI Günter Groß, Innsbruck A, Arch. DI Erich Gutmorgeth, Innsbruck A, Arch. DI Anton Kuthan, Bludenz A



## CONCLUSIONES

La tapia es una técnica constructiva que se utiliza en todos los continentes y se clasifica según los materiales que se combinen. Ha trascendido junto con la humanidad y se debe adaptar a las necesidades actuales de refugio.

De manera dispersa en varios países existe interés por unificar información actual del tema y tiene que ser accesible para consultarse en lugares distantes.

El proceso constructivo es sencillo, sin embargo, se requiere de conocimiento sobre el material para que el resultado sea óptimo. Se debe seleccionar adecuadamente la tierra, trabajarla y mantenerla en buen estado. La durabilidad de un muro de tierra está directamente relacionada con el mantenimiento preventivo y con su correcta ejecución.

El desempeño mecánico de los muros de tierra compactada según pruebas realizadas en La Paz, arroja resultados de resistencia a la compresión de 85 kg/cm<sup>2</sup> y coincide con resultados tomados en otros países publicados por CRATerre.

Los muros de tapia tienen un gran potencial de usos donde se requiera aislar acústicamente. Un muro de 40 cm de espesor logra una atenuación para una frecuencia de 500HZ de 56 Db, lo que equivale a una conversación. Ayudando así a disminuir el ruido y por consecuencia reducir el estrés, actitudes agresivas y falta de concentración.

Estos muros permiten un retraso térmico de entre 8 y 12 horas haciéndolos ideales para climas extremos con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche sin ser excluyente de otros climas. Si el clima es húmedo y las lluvias son frecuentes, se debe de tratar y proteger para evitar erosión.

Los costos de construcción pueden ser variables. En condiciones ideales donde la tierra del lugar sea buena y la construcción sea por parte de los dueños, un muro es muy económico, prácticamente lo único que cuesta es el encofrado, mismo que es una inversión.

El m<sup>2</sup> de de tabique tradicional espesor de 14 cm con aplanado y pintura, tiene un precio entre \$249,973. El m<sup>2</sup> de muro de tapia estabilizada de un espesor de 40 cm aparente, tiene un precio entre \$530.810 (conservador) y \$203.406 (situación ideal). Por lo tanto, un muro de tierra compactada puede ser desde 0.81 veces un muro de tabique, es decir más barato y hasta 2.1 veces, o sea, el doble de caro. En una situación intermedia, el costo de un muro de tierra es 1.06 veces el de uno de tabique con aplanado y pintura.

Se debe de considerar como una inversión a corto plazo, ya que los ahorros que se tendrán en energía y en clima sobre todo en las áreas extremosas, redituarán la inversión satisfactoriamente.

La tierra es un material ecológico que abunda en el planeta, no daña el medio ambiente y permite la realización de edificios saludables para el ser humano. Un muro de tapia requiere menos energía incorporada que un material común como el block de concreto, debido a que la extracción del material es sencilla, los consumos de energía por transporte del material son mínimos por llevarse acabo a nivel local y por no requerir que se transforme para utilizarse en obra.

El hombre término medio que no es artista ni ciento por ciento utilitario, asigna un valor muy alto a las cosas formalmente bellas. Un muro de tapia es un reflejo de los gustos y necesidades del cliente que se involucra en su diseño, en éste puede delimitar sus preferencias y plasmar sus emociones, por ello, el valor estético que adquiere un muro único, personalizado, es muy alto y provoca el deleite de los sentidos de la vista y el tacto . Las variaciones plásticas en cuanto a textura, superficie táctil y color se conjugan de manera integral con el gran potencial de transformación de la tierra.

Según los resultados de las pruebas de absorción por capilaridad hechas en laboratorio, para determinar el comportamiento de los muros de tierra compactada, se concluye que la mayor absorción se realiza en el primer contacto con el agua y que la absorción disminuye conforme pasa el tiempo. Pueden existir variaciones de absorción entre un intervalo y otro debido a la diferencia de tamaño y composición de los agregados pétreos, así como de la compactación a que se sometió la tierra, donde las partes más comprimidas son más resistentes a la humedad.

Las muestras con que se realizaron éstas pruebas, tenían un 5% de cemento, aún en esta situación, se hace evidente que la humedad sigue penetrando en el material, lo cual es necesario para que el material “respire”.

La resistencia a la compresión de un muro de tapia estabilizada con el 5% de cemento, construido en México D.F. obtenida del promedio de 9 cubos sometidos a compresión, es de 79.19 kg/cm<sup>2</sup>.

La tierra compactada se puede utilizar en construcciones de diferentes tamaños y con diferentes usos, desde una escultura hasta un museo tanto en ciudades como en el campo.

Países como Australia, Francia y Estados Unidos ya han aceptado en sus códigos oficiales de construcción la tapia, en ellos debemos ver un ejemplo para aceptar y apoyar en México su uso.

La información documentada en español del sistema constructivo es muy poca en México y este documento es un aporte de conocimiento actualizado que antes del mismo no estaba disponible.

En México tiene poco de ser reintroducido el sistema constructivo, afortunadamente las construcciones que se están realizando son de alta calidad y hay una confianza en que la difusión de persona a persona recomendando el sistema sea de gran ayuda para perder mitos que afectan la reputación de las construcciones de tierra. Modernizar el uso de este material modesto pero milenario es una realidad y se puede convertir en una verdadera alternativa a la proliferación de la arquitectura costosa en energías no renovables y de alto impacto ambiental

Demostrar los beneficios de un muro de tierra sirve para que se construyan nuevas edificaciones y para que las que ya existen se valoren y se aliente a su conservación.

Una construcción de tierra debe causar orgullo, no vergüenza, para lograrlo se necesita el conocimiento de la tierra, trabajar con la ciencia y con la experiencia.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS

- AGUILAR Prieto Berenice, *Construir con adobe* fundamentos, reparación de daños y diseño contemporáneo, trillas, México 2008.
- CHIAPPERO Rubén Osvaldo, Maria Clara Supisiche, *Arquitectura en tierra cruda; breves consideraciones sobre la consideración y la restauración*, nobuko, Buenos Aires, 2003.
- DOAT P., HAYS A., HOUBEN H. MATUK S. VITOUX F. *Building with earth*, the mus village society, New Delhy India, 1991
- EASTON David, *The Rammed Earth House Completely Revised Edition*, Chelsea Green Publishing Company, EUA, 2007
- EASTON David, *The Rammed Earth House*. U.S.A, Chelsea Green Publishing Company, EUA, 1996.
- EDWARDS Brian, *Guía Básica de la Sostenibilidad*, Gustavo Gili, S.A., Barcelona, 2004.
- GRAM. Mc. Henry, Paul Jr., *Adobe and rammed earth buildings; design and construction*. 4a edición, Tucson, The University of Arizona Press, 1998,
- GUERRERO Luis, *Patrimonio construido con tierra*, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco, división de Ciencias y Artes para el Diseño 2007.
- HOUBEB Hugo, Guillaud Humbert, *Traité de construction en terre*. Marceille, Éditions Parenthèses, 2006.  
ISBN 978-970-31-0827-5
- JOY Rick, *Desert Works*, Foreword by Steven Holl, introduction by Juhani Pallasmaa, Princeton Architectural press, NY. USA, 2002
- KAPFINGER, Otto, *Martin Rauch Rammed Earth | Lehm und Architektur | Terra Cruda*. Australia, 2001.
- TIBBETS, Joseph M., *The earthbuilders enciclopedia*. Second Edition, Bosque N.M., 2001[CD-ROOM].
- TORRES Amat, D. Félix, *La Sagrada Biblia*. Tomo primero, México D.F, 1940.

### REVISTAS

- *Rammed Earth Book # 9 special issue*, 2001 SWSA ISSN-1093-006X

### DOCUMENTOS EN INTERNET

- CRATerre-ENSAG, *Earth architecture*, [en línea], Francia, actualizado 2 de noviembre 2009 03:54:50. p.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en Internet: <<http://terre.grenoble.archi.fr/expos.php>>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., *Tierra y cemento*, Construcción y Tecnología [en línea], México, publicado en 2009, actualizado 28 de septiembre de 2009 10:02:05 a.m. [citado 02 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.imcyc.com/revistacyt/arquitectura.htm](http://www.imcyc.com/revistacyt/arquitectura.htm)>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., artículo suelo-cemento 1a parte [en línea], México, [citado 02 marzo 2008]. Disponible en World Wide Web: <<http://www.imcyc.com/ct2008/mar08/ingenieria.htm> 03/04/08>

## PAGINAS WEB

- AKTERRE, la construction en terre crue, [en línea], actualizado 28 de noviembre de 2005 02:18:51 a.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.akterre.com/akterre\\_Technique/construction.html#pise](http://www.akterre.com/akterre_Technique/construction.html#pise)>
- Boletín de arquitectura [en línea] numero 272, citado 21 de agosto 2008, Disponible en World Wide Web: <[www.buscadordearquitectura.com](http://www.buscadordearquitectura.com)>
- Casa del tiempo vol. VII Época III número 87 [en línea] MAZZOTI Pabello Giovana, Alcaraz Romero Víctor Manuel, Arte y experiencia estética como forma de conocer. [citado 18 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.difusioncultural.uam.mx/casadeltiempo/87\\_abr\\_2006/casa\\_del\\_tiempo\\_num87\\_31\\_38.pdf](http://www.difusioncultural.uam.mx/casadeltiempo/87_abr_2006/casa_del_tiempo_num87_31_38.pdf)>
- China today [en línea], jueves, [citado 28 noviembre 2009], actualizado 27 de noviembre de 2008 12:15:08 a.m. Disponible en World Wide Web: <[www.chinatoday.com.cn/hoy/2008n/s2008n11/p52.htm](http://www.chinatoday.com.cn/hoy/2008n/s2008n11/p52.htm)>
- CRATerre-ENSAG [en línea], actualizado 2 de noviembre de 2009 07:09:59 p.m., [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en Internet: <<http://terre.grenoble.archi.fr>>
- Earth Architecture. org [en línea], actualizado 02 de noviembre de 2009 06:55:11 p.m., publicado 25 de octubre 2009, [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.eartharchitecture.org](http://www.eartharchitecture.org)>.
- Información sobre materiales de construcción: Tierra, suelo, laterita, [en línea], actualizado 21 de noviembre de 2005 04:12:20 p.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en Internet: <<http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/CONMATES/SK01MS05.HTM> .
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [en línea], actualizado 08 de enero de 2008 01:33:56 p.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)>
- Lehm Ton Erde, Martin Rauch [en línea], actualizado 14 de noviembre de 2008 11:58:32 a.m., [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.lehmtonerde.at/english](http://www.lehmtonerde.at/english)>
- MERCHE S. Calle, Contaminación acústica, WASTE magazine [en línea], actualizado 05 de marzo de 2009 12:20:07 p.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en Internet: <<http://waste.ideal.es/acustica.htm>>
- PEREZ Elizalde Lucila, *Construcción Sustentable*, Eco 2 site [en línea], Argentina, actualizado 2 de noviembre de 2009 05:18:41 p.m., publicado agosto 2001, [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.eco2site.com/arquit/const%20sustent.asp](http://www.eco2site.com/arquit/const%20sustent.asp)>
- Rammed Earth South Korea [en línea], actualizado 13 de octubre de 2009 02:58:50 a.m., [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en Internet: <<http://rammed-earth-southkorea.blogspot.com/>> , 2009.
- Redefining Progress - The Nature of Economics, [en línea], Disponible en World Wide Web: <[www.myfootprint.org](http://www.myfootprint.org)>
- Terra org ecología práctica [en línea], actualizado 01 de noviembre de 2009 10:10:02 p.m. Disponible en World Wide Web: <[www.terra.org](http://www.terra.org)>
- The Adobe Association of the Southwest [en línea], actualizado 02 de noviembre de 2009 07:01:40 p.m., [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.adobeasw.com](http://www.adobeasw.com)> ,
- The Getty Research Institute [en línea], actualizado 29 de octubre de 2009 09:32:05 a.m. [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web: <[www.getty.edu](http://www.getty.edu)>

### TESIS EN INTERNET

- BARBETA Gabriel, *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. tutor Ferran Gomá i Ginestà, tesis doctoral, Escola Tecnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, España, 2002, [citado 2 noviembre 2009]. Disponible en World Wide Web en: [www.tesisenxarxa.net/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519//01PRESENTACIO.pdf](http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519//01PRESENTACIO.pdf)
- JAQUIN Paul, *Historic Rammed Earth*, Durham University, PhD tesis, enero 2008, [citado 2 noviembre 2009], actualizado 05 de octubre de 2009 02:44:15 p.m., [citado 2 noviembre 2009], Disponible en World Wide Web en: <http://www.historicrammedearth.co.uk>

### CURSOS

- Artesanos de Arquitectura de Tierra en América Latina y del Caribe, la técnica, la tradición oral y formas de transmitir el oficio, Oficina de la UNESCO en México, en colaboración con el Centro del Patrimonio Mundial- UNESCO, auspiciado por Fondos Extra presupuestarios españoles y apoyado por la Secretaría de Turismo del estado de Tlaxcala, Tlaxcala, 24-26 de septiembre 2009.

### MATERIAL DIDÁCTICO

- Presentación digital: EFEITO DOS ARGILÓ-MINERAIS DO SOLO. NA MATÉRIA PRIMA DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM SOLO CAL, PROTERRA Brasil. Márcio Hoffmann

NOTA: Todas las traducciones de textos obtenidos en un idioma diferente al español, son de la autora de este documento.



## GLOSARIO

### A

**Arte.** Manifestación de la actividad humana mediante la cual se expresa una visión personal y desinteresada que interpreta lo real o imaginado con recursos plásticos, lingüísticos o sonoros.

**Acústica.** Parte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos

### B

**Belleza.** Propiedad de las cosas que hace amarlas, infundiendo en nosotros deleite espiritual. Esta propiedad existe en la naturaleza y en las obras literarias y artísticas.

### C

**CO<sub>2</sub>.** El dióxido de carbono es el gas invernadero (GI) antropógeno más importante, existe espontáneamente y también como subproducto del quemado de combustibles fósiles procedentes de depósitos de carbono de origen fósil. Como el petróleo, el gas o el carbón.

**Contemporáneo.** Pertenciente o relativo al tiempo o época en que se vive.

**Compacto.** Dicho de un cuerpo: De textura apretada y poco porosa.

### E

**Ecosistema.** Sistema construido por organismos vivos que interactúan entre si y con su entorno físico.

**Encofrado.** Molde formado con tableros o chapas de metal, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después. Molde de dos tableros paralelos en que se forman las tapias.

**Energía.** Cantidad de trabajo producido. La energía se clasifica en varios tipos y es útil para los fines humanos cuando fluye de un lugar a otro o cuando es transformada en un tipo de energía diferente. La energía renovable se obtiene de las corrientes de energías continuas o recurrentes del medio ambiente natural, y abarca tecnologías no de carbono, como la solar, la hidroeléctrica, la eólica, la de mareas y olas, así como tecnologías neutras en carbono como las de biomasa.

### F

**Flexión.** Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras.

## G

**Gas invernadero.** Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero. El vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el Ozono (O<sub>3</sub>) son los gases invernadero primarios de la atmósfera terrestre.

## M

**Mecánica.** f. Parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualquier fuerza.

**Módulo de Young.** Es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

## P

### Propiedad

Atributo o cualidad esencial de alguien o algo.

**Propiedades mecánicas.** Las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes que permiten diferenciar un material de otros, desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales

## R

**Redescubrir.** Volver a sentir interés por algo o alguien que se había olvidado.

**Resistencia a la compresión.** Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido a la rotura de una fractura se puede definir, en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente.

## T

**Técnica.** Conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte. Habilidad para ejecutar cualquier cosa, o para conseguir algo.

**Térmico.** Perteneciente o relativo al calor o la temperatura.

**Tierra.** Material desmenuzable de que principalmente se compone el suelo natural.

**Tóxico.** adj. Perteneciente o relativo a un veneno o toxina. U. t. c. s. m.

**ANEXO 1**

**FOTOGRAFÍAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TAPIA**

Los conocimientos que he obtenido construyendo muros de tierra son el fruto de experiencias teóricas y prácticas de una investigación tecnológica. Alguna vez me dieron esta sabia frase: "Si lo Oigo me Olvido, si lo Veo me Acuerdo, si lo Hago lo Aprendo", con la que hoy concuerdo definitivamente.

Las siguientes fotografías son un breve repaso de algunas de las veces que he puesto manos a la obra donde: practicando, ensuciándome, experimentando y disfrutando con las bondades de la tierra como material constructivo he aprendido.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

### Oracle Arizona, EUA. Workshop Rammit Yourself

En esta ocasión aprendí de Quintin Branch y todo su equipo. Obtuve conocimientos básicos tales como conocer la tierra, armar un encofrado y compactar con pisón neumático. Sin duda unos días muy bien aprovechados.



Imágenes arriba: compactando tapia con pisón neumático, abajo: nivelando el encofrado y revisando el material a compactar.

**La Paz, Baja California Sur**

En esta ocasión revisé varias muestras de tierra y piedras trituradas del lugar, preparé los cilindros según los estándares internacionales para que se pudieran mandar a laboratorio y así definir las características mecánicas de cada muestra.

Utilizar los materiales de la región es básico para mantener el equilibrio en nuestro planeta.



Imágenes: preparación de cilindros para pruebas de compresión

**México D.F. UAM Xochimilco, Laboratorio de Materiales**

Para documentar algunas de las pruebas que se muestran en esta tesis, construí un muro con los materiales disponibles, analicé las opciones e hice las mezclas pertinentes para obtener un resultado con alto valor mecánico y estético.

En esta ocasión las dos caras más grandes se hicieron con agregados de diferentes tonos y texturas.



Imágenes arriba: cargando tierra y compactación con pisón manual, abajo: humedeciendo la tierra y dando tratamiento para humedad a encofrado de madera.

## MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

Cuando el tiempo apremia, no importa que el sol esté oculto para seguir trabajando.

El trabajo de descimbrar, resanar y hacer visibles los agregados de colores es una de las etapas finales que requieren un especial cuidado, si se desea que los muros queden aparentes.



Imágenes arriba: vaciando tierra a encofrado y descimbrando encofrado, abajo: resanando huecos de tensores con el mismo material y cepillando para dar acabado rústico al muro.

## ANEXO 2. TIPOS DE SUELOS

### Composición

**SUELOS ARENOSOS.** Son permeables, su comportamiento mecánico viene definido por el peso y rozamiento de sus partículas; su resistencia es en función de la proximidad de éstas entre sí (densidad relativa), las deformaciones motivadas por la acción de las fuerzas exteriores se produce con rapidez.

**SUELOS ARCILLOSOS.** Contienen huecos muy pequeños y son impermeables, por lo que retienen el agua. Su comportamiento depende de la película de agua existente entre sus partículas, su resistencia depende del espesor de esta película. Cuanto más gruesa es más débil el suelo; las deformaciones son motivadas por la acción de las fuerzas exteriores, se producen muy despacio, ya que el paso de agua a través de los huecos es un proceso lento. Cabe los suelos problemáticos de **bentonitas**, arcillas expansivas con un alto contenido de montmorillonita, formadas por la alteración química de cenizas volcánicas, que sufren grandes cambios dimensionales con la presencia del agua. Otra variante serían las **margas**, término que identifica a las arcillas marinas calcáreas compactas, de color verde y marrón.

**SUELOS LIMOSOS.** Tienen un comportamiento intermedio. Los inorgánicos son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad. Generalmente se denominan polvo de roca, que se constituye de partículas más o menos equidimensionales de cuarzo. Contrariamente a lo que normalmente se cree, los limos también pueden ser plásticos si hay un porcentaje apreciable de partículas en forma de escamas.<sup>54</sup>

### Granulometría

Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0,002 mm
Limos	0,002-0,08 mm
Arenas	0.08-5 mm
Gravas	5 mm-10 cm
Cantos rodados	10-25 cm
Bloques	>25 cm

No obstante lo anterior, la clasificación USCS que es utilizada habitualmente en ingeniería usa los límites de tamaños máximos de 4.75 mm para las arenas y de 0.075 mm para las arcillas y limos.

<sup>54</sup> BARBETA, Gabriel, Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI, tutor Ferran Gomá i Ginestà. Escola Tecnica Superior d'Arquitectura de Barcelona., 2002, pág. 12, antecedentes científicos. 09tes18.pdf



ANEXO 3

A. ENCUESTA EN CALPAN PUEBLA

Con el objetivo de identificar de primera voz los beneficios que han obtenido los usuarios de casas de tierra compactada, se realizó una encuesta a habitantes de casas de *tapia* en Calpan Puebla.

Se eligió este lugar por ser una de las poblaciones con más casas habitadas actualmente en México construidas con tierra compactada y por ser parte de la zona centro del país, donde se encuentran la mayoría de las construcciones de *tapia*.



Imagen: San Andrés Calpan, Puebla, mapa [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)



Fotografías: Nubia Cárol Valles Molina

Tipología de viviendas en San Andrés Calpan, tapias aparentes de más de 100 años sin recubrimiento ni sello de ningún tipo.

**Formato de encuesta**

A continuación se puede ver el formato de encuesta aplicado, con las respuestas más comunes marcadas en negritas y el porcentaje de los encuestados que eligieron esa opción en la parte inferior de cada una.



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

4. ¿Cómo son el color y la textura de los muros de tierra?

**agradables**

regular

desagradables

**75%**

25%

5. ¿Si golpea con algún objeto los muros de tierra, éstos se dañan?

siempre

**algunas veces**

nunca

**100%**

6. ¿Cuánto polvo desprenden los muros de tierra?

mucho

regular

**poco**

**100%**

7. ¿Cómo es reparar un muro de tierra?

**fácil**

regular

difícil

**50%**

25%

25%

8. ¿Cómo es hacer un muro de tierra?

fácil

regular

**difícil**

25%

**75%**

9. ¿Cómo es construir un muro de tierra?

caro

regular

**barato**

**100%**

10. ¿Cómo se siente al estar rodeado de muros de tierra?

seguro

regular

inseguro

25%

**50%**

25%

11. ¿Le interesa conservar los muros de tierra que tiene?

sí

tal vez

no

**75%**

25%

25%

12. ¿Recomienda vivir en un lugar de muros de tierra?

sí

tal vez

no

25%

**50%**

25%

## ANEXO 4

### ANÁLISIS DE COSTOS DE MURO DE TIERRA COMPACTADA

#### OBJETIVO

Determinar y comparar el costo del muro de tierra compactada con el muro de tabique rojo recosido, el que es de uso común y con el cual podría combinarse y en algunos casos substituirlo.

#### METODOLOGÍA

Para el análisis de costo se utilizo el método descrito por Suarez Salazar en su Manual de Costos y Procedimientos de Construcción, de donde se extrajeron los cuadros de rendimiento para los conceptos preliminares así como los modelos de los precios unitarios. El rendimiento del muro de tierra compactada se obtuvo de las experiencias personales de construir con este sistema.

#### CONSIDERACIONES GENERALES

Dado que el objeto de este análisis es comparar dos sistemas constructivos se considero lo siguiente:

1. La construcción se considera en planta baja, sin refuerzos y a una altura donde no se necesite andamios para su elaboración.
2. Se cuantificará utilizando el salario real vigente para los trabajadores de la construcción sin considerar las prestaciones de ley.
3. El precio de los insumos se obtuvo de la página [www.costonet.com](http://www.costonet.com) [en línea], citado 20 noviembre 2009.
4. No se incluyo la renta de equipo menor ni costos indirectos.

Las variaciones de estos conceptos modificarían de manera proporcional el costo de ambos sistemas constructivos.

El presente análisis se realizó con asesoría del Arq. Arturo Gómez Farías

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

<b>COSTOS BASE</b>				
<b>COSTO BASE MATERIALES</b>				
CLAVE	INSUMO	UNIDAD	CATEGORÍA	PRECIO
<b>AGLUTINANTES Y AGREGADOS</b>				
001	TEPETATE	M <sup>3</sup>	MATERIALES	\$69.46
002	AGUA Y MANEJO (EN PIPA)	M <sup>3</sup>	MATERIALES	\$35.05
003	NOPAL	KG	MATERIALES	\$5.00
004	CEMENTO NORMAL	KG	MATERIALES	\$1.14
005	ARENA	M <sup>3</sup>	MATERIALES	\$128.62
006	GRAVA	M <sup>3</sup>	MATERIALES	\$153.79
007	DIESEL	LTO	MATERIALES	\$240.00
008	MORTERO	KG	MATERIALES	\$0.80
<b>CIMBRA DE MADERA</b>				
008	TRIPLAY 122x244x1,6 CM.	M2	MATERIALES	\$230.00
009	POLÍN 3 1/2" x 3 1/2" x 8 1/4'	PT	MATERIALES	\$60.00
010	BARROTE 1 1/2" x 4" x 8 1/4'	PT	MATERIALES	\$45.00
011	DUELA 3/4 x 4 x 8 1/4"	PT	MATERIALES	\$45.00
012	CHAFLÁN DE 3/4	ML	MATERIALES	\$4.34
<b>ACEROS LISOS</b>				
013	ALAMBRE RECOCIDO No. 16	KG	MATERIALES	\$14.04
014	CLAVO 2 1/2" A 4"	KG	MATERIALES	\$14.35
015	TORNILLO DE 1/2" INC. FUND. PLÁST.	KG	MATERIALES	\$50.00
<b>ACEROS CORRUGADOS</b>				
016	ACERO No. 2,5 f'y=4000 Kg/cm <sup>2</sup>	KG	MATERIALES	\$9.26
017	ACERO No. 8 f'y=4000 Kg/cm <sup>2</sup>	KG	MATERIALES	\$7.62
018	ACERO No. 4 f'y=4000 Kg/cm <sup>2</sup>	KG	MATERIALES	\$9.06
<b>ACEROS CORRUGADOS</b>				
019	TABIQUE 7 x 12 x 24 cm	PZA	MATERIALES	\$1.08
20	TABIQUE 7 x 14 x 28 cm	PZA	MATERIALES	\$1.80
<b>PINTURAS</b>				
21	CUBETA DE PINTURA MARCA COMEX 19 LT	PZA	MATERIALES	\$850.00
22	SELLADOR VINILICO	LTO	MATERIALES	\$600.00
<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>				
021	CABO	JOR	MANO DE OBRA	\$400.00
022	ALBAÑIL	JOR	MANO DE OBRA	\$363.00
023	PEÓN	JOR	MANO DE OBRA	\$261.00
24	AYUDANTE DE PINTOR	JOR	MANO DE OBRA	\$261.00
25	OFICIAL DE PINTOR	JOR	MANO DE OBRA	\$363.00

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
 CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

<b>SUBCONTRATOS</b>				
<b>HERRAMIENTA MANUAL</b>				
	PALA CUADRADA	MES	HERRAMIENTA	\$444.00
	PISÓN	MES	HERRAMIENTA	\$1.00
	BOTE ALCHOLERO	MES	HERRAMIENTA	\$1.00
<b>RENTA DE CIMBRA</b>				
	CIMBRA DE TRIPLAY	MES	CIMBRA	\$1.00
	CIMBRA METÁLICA	MES	CIMBRA	\$1.00
	CIMBRA MARCA	MES	CIMBRA	\$1.00

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

**COSTOS PRELIMINARES**

CONCEPTO	*****DESCRIPCIÓN*****					UNIDAD
<b>100</b>	<b>MEZCLA MORTERO - ARENA 1:5</b>					<b>M<sup>3</sup></b>
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
008	MORTERO	KG	-	341.9600 0	\$1.14	\$389.834 40
005	ARENA	M3	-	1.23260	\$0.80	\$0.98608
002	AGUA	M3	-	0.34100	\$35.05	\$11.9520 5
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$402.773</b>

200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)					M <sup>2</sup>
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
008	TRIPLAY 122x244x1,6 CM. EN CONT. 1,05 M2/6 USOS	M2	0.17500	0.17500	\$230.00	\$40.2500 0
009	POLÍN 3 1/2" x 3 1/2" x 8 1/4' EN MADRINA VERT. 5,23 PT/10 U	PT	0.52300	0.52300	\$60.00	\$31.3800 0
009	POLÍN 3 1/2" x 3 1/2" x 8 1/4' EN PIES DERECHOS. 5,23 PT/10 U	PT	0.52500	0.52500	\$45.00	\$23.6250 0
010	BARROTE 1 1/2" x 4" x 8 1/4' EN CUNAS 0,63 PT/6 U	PT	0.10500	0.10500	\$45.00	\$4.72500
010	BARROTE 1 1/2" x 4" x 8 1/4' EN CUNAS 0,5,54 PT/6 U	PT	0.92300	0.92300	\$45.00	\$41.5350 0
011	DUELA 3/4 x 4 x 8 1/4" SEPARADORES Y PLOMO 0,23 PT/6 U	PT	0.03800	0.03800	\$45.00	\$1.71000
012	CHAFLÁN DE 3/4" 4 ML/6 U	PT	0.66000	0.66000	\$4.34	2.8644
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$146.089</b>

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO					M <sup>3</sup>
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
1	TEPETATE 1,740 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M <sup>3</sup>	2.21400	2.21400	\$69.46	\$153.784
004	CEMENTO NORMAL 50 KG + 3% DE DESPERDICIO	KG	51.50000	51.50000	\$1.14	\$58.710
002	AGUA Y MANEJO (EN PIPA) 0,90 M <sup>3+</sup> 30% DE DESPERDICIO	M <sup>3</sup>	0.11700	0.11700	\$35.05	\$4.101
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$216.595</b>

400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO					M <sup>3</sup>
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
002	AGUA Y MANEJO (EN PIPA) 1,00 M <sup>3+</sup> 5 % DE DESPERDICIO	M <sup>3</sup>	1.03000	1.03000	\$35.05	\$36.102
003	NOPAL 25 KG	KG	25.00000	25.00000	\$5.00	\$125.000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$161.102</b>

500	CUADRILLA 001				JOR	
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
020	ALBAÑIL	JOR		2.00000	\$363.00	\$726.00000
021	PEÓN	JOR		4.00000	\$261.00	1044.00000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$1,770.000</b>

600	CUADRILLA 002				JOR	
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
020	ALBAÑIL	JOR		1.00000	\$363.00	\$363.00000
021	PEÓN	JOR		1.00000	\$261.00	261.00000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$624.000</b>

700	CUADRILLA 003				JOR	
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
020	OFICIAL DE PINTOR	JOR		1.00000	\$363.00	\$363.00000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$363.000</b>



MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

800	CUADRILLA 004					JOR
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD		CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
020	ALBAÑIL	JOR		1.00000	\$0.00	\$363.00000
021	PEÓN	JOR		4.00000	\$0.00	261.00000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$624.000</b>

300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO CON TIERRA DEL LUGAR					M <sup>3</sup>
INSUMO	*****DESCRIPCIÓN*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
1	TEPETATE 1,740 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M <sup>3</sup>	2.21400	2.21400	\$0.00	\$0.000
004	CEMENTO NORMAL 50 KG + 3% DE DESPERDICIO	KG	51.50000	51.50000	\$1.14	\$58.710
002	AGUA Y MANEJO (EN PIPA) 0,90 M <sup>3</sup> + 30% DE DESPERDICIO	M <sup>3</sup>	0.11700	0.11700	\$35.05	\$4.101
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$62.811</b>

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

**MURO DE TIERRA COMPACTADA ESTABILIZADA CON CEMENTO**

<b>M-001</b>	<b>MURO DE TIERRA COMPACTADA DE 40 CM DE ESPESOR (OPCIÓN 1 CON TIERRA COMPRADA)</b>						<b>M<sup>2</sup></b>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MATERIA- LES</b>							
200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)	M2	1.00000	0.50000	\$146.089	\$73.04470	
300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO 0,40 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M3	0.41200	0.41200	\$216.595	\$89.23726	
400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO 0,00285 M3 + 5% DE DESPERDICIO	M3	0.00300	0.00300	\$161.102	\$0.48330	
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 004 ( 1 ALBAÑILES + 4 PEONES)	JOR	6.00000	0.16667	\$624.000	\$103.9999 6	
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$266.765</b>	

<b>M-001</b>	<b>MURO DE TIERRA COMPACTADA DE 40 CM DE ESPESOR (OPCIÓN 2 CON TIERRA DEL LUGAR)</b>						<b>M<sup>2</sup></b>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
<b>MATERIA- LES</b>							
200	CIMBRA DE MADERA EN MUROS 6,66 A 4,00 M2/M3 (MUROS DE 30 A 40 CM DE ANCHO)	M2	1.00000	0.50000	\$146.089	\$73.04470	
300	PREPARACIÓN DE TIERRA PARA MURO COMPACTADO 0,40 M3 + 3% DE DESPERDICIO	M3	0.41200	0.41200	\$62.811	\$25.87807	
400	PREPARACIÓN DE SELLADOR DE MURO 0,00285 M3 + 5% DE DESPERDICIO	M3	0.00300	0.00300	\$161.102	\$0.48330	
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 004 ( 1 ALBAÑILES + 4 PEONES)	JOR	6.00000	0.16667	\$624.000	\$103.9999	
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$203.406</b>	

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES

**MURO DE TABIQUE**

M-001	MURO DE TABIQUE ROJO 7x14x28 14CM DE ESPESOR					M <sup>3</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
MATERIALES						
200	TABIQUE 7 x 14 x 28 cm	PZA		31.50000	\$1.800	\$56.70000
300	AGUA	M3		0.02400	\$726.00	\$17.42400
400	MEZCLA MORTERO - ARENA 1 : 5	M3		0.01160	\$402.73	\$4.67216
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 002 ( 1 ALBAÑILES + 1 PEÓN)	JOR	12.00000	0.08333	\$624.00	\$52.00000
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$130.796</b>
M-001	APLANADO DE MURO PULIDO A LLANA CON MEZCLA MORTERO - ARENA 1:5. 1,5 CM DE ESPESOR PROMEDIO					M <sup>3</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
MATERIALES						
400	MEZCLA MORTERO - ARENA 1 : 5	M3		0.01950	\$402.73	\$7.85406
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 002 ( 1 ALBAÑILES + 1 PEÓN)	JOR	9.00000	0.11111	\$624.00	\$69.33264
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$77.187</b>
M-001	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PINTURA VINILICA, INC. UNA MANO DE SELLADOR Y DOS DE PINTURA					M <sup>3</sup>
CLAVE	*****CONCEPTO*****	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
MATERIALES						
400	SELLADOR VINILICO	LTO		0.00276	\$600.00	\$1.65720
	PINTURA VINILICA BLANCA MARCA COMEX	CUBETA		0.006206	\$850.00	5.2751
<b>MANO DE OBRA</b>	CUADRILLA 003 ( 1 OFICIAL DE PINTOR)	JOR	9.00000	0.11111	\$363.00	\$40.33293
					<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$41.990</b>
<b>MURO DE TABIQUE CON APLANADO Y PINTURA</b>						<b>\$249.973</b>

MUROS DE TIERRA COMPACTADA - TAPIA  
CARACTERIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES