

Master en Arquitectura y Sostenibilidad

Tesina :

**¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países
sísmicos?**

ETSAB Universidad UPC
Universitat Politècnica de Catalunya
BARCELONA

Centro
Fundación Politécnica de Catalunya
BARCELONA

Alumna: Marcela Carranza
Fecha: Abril 2010

INDICE

- INTRODUCCIÓN
 - Presentación del tema
 - Pregunta de Investigación
 - Presentación de los principales autores
 - Contexto
 - Definiciones de construcción Sostenible

- CUERPO
 - Definiciones de tipos de construcción con tierra
 - Tapial
 - Adobe
 - Bahareque
 - BTC

 - Opiniones y soluciones de autoridades en el tema
 - Gerardo Wadel
 - Gabriel Barbeta
 - Jorge Gutierrez
 - Gernot Minke

- CIERRE
 - Resumen
 - Problemas pendientes o emergentes
 - Anexos

INTRODUCCIÓN

-PRESENTACIÓN DEL TEMA

Son muchas las maneras de poder ayudar a evitar el deterioro del ambiente por medio de una arquitectura bien pensada y adecuada para su entorno.

Mi escogencia para el tema de esta tesina fue **la construcción con tierra**. El escoger este tema en particular se debió en primer lugar a una conferencia a la que tuve el privilegio de atender y en donde el Dr. Gabriel Barbeta (Arquitecto) nos introdujo con una de las alternativas de desarrollo sostenible más antiguas : construcción con tierra, dejada de lado con el paso de los años, por distintas razones, tanto en Costa Rica, mi país de origen como en muchos otros.

Mi motivación es conocer de manera más profunda, la posibilidad actual de utilizar la tierra como material alternativo de construcción en países de alta sismicidad, en especial Costa Rica.

Poder utilizar la tierra estabilizada de manera BTC (block de tierra comprimida) según la ha utilizado el Dr. Barbeta sería al momento actual, mi preferencia.

En el transcurso de esta investigación pretendo encontrar cuáles serían junto con ésta , la o las otras alternativas de construcción con tierra sismo resistentes .

- PREGUNTA/ PROBLEMA

Construcción con tierra

¿Existen técnicas adecuadas de construcción en tierra para países sísmicos?

- PRESENTACION DE LOS AUTORES

El documento expuesto a continuación es un “Estado de la Cuestión“ acerca de la construcción con tierra, que se apoya principalmente en los conocimientos y documentos escritos por los siguientes autores contemporáneos:

Dr. Gabriel Barbeta, Arquitecto especialista en temas de ecoarquitectura y bioconstrucción, catedrático en la Universidad de Girona, vanguardista español en la investigación y desarrollo de sistemas que permitan la arquitectura sostenible en el siglo XXI. Una de las fuentes más importantes es su tesis doctoral, (fecha de defensa 26-04-2002) cuyo objetivo principal es el de “establecer y dar una Nueva Metodología para Construir con Tierra Estabilizada, con resistencias y durabilidad óptimas, para permitir el Desarrollo de una Arquitectura Sostenible en el Siglo XXI”.

Dr. Gerardo Wadel, Programa de Doctorado : Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente

en la Arquitectura Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1

Universidad Politécnica de Cataluña.

El trabajo de este autor al cual haremos referencia es su

Tesis, “ Estrategias para disminuir el impacto ambiental de los materiales“ .

Master Arquitectura y Sostenibilidad – UPC

16 de noviembre de 2009.

Dr. Jorge Gutiérrez Ingeniero Civil con Doctorado en Estructuras, miembro de la Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica, fue Director del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) y profesor Emérito de la Escuela de Ingeniería ambos en la Universidad de Costa Rica. En especial en su aporte al tema por medio de su conferencia “Notes on the Seismic Adequacy of Vernacular Buildings“ para la 13a conferencia Mundial en Ingeniería Sísmica. Vancouver, B.C. Canada Agosto del 2004.

Dr. Gernot Minke, nacido en Alemania, obtuvo su doctorado en la Universidad de Stuttgart. Graduado de arquitecto de la Universidad técnica de Hannover y Berlín, Fue Docente en el Instituto para Planificación Ambiental de Ulm. Fue Cooperador científico del Prof. Dr.-Ing. Frei Otto en el Instituto de Investigación de Construcciones Livianas.

1974 – 2005 Profesor de la Universidad de Kassel; Director del Forschungslabor für Experimentelles Bauen (Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales) El Instituto se especializa en la investigación de tecnologías alternativas, construcciones ecológicas, viviendas de bajo costo, construcción con autoconstrucción.

- CONTEXTO - JUSTIFICACIÓN

Problemas ambientales.

Los desastres ambientales o ecológicos ya no son acontecimientos extraños, sino que hacen parte del menú cotidiano de noticias a nivel global. Ya no se trata de incidentes aislados o superficiales sino de un profundo desequilibrio ambiental causado por comportamientos arrasadores del planeta a lo largo de varias décadas, un desequilibrio frente al cual se requieren esfuerzos comunales gigantes para abordar la problemática globalizada con la seriedad y celeridad requerida.

Aunque el proceso es complejo, la mayoría de científicos coincide en que actividades humanas *como la quema de combustibles de vehículos, la calefacción de viviendas en invierno, la industria, etc.*, aumentan las concentraciones de dióxido de carbono y otros “gases de invernadero” en la atmósfera, elevando así la temperatura mundial y haciendo que se derritan los

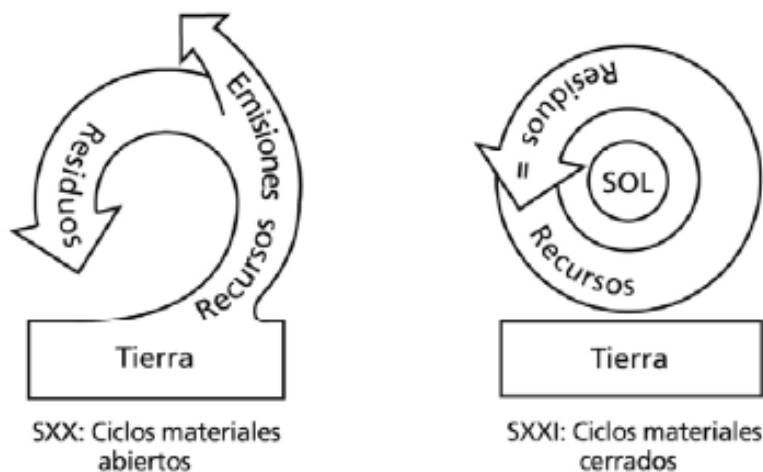
glaciares, aumente el nivel del mar, se alteren los patrones climáticos, y se agudicen las inundaciones y sequías.

Según el World Watch Institute, la *edificación consume el 25%* de las extracciones de materias primas de la litosfera Fuente <http://www.worldwatch.org/>

Los edificios consumen entre el 20 y el 50% de los recursos físicos según su entorno. Dentro de las actividades industriales la actividad constructora es la mayor consumidora, junto con la industria asociada, de recursos naturales como pueden ser madera, minerales, agua y energía. Asimismo, los edificios, una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que se producen en los mismos o el impacto sobre el territorio, y una fuente indirecta por el consumo de energía y agua necesarios para su funcionamiento.

La vida humana se apoya en la utilización de una gama de materiales existentes en la corteza terrestre. La espiral de consumo (ver dibujo sig Pág.) acelera el consumo de la energía y los materiales derivados de la extracción.

Esta espiral de consumo, sin devolución de los recursos en su estado original, es la principal fuente de problemas ambientales.



Fuente <http://www.fundaciollabresfeliu.com/pdf/gerardowadel.pdf>

Los principales efectos sobre el Medio Ambiente de de los materiales utilizados en la construcción son los siguientes:

- consumo energético
- producción de residuos sólidos
- incidencia en el efecto invernadero : Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de una atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar.
- incidencia en la capa de ozono
- otros factores de contaminación ambiental (Casado, 1996)

La mitad de la población mundial vive en casas de tierra.

Desde los tiempos más remotos las personas construyen su hábitat con los materiales que brinda la naturaleza. Son culturas constructivas milenarias que nos han dejado un patrimonio intangible del saber hacer del hombre del

campo. Desde una visión contemporánea, el uso de materiales naturales (paja, tierra, madera, piedra, caña) nos permite generar tecnologías de bioconstrucción.



La bimilenaria ciudadela de Arg-é Bam (en Irán; la mayor estructura en tierra del mundo).

Con el surgimiento de nuevas tecnologías y en especial el uso intenso del cemento Pórtland, en la reconstrucción de ciudades europeas luego de la segunda guerra mundial, el paradigma de la modernidad se instala y descarta el uso de la tierra como material de construcción.

Recién será a partir de los años 70, con la crisis energética mundial, que algunos jóvenes investigadores rescatan la cultura constructiva del uso de la tierra. Franceses y alemanes van a la punta de estas búsquedas y hoy ya existen pequeñas empresas constructoras en Europa que construyen solo con tierra.

En América Latina y en toda Iberoamérica, el grupo Proterra ha revelado más de 20 tipos de sistemas constructivos y cada uno con variantes propias de cada lugar.

-DEFINICIONES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Partiendo de diversos autores, se recogen a continuación algunas definiciones del término "Construcción Sostenible."

La Construcción sostenible, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. (Casado 1996)

La Construcción Sostenible se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado (Lanting, 1996)

La Construcción Sostenible deberá entenderse como el desarrollo de la Construcción tradicional pero con una responsabilidad considerable con el Medio Ambiente por todas las partes y participantes.

Esto implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en

favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionando un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno (Kibert, 1994).

CUERPO

Tipologías constructivas en Tierra

Existen tres sistemas generales de transformar la tierra en elementos de construcción:

-Ladrillos, bloques o similares : Fabricar pequeños elementos individuales, que se unen con mortero para realizar una obra de fábrica.

- Construcción monolítica :Trabajar la tierra en masa, y moldear muros de una pieza.

- Base estructural o estructura portante de un material diferente a la tierra : Recubrir o rellenar de tierra una estructura de un material diferente. En este caso, la tierra no es portante y la solidez del edificio depende principalmente de la estructura portante.

-DEFINICIONES DE TIPOS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Existen miles de documentos con diferentes definiciones de lo tipos de construcción con tierra, varían poco entre uno y otro. (Tomé estas definiciones que están a continuación, pero quiero aclarar que no son las únicas válidas) Los componentes y procedimientos pueden variar de país en país, pero en general son muy parecidos. Algunos de esos tipos de construcción con tierra son :

Tapial

Se denomina tapia en Iberoamérica o tapial en España y la cuenca Mediterránea, a una antigua técnica consistente en construir muros con tierra arcillosa, compactada a golpes mediante un "pisón", empleando un encofrado deslizante para contenerla.

El encofrado suele ser de madera, aunque también puede ser metálico. En el proceso, se van colocando dos maderas paralelas, entre las que se vierte tierra en tongadas de 10 ó 15 cm, y es compactada mediante apisonado. Posteriormente se corre el encofrado a otra posición para seguir con el muro. La tierra compactada se deseca al sol, y una vez que la tapia o tapial queda levantado, las puertas y ventanas se abren a cincel.

Es tierra con algún aditivo como paja o crin de caballo para estabilizarlo, o pequeñas piedras para conseguir un resultado más resistente. Hay que hacer también análisis del suelo que se va a utilizar, y es conveniente definir las proporciones de arena, arcilla y la cantidad de sílice que hay es este último elemento.



Muralla parcialmente construida con tierra pisada (el nivel superior concluido con ladrillos) ubicada en **Jiayuguan**, **China**, edificada durante la dinastía **Ming** (1368–1644).



Ejemplos de Arquitectura en Tapial gran parte de la Gran Muralla China, la Alhambra de Granada. Son famosas las arquitecturas de adobe y tapial de Irán, Yemen y Marruecos, entre otras.

En ocasiones se le añaden cañas o palos dispuestos de cierta manera en el interior de los muros para que aumente la resistencia manteniendo la "elasticidad" de la construcción sin añadir peso.

Debido a que el tapial tiende a absorber agua, a menudo es conveniente disponer la tapia sobre un basamento de material hidrófugo, normalmente piedra, para evitar la degradación rápida en esa zona clave para la estabilidad.

El adobe

Es una pieza para construcción hecha con una masa de barro (arcilla y arena) mezclada a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyen paredes y muros de variadas edificaciones. La técnica de elaborarlos y su uso están extendidos por todo el mundo, encontrándose en muchas culturas que nunca tuvieron relación.

Mezclar pasto seco con el barro permite una correcta aglutinación, gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse. Posteriormente los bloques se adhieren entre sí con barro para levantar muros.

En muchas ciudades y pueblos de Centro y Sur de América la construcción con adobes se mantiene viva aunque amenazada por las imposiciones del mercado formal y la mala fama que le han hecho los sismos.

Por otra parte, uno de los problemas típicos del adobe es su absorción de la humedad del suelo por capilaridad, para esto una solución bastante frecuente es utilizar un cimiento hidrófugo o impermeable de hasta aproximadamente un metro de altura sobre el nivel del suelo, tal cimiento suele ser de piedras o, más modernamente, de hormigón.



Ej: Elaboración de adobes en Progreso, Uruguay.

Se elabora con una mezcla de un 20% de arcilla y un 80% de arena y agua, se introduce en moldes, y luego se deja secar al sol por lo general unos 25 a 30 días. Para evitar que se agriete al secar se añaden a la masa paja, crin de caballo, heno seco, que sirven como armadura. Las dimensiones adecuadas deben ser tales que el albañil pueda manejarlo con una sola mano, normalmente son de unos 6 x 15 x 30 cm.

Puede deshacerse con la lluvia por lo que, generalmente, requiere un mantenimiento sostenido, que debe hacerse con capas de barro (revoques de barro). No es correcto hacerlo con mortero de cemento, puesto que la capa resultante es poco permeable al vapor de agua y conserva la humedad interior, por lo que se desharía el adobe desde dentro. Lo mejor para las paredes externas es la utilización de enlucido con base en la cal apagada en pasta, arcilla y arena, para la primera capa, en la segunda, solamente pasta de cal y arena. Para las internas se puede hacer una mezcla de arcilla, arena y agua.

Actualmente se fabrican de manera más certera con respecto a la composición, y suelen tener un veinte por ciento de arcillas y un ochenta por ciento de arena, eso en función de la composición del suelo, cuanto más arcilloso mas arena se agrega, no agregando ningún tipo de paja u otros elementos a la mezcla. Las investigaciones han mostrado que la inclusión de fibras vegetales puede servir

como atracción para las termitas y además, si el secado del adobe sin fibras ocurre en la sombra, la retracción es menor.

Tiene una gran inercia térmica, por lo que sirve de regulador de la temperatura interna; en verano conserva el frescor, y durante el invierno el calor. Frente al tapial, que es semejante pero fabricado con encofrados, tiene la ventaja de que requiere mucho menos tiempo de preparación.

Construcción sismorresistente

En América Latina se ha demostrado que las estructuras de adobe presenta una alta vulnerabilidad sísmica, ya que se comportan mal ante las fuerzas inducidas por los terremotos incluso los temblores moderados de tierra, colapsando de manera súbita. Esto ha generado un gran número de pérdidas humanas e importantes pérdidas económicas, culturales y patrimoniales. Un caso concreto es el terremoto de la ciudad de Cartago en Costa Rica de 1910, después del cual se prohibió la utilización de adobe en las construcciones de dicho país.

Según las Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes: Reglamento INPRES - CIRSOC 103: «Existen materiales aptos para lograr construcciones seguras, y materiales no aptos (tales como el adobe), pero de ninguna manera puede hablarse de materiales antisísmicos».

Esta situación condujo a que los gobiernos y la población en general hayan favorecido la reconstrucción con bloque, ladrillo y hormigón. Sin embargo, estas viviendas nuevas, aparte de perder su calidad térmica, son más costosas y su edificación en autoconstrucción se hace más difícil. Por esta razón, muchos centros de investigación y agencias de cooperación están trabajando para desarrollar construcciones sismorresistentes en adobe, que sean saludables y socialmente sostenibles.

En Colombia y Perú se han desarrollado diversos estudios y técnicas tendentes a obtener piezas de adobe sismorresistente, prestando especial interés en la adecuada composición y sus dimensiones óptimas, pudiendo utilizarse tanto en nuevas construcciones como en rehabilitación.

Bahareque

Bahareque es el sistema y técnica de construcción de viviendas hechas fundamentalmente con palos entretejidos de cañas y barro, utilizado desde tempranas edades en la construcción de vivienda en pueblos considerados como primitivos, por ejemplo en las nativas construcciones indígenas de América.

El bahareque es característico de América, dentro de los tipos está el embutido, esterilla y el tejido. Como tecnología apropiada se ha utilizado con éxito en la construcción de viviendas sismoresistentes en Popayán, Colombia. En Perú se

conoce un sistema similar llamado quincha. Una de sus características es el microclima agradable que se conserva en su interior. Puede ser combinado con tapiales, adobes y bases rasantes y sub-rasantes de ladrillo o piedra, con la finalidad de dar mayor durabilidad a la estructura



El bahareque ha sido utilizado a través de los siglos en Colombia para la construcción de viviendas. Utilizado en primera instancia por grupos indígenas, fue la elección primaria de los colonizadores europeos o mestizos, que supieron adaptarlo a las condiciones ambientales, aprovechando una diversa selección de materiales y técnicas nativas. Posteriormente, muchas de las viviendas de bahareque fueron reemplazadas por técnicas de adobe o tapia pisada, aunque el bahareque siguió siendo la técnica de predilección en lugares como el eje cafetero, donde existe aún hoy un uso de bahareque sobre cañas de guadua o cañabrava.

Materiales naturales utilizados para la construcción de bahareque

Cardón (Costa atlántica)

Arboloco (Eje cafetero)

Guadua

Cañabrava

Caña de castilla

Chusque (tierras altas, Cundinamarca, Boyacá)

Maderas finas (Nogal, cedro, cucharo, etc.)

En general se utilizan cañas de la familia Poaceae, en especial en zonas de cordillera donde dichas especies abundan. Sin embargo, el sistema es versátil hasta el punto de permitir una amplia variedad de especies para su estructura, como el cardón en la Guajira o el arboloco, una especie de sistemas sucesionales tempranos. Los techos de las viviendas en bahareque fueron y son elaborados de igual manera con una infinidad de materiales naturales, entre

ellos hojas de palma, hojas de yarumo, cañas, o han sido adaptados a tecnologías foráneas como la teja cocida, eternit o zinc.

Bloques de Tierra Prensada

El subsuelo es la base de los Bloques de Tierra Prensada. Con una cantidad más o menos del 30% de Arcilla y una cantidad de agua del 6% no ha de tener ni paja, ni raíces, ni ramitas, etc. Los bloques de tierra compactada o prensada son Ladrillos de tierra cruda con bajo contenido de agua obtenidos tras prensados de manera mecánica, para obtener formas regulares y mayor resistencia.

La diferencia que existe entre el Adobe y bloque de tierra comprimida es que: El bloque de tierra prensada utiliza menos cantidad de agua y la unión entre la arcilla y la Arena se realiza por Compresión y sin embargo en el adobe es necesario un tiempo de curado del material.

La resistencia a compresión que obtienen los bloques prensados tal y como dice la palabra es mediante la prensa y es sumamente necesario hacer una caracterización de la tierra que se utilizará para fabricar bloques de tierra prensada.

Diferencias entre:	Adobe	Tierra prensada
Agua	Más cantidad	Menos cantidad
Unión arcilla-arena	Sin compactar	Por compresión
Tiempo de curado	Se necesita	No es necesario
Resistencia a compresión	Por caract. tierra	Mediante la prensa
Caracterización de la tierra	Necesaria	Necesaria



Los bloques de tierra pueden ser Inestabilizados o Estabilizados:

<u>Bloques de tierra prensados</u>	<u>Estabilizados</u>	<u>Inestabilizados</u>
Cemento incorporado	Sí	No
Agua	Más agua	Menos agua
Costo	Mayor	Menor
Propiedades mecánicas	Mejoran con + agua	Menores con -
Prensas mecánicas de utilización manual	Sí (Cinva -Ram) pequeñas	Sí (Cinva-Ram) pequeñas
Producción en obra	Sí	Sí
Uso inmediato post fabricación	Sí	Sí
Continuación del curado después de colocados	Sí	Sí
Ganancia + resistencia después de colocados	Sí	Sí

El tamaño de los bloques se pueden variar fácilmente según el diseño deseado, la relación altura- grosor debe ser adecuado para la estabilidad.

AUTORES

Me parece sensato iniciar con los aportes del Dr. Wadel, ya que nos introducen a la contribución de la construcción a la problemática ambiental.

Según Gerardo Wadel arquitecto y miembro de Societat Orgànica en su tesis "Estrategias para disminuir el impacto ambiental de los materiales" 2009 la cuestión a resolver es: ¿Cómo aprovechar las energías naturales para cerrar los ciclos materiales, posibilitando que los residuos se conviertan otra vez en recursos y evitando el deterioro de la corteza terrestre por dispersión de materias primas y contaminación de recursos?

Los datos de la Agència Catalana de Residuos, indican que los residuos de la edificación representan un 30% del total y los domésticos, un 20% del total. La construcción y el uso de los edificios representa, entonces, hasta el 60% del total de residuos generados por la sociedad.

Residuos de construcción: 3,6kg/pers/día,
reciclaje 10%.

Residuos domésticos 1,7 kg/pers/día,
reciclaje 30%.

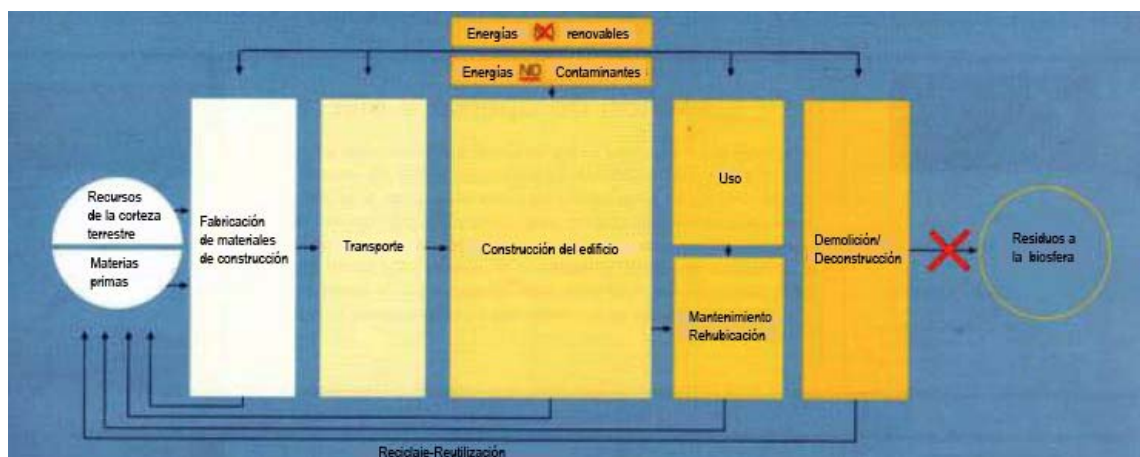


En la edificación, los parámetros ambientales se centran en *cuatro campos de respuesta* a la demanda de la sostenibilidad, para detener la extracción de recursos de la tierra y la generación de residuos contaminantes.

- La localización de la edificación
- El consumo de energía
- El consumo de agua
- El consumo de materiales y los residuos generados

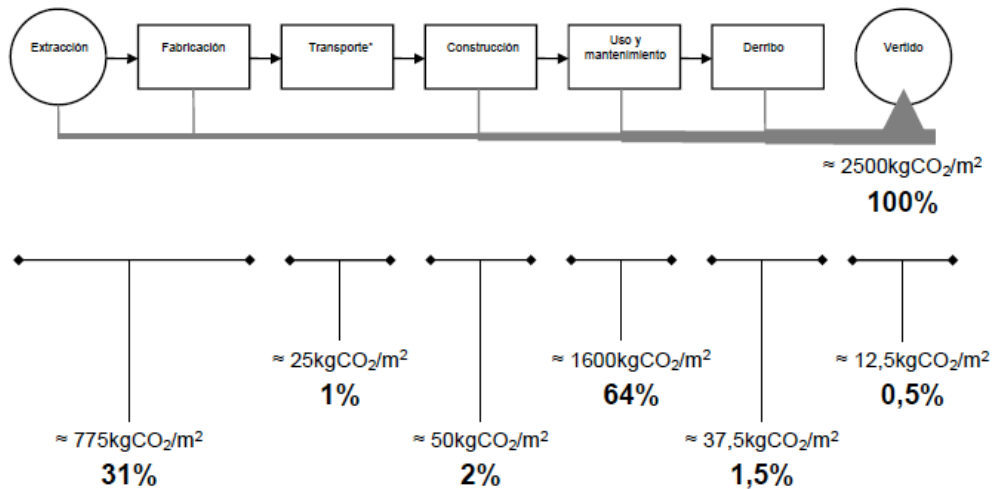
El desarrollo de una estrategia sostenible para los materiales debe tener en cuenta el impacto ambiental de cada una de las partes del edificio. El análisis y el establecimiento de criterios para la selectividad ambiental considera todas las fases de su ciclo de vida: *extracción, fabricación, puesta en obra, uso y mantenimiento, desconstrucción y finalmente reutilización o reciclaje.*

El objetivo al que se tiende es cerrar el ciclo de los materiales (incluida la energía ver img 1.1).



El CO₂ en el ciclo de vida de un edificio

[considerando 50 años de vida útil, según valores estadísticos CIES y datos propios]



img.1.2

En la edificación, las acciones para la mejora ambiental se centran en cinco estrategias de respuesta.

- La reducción de la demanda
- La eficiencia en el uso
- **El aprovechamiento de los recursos locales**
- El reciclaje
- El rescate del impacto generado

Una primera línea de desarrollo de nuevos productos es la de los materiales que en su tratamiento constructivo se encuentran muy próximos a su estado natural, como la piedra, *la tierra estabilizada* y los tejidos vegetales. Si bien la supuesta “tecnificación” de la construcción suele descartarlos, actualmente se están revalorizando por sus buenas cualidades ambientales: poca energía para manipularlos, residuos reaprovechables y autodegradación y reincorporación por sí mismos al medio natural.

Explicado el tema del efecto de la construcción en el medio ambiente por Wadel y dicho por éste que uno de los materiales adecuados para la construcción sostenible es la tierra, continúo con los aportes del Dr. Gabriel Barbeta.

Barbeta al comienzo de su tesis explica: La Tierra es un material al alcance de todo el mundo, que por su bajo coste, permite ser utilizado hoy en día por más de un tercio del planeta, pudiéndonos dar viviendas de calidad gracias a una extraordinaria capacidad de aislamiento, abundancia, bajo impacto medioambiental y posibilitar incluso reciclar residuos agrícolas e industriales. Durante muchos años la construcción en tierra ha sido considerada “la arquitectura de los pobres”, pero las cosas han cambiado. Así en Francia

destaca el proyecto piloto de la “Domaine de Terre” en L’Ile d’Abeau y una amplia industria entorno al BTC (bloque de tierra comprimido), en el Sur de los Estados Unidos con proyectos bioclimáticos de viviendas unifamiliares de adobe, para clase media-alta; y en la misma Bélgica o Alemania donde la construcción convencional está siendo poco a poco relegada por las bioconstrucciones en tierra.

Pero al ser éste un material tradicional que cayó en desuso, es necesaria una sistematización y control para generalizar y regular su utilización actualmente, facilitando sobre todo el uso para los arquitectos. Al mismo tiempo se abren nuevas puertas para su mejora integral, adaptándose a las actuales necesidades medioambientales, siguiendo siempre las pautas sostenibles que guiaran nuestro desarrollo durante el próximo siglo.

La construcción con tierra ha sido una técnica poco desarrollada en comparación con otras tecnologías mas comunes como la del hormigón armado. Desde el abandono de su utilización en la época de la Revolución Industrial, como tecnología constructiva no se había beneficiado de ningún avance científico. Pero a partir de la crisis energética de los setenta y la extensión del uso de la bioclimática, se empezó a recuperar la construcción con adobe.

En ese momento en Estados Unidos y en la Universidad de Grenoble se hicieron las primeras aportaciones para el mejoramiento de esta técnica.

Otro aporte importante fueron los conocimientos que la Geotecnia y la Ingeniería de caminos venían utilizando desde los años cincuenta para el estudio y estabilización de suelos. Estas técnicas desarrollaron el ámbito del suelo cemento, lo cual ha facilitado la obtención de los conocimientos básicos sobre el comportamiento físico químico de las arcillas en unión con el cemento. La necesidad de conservación de los monumentos y construcciones históricas construidos con tierra, han aportado otro conocimiento científico del material. Instituciones como ICCROM (El Centro Internacional para el Estudio de la Preservación y la Restauración del Patrimonio Cultural) o la fundación Paul Getty han contribuido notablemente.

Según el **Gabriel Barbeta** en su tesis doctoral “Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI ” 2002. “ A pesar de todos estos proyectos, estudios científicos normas y ensayos muestra la aplicación de la tecnología de la tierra, de una manera parcial y con poco rigor respecto a el empleado en otros materiales y otros procesos constructivos.

En su tesis expone los puntos que son mejorables para poner, esta ancestral forma de construir, a la altura de las nuevas tecnologías, para facilitar y

normalizar su uso a los arquitectos y constructores en la ejecución de proyectos de menor costo medioambiental y económico.

El analiza los antecedentes históricos. Tiene en cuenta su aportación técnica, para hacer su correspondiente discusión y análisis crítico. Finalmente dá las conclusiones a que llega, de las que se destaca la Sistematización e Industrialización del BTC como opción preferente (Bloque de Tierra Estabilizada y Comprimida).

Para la consecución de este objetivo le fue necesario seleccionar y aportar los conocimientos básicos sobre arcillas y otros aglomerantes que deberán manejar con facilidad los Arquitectos y técnicos que trabajen con tierra estabilizada y quieran obtener altas prestaciones de resistencia y durabilidad. A la vez se muestra todo el proceso de investigación y deducción que ha sido utilizado para elaborar éste método básico de trabajo.

La síntesis, permite dar tablas de diseño práctico y un método de trabajo, con pautas que van desde los factores sismorresistentes, a los coeficientes de seguridad y a los controles de calidad.

Antiguamente el conocimiento del proceso de trabajo con los materiales locales tradicionales era algo que se transmitía oralmente, de forma intergeneracional, y que sobretodo se aprendía de una manera práctica al trabajar en obra, pero dados los fallos que se pueden dar en este tipo de arquitectura y siendo estos actualmente prevenibles es indispensable conocer a fondo la materia que se utiliza. Conocer la composición de “ la tierra” ante la amplísima diversidad de tipos que ofrece este material constructivo. Esta ha sido una labor exhausta con lo que Barbeta, ha contribuido en este tema.

Barbeta en su investigación da su crítica a los antescendentes:

- Falta de método científico-técnico para la obtención de una construcción de Tierra de calidad
- Inexistencia de un método identificativo de los tipos de tierras.
- Insuficiencia del ensayo Proctor.
- Insuficiencia del ensayo Granulométrico, y su contradicción con la gráfica de Plasticidad.
- Falta de correspondencia entre los estudios de laboratorio y las estabilizaciones adoptadas.
- Falta de método integral y consensuado para la obtención de los componentes químicos de la Tierra.
- Inexistencia de estudios integrales de durabilidad.
- Falta de correspondencia entre la analítica tecnológica del proceso de puesta en obra y los parámetros arquitectónicos del proyecto.
- Inexistencia de la utilización de pautas de diseño sostenible.
- Inexistencia de un método identificativo de los tipos de “ Tierra Estabilizable para Construcción Arquitectónica”

La construcción con tierra es de enorme complejidad por la variabilidad de las cualidades de las tierras disponibles, por el gran número de procesos constructivos y estabilizantes utilizables, y por la falta de sistematización en su análisis y elaboración.

Estos tres factores conllevan una enorme dificultad para que cualquier técnico decida construir con tierra estabilizada, pueda alcanzar un grado de optimización y mejoramiento tecnológico como se lleva a cabo en otras técnicas constructivas.

El número y diversidad de Normas citados hace inviable su manejo por los Arquitectos, los cuales en última instancia son los responsables de los materiales que se utilizan en un proyecto.

No es lógico que, siendo la Tierra el material utilizado en un tercio de las viviendas del Planeta, y representando uno de los materiales de menor impacto ambiental, y capaz de solventar la problemática de la vivienda y la sostenibilidad, se vea inmerso en esta enorme complejidad que lo aleja de cualquier control y desarrollo industrial.

Por esto la Tesis de Barbeta propone un método sencillo, pero a la vez completo, para construir con tierra de manera efectiva y sostenible, de modo que garantice las prestaciones arquitectónicas buscadas y su durabilidad.

Además incorpora una exhausta base de datos ejemplos: experimentos, sistemas tecnológicos experimentales propios, método integral para conseguir técnicamente la estabilización óptima de la tierra, análisis químico de las microprobetas, ensayos de durabilidad, método para la elección del estabilizante óptimo etc...

El método propuesto se centra en mayor grado en la ejecución de bloques de tierra estabilizada BTC, al representar estos, según Barbeta el sistema más idóneo para llevar a cabo una evolución más rápida y profunda de la construcción con tierra, y ponerla a la altura del resto de las tecnologías actuales. Ello es debido a que:

- La ejecución del bloque en máquina permite obtener un material más homogéneo, ya que se mantiene una presión de compactación constante y alta. En el caso de los sistemas de fabricación manual, el desgaste físico al final de la jornada repercute en un descenso de la calidad de compactación del bloque o el adobe.
- La calidad en cada pieza por compactación mecánica se refleja en la obtención de aristas más durables y resistentes, caras sin coqueras, y altas resistencias, siempre en comparación a otros sistemas de construcción con tierra. Por ello se obtiene un mejor
- acabado para ir colocado a cara vista, comparable a la fábrica tradicional de ladrillo.

- Esto influye directamente en un ahorro considerable en revocos, que a su vez nunca llegaron a ser tan durables como el mismo bloque compactado y estabilizado.
- Se disminuye la proporción de agua de amasado y el porcentaje de estabilizantes necesarios para la obtención de un mejor comportamiento a la retracción y al agua, y para aumentar las diferentes resistencias mecánicas de la tierra utilizada. Permite
- incluso en ciertas máquinas limitar la estabilización a la superficie del bloque. Todo esto repercute en una disminución de las fisuras en el muro ya que la contracción se efectúa durante el secado en cada bloque, el cual es mucho más rápido, permitiendo inclusive un almacenamiento inmediato, repercutiendo en no necesitar un área de fabricación y secado tan grandes.
- Permite un mayor grado de producción e industrialización, lo cual hace posible una disminución de salarios, y una mayor distribución regional del BTC, al haber la posibilidad de fabricarlo en plantas industriales y suministrar el material en zonas donde no se dispone de espacio para fabricarlos in situ o no dispongan de tierras con una
- calidad mínima para construir. Los rendimientos son altos (200-1500BTC/hora), lo cual repercute directamente en la obtención de un precio asequible y más acorde al mercado de la construcción actual, sobre todo en los países del Norte donde la mano de
- obra es cara. Esto difiere de los datos expuestos en la tabla comparativa expuesta en Construir con tierra. Cra Terre Pág.208 donde el autor afirmaba que la tapia pisada estabilizada tenía un rendimiento dos veces superior al BTC, o un 20% al adobe.
- Su propia experiencia en la ejecución de tapial le ha dado rendimientos de 0.5m³/trabajador día, considerando inclusive la preparación y mezcla de la tierra,
- resultando un rendimiento y coste mayor que con BTC, incluso si este está ejecutado en prensa manual.
- Este sistema constructivo permite integrar en su proceso industrial, de forma sencilla, el reciclaje de los derribos de construcción y de los mismos bloques defectuosos.
- Asimismo el proceso de ejecución permite fabricar bloques con formas especiales: con huecos, machihembrados, encajes, desagües, tejas, bovedillas,...
- Se tiene un grado de dificultad de ejecución bajo, en comparación al tapial, y al adobe en menor grado. La construcción en mampostería permite un control permanente en la ejecución de los BTC y de la elevación de los muros. También permite rectificar
- los errores y facilita una mayor libertad y flexibilidad en el diseño arquitectónico.

El autor nos dice que la Construcción con tierra actual, sobretodo si hablamos de BTC, necesita de procesos de estabilización, para conseguir un material durable y que responda a las actuales necesidades constructivas.

Por lo que se hace indispensable establecer una tabla que englobase a todos los métodos existentes de estabilización: Método de Evaluación de la calidad y durabilidad del BTC puesto en obra y definición del proceso de control de calidad.

La durabilidad de las construcciones de tierra estabilizada dependerá de un buen proyecto, con soluciones constructivas efectivas, correctamente ejecutadas y una estabilización adecuada. El proyecto definirá, además, la facilidad de mantenimiento, aspecto éste que no debe descuidarse nunca, y los sistemas de restauración que contempla.

Es imprescindible la aplicación de los siguientes conceptos:

- Inspección y mantenimiento regular.
- Intervenciones de restauración dirigidas al origen, no a los efectos.
- Diferenciación, en cuanto a las patologías, de sus causas y efectos.

La durabilidad del BTC puede quedar comprometida por la siguiente serie de factores, origen de patologías, que posteriormente serán analizadas :

1.El agua.

(lluvia, capilaridad, instalaciones y condensaciones, salpicaduras).
problemática resuelta a partir de : Estabilización e Impermeabilización, diseño de drenajes, menos agua de amasado.

2.Falta de heterogeneidad y Resistencia.

Debido a mala compactación o mala distribución de cargas
solución : Estudio de puntos débiles, diseño de detalles constructivos, estudio de cargas y refuerzos: Esquinas, empujes de forjados, zunchos asentamientos diferenciales, aberturas
(torsiones y cortantes), subsuelo heterogeneo o no, vías de agua cambios de temperatura, empuje del viento, bóvedas, arcos y cupulas.

3.Abrasión. Condicionado por la erosión.

solución. Estabilizaciones, protecciones de vientos dominantes.'

4. Biopatologías. originadas por la acción de seres vivos.

- Acciones del hombre: taladros, esquinas de paso, roces, humos, salpicaduras
- Los Insectos : Mal de Chagas-Tracoma, coleópteros, termitas, hormigas, telas de araña acumuladoras de humedad,.....
- La Vegetación (hiedras, árboles, hongos o líquenes en la tierra-fibras o armaduras de la composición.

Forma de tratamiento preventivo : la acción bactericida de la cal; las sales bórnicas y o la sal común.

5. Patologías Químicas.

Si es del interés del lector tener más información, puede verla en la tesis doctoral del Dr. Gabriel Barbeta. Ahí podrá encontrar el Método de Evaluación de la calidad y durabilidad del BTC puesto en obra. La definición del proceso de control de calidad, conclusiones sobre los bloques obtenidos en la parte experimental etc..

Barbeta afirma que hoy en día es factible tener un material de calidad y estandarizable ejecutado con tierra. Para ello es indispensable seguir el método

Jorge Gutiérrez, en su documento “ Notes on the Seismic Adequacy of Vernacular Buildings“ 2004, nos habla del tema de la construcción vernácula y su necesidad de que sea sismo resistente (vernáculo: Dícese de aquel tipo de arquitectura que ha sido proyectada por los habitantes de una región o periodo histórico determinado mediante el conocimiento empírico, la experiencia de generaciones anteriores y la experimentación. Usualmente, este tipo de construcciones es edificada con materiales disponibles en el entorno inmediato por Ej.: bambú, madera, adobe etc..)

A pesar de que él no recomienda la construcción en tierra para países sísmicos, como autoridad en estructuras nos da criterios importantes a considerar para una estructura antisísmica.

El explica como las construcciones vernáculas son construcciones no estructuradas por ingenieros, representan una enorme parte de el ambiente construido, y son el resultado de tradiciones ancestrales mejoradas a través del tiempo como respuesta a los requisitos de su entorno físico y social. Sólo modificados ante circunstancias persistentes o extraordinarias.

Los temblores o terremotos fuertes, son sin embargo eventos extraordinarios y perjudiciales, y tienen periodos de retorno largos lo cual hace difícil aprender de ellos en periodos cortos de tiempo sin las herramientas que ofrece la investigación y el diseño de la ingeniería moderna los cuales están ausentes de lo vernáculo.

Consecuentemente en muchos casos esta Arquitectura se ha probado inadecuada a la resistencia de terremotos fuertes y es la responsable de la mayoría de fatalidades humanas causadas por terremotos, haciendo un llamado a la participación de la comunidad de ingenieros estructurales. Históricamente la mayor causa de muertes por terremotos fuertes ha sido el colapso de edificios.

Las construcciones vernáculas son no estructuradas por ingenieros, en consecuencia representan una amenaza muy fuerte para sus ocupantes en el caso de un evento como un terremoto fuerte. Sin embargo poseen ciertas cualidades que las diferencian radicalmente de otros tipos de construcciones no estructuradas. Son el resultado de tradiciones ancestrales gradualmente mejoradas a través del tiempo en respuesta a las necesidades de sus ocupantes.

Existen muchas edificaciones vernáculas con que han probado ser adecuadas para sitios de nula sismicidad o de baja sismicidad, pero por las migraciones humanas han sido reproducidas en sitios de mediana o alta sismicidad y han dado como resultado construcciones altamente vulnerables.

Paradójicamente en algunos casos la intervención de ingenieros ha empeorado la situación, ya que han inducido la adopción de configuraciones, detalles y

métodos constructivos, apropiados para materiales modernos, a materiales vernáculos. **La verdad es que sólo las herramientas de la ciencia e ingeniería moderna y la investigación han probado ser efectivas ante los terremotos.**

Desafortunadamente a pesar de la tremenda pérdida de vidas, la sociedad y la comunidad de ingenieros estructurales han prestado poca atención al problema, de la mala actuación de algunos tipos de arquitectura vernácula ante los sismos, en muchos casos dejando a las comunidades desatendidas en sus esfuerzos por reconstruir sus viviendas. **Esto consolida las inadecuadas prácticas de construcción y muy frecuentemente después de la masiva destrucción que deja un terremoto, los sobrevivientes construyen sus casas utilizando los escombros como materiales y repitiendo los mismos patrones y reproduciendo el mismo tipo de configuraciones estructurales y detalles constructivos sin una adecuada guianza técnica o supervisión, perpetuando un ciclo vicioso de muerte y destrucción.**

Sin embargo cualquier tipo de intervención de un ingeniero estructural sería condenada al fracaso si no se hace enraizándola a una genuina apreciación de la sabiduría de las construcciones vernáculos y prestando una cuidadosa consideración al proceso. En este proceso los dueños y constructores de la obra deben de ser efectivamente incorporados, ya que deben de transformarse en creyentes de cualquier mejora propuesta, adicionalmente, estas mejoras técnicas deben de surgir de un entendimiento profundo de las tradiciones locales, superando sus debilidades y consolidando sus fortalezas, poniendo especial atención a la idiosincrasia cultural de la comunidad. Esto no es una labor fácil para los ingenieros, llenos de conocimientos de mecánicas estructurales y materiales pero no de conocimientos en sociología psicología o cultura antropológica.

Gutiérrez en sus “ Notas para una adecuación sísmica en edificios vernáculos” resume en unas cuantas reglas básicas y de sentido común, los requisitos necesarios para un adecuado comportamiento sísmico, aplicables a todos los edificios antisísmicos.

Dice que la comunidad de ingenieros tiene una tarea urgente en el rol del mejoramiento sísmico de la arquitectura vernácula no solo para mejorar el comportamiento de este tipo de construcción, ni para proteger vidas y posesiones sino también para rescatar y mejorar y esparcir las soluciones exitosas.

Principios básicos de resistencia sísmica.

Una adecuada construcción sismo-resistente debería de ser capaz de sobrellevar eventos extremos de movimientos del suelo y otros efectos que podrían ocurrir durante su existencia. Desde viejos tiempos existen unos principios básicos que han probado ser exitosos para la resistencia de los sismos, obviamente no todos deben de estar presentes pero entre más, mejor.

Selección apropiada del sitio

Los edificios deben estar situados en suelos capaces de sobrellevar el estrés causado por su peso y todas las otras acciones.

No estar cerca de áreas de derrumbe, licuefacción, subsidencia, rupturas, tsunamis, inundaciones etc.

El inevitable daño a una construcción puede ser evitado significativamente por un adecuado sitio de emplazamiento.

Ligereza

La reducción de peso por el sabio juicio de la selección de materiales y evitar masas innecesarias es algo siempre deseado. En el evento de un terremoto, una construcción pesada que caiga encima de sus ocupantes aumenta dramáticamente las posibilidades de heridas o muertes. Por el contrario construcciones livianas pueden salvar vidas.

Materiales de buena calidad

Materiales de buena calidad son básicos para cualquier estructura, propiedades como fuerza, ductabilidad, resistencia, elasticidad , ligereza, resistencia al tiempo. De particular importancia son los materiales con capacidad de resistencia a fuerzas de deformación ,cuando el suelo horizontalmente se bate. Este “batimiento” es el talón de Aquiles de la masonería inestructurada ya sea de adobe, ladrillo o piedra. De hecho se comporta adecuadamente en períodos de silencio sísmico pero no así en períodos de actividad.

Todos los materiales decaen con el tiempo en especial bajo la presencia de humedad, hongos e insectos. Algunas construcciones vernáculas por esta razón deben de tener una estrategia de sustitución inmediata, de cualquier elemento en decadencia.

Distribución y proporciones estructurales adecuadas

Distribución y proporciones estructurales adecuadas bien proporcionadas y con una relación altura- ancho y largo –ancho de paredes y columnas y dimensiones máximas de puertas y ventanas.

Integridad estructural

La estructura completa debe de responder como un sistema único integrado, previendo una matriz estable más fuerte que los elementos individuales. Es necesario para los materiales ser capaces de sostener su fuerza a pesar de deformaciones en aumento permitiendo la redistribución de fuerzas en la estructura. Las juntas entre elementos y componentes deben de tener suficiente fuerza y ductabilidad para resistir las fuerzas sosteniendo los elementos juntos, o deformarse para limitar las fuerzas transmitidas.

Aislamiento del sacudimiento

Las construcciones vernáculas tienen este concepto desde hace mucho tiempo. Usan hojas de palma o arena entre el terreno y la fundación de la construcción.

Volviendo al tema de la construcción con tierra el autor nos explica como a pesar de tener muchas virtudes y de que muchas construcciones vernáculas en este material aún se encuentran en perfecto estado en regiones donde no existe sismicidad, desafortunadamente por ser un material masivo, muy fuerte en compresión y débil a tensión “resulta el peor material para resistencia a terremotos, representando una permanente amenaza para la gente.” Sin embargo, es una tarea de los ingenieros mejorar y dar soluciones válidas antisísmicas, las cuales pueden ser conseguidas a un bajo costo y con pequeñas y efectivas intervenciones.

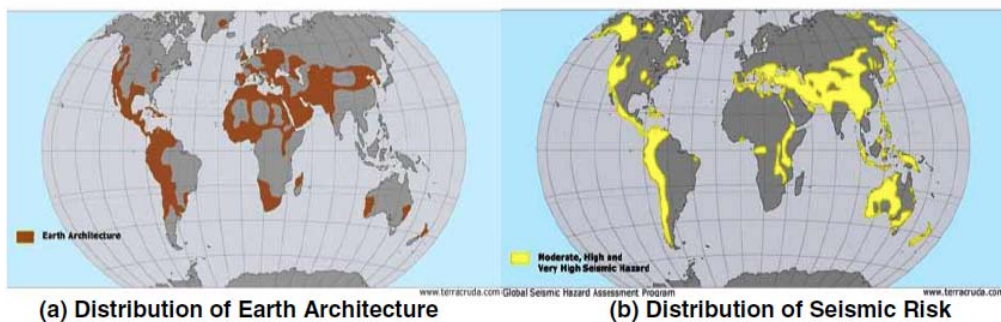


Figure 9. The perils of earth construction in earthquake prone areas (De Sensi [18])

Desafortunadamente Gutiérrez explica como este tema no captura la atención de profesores o estudiantes ya que no lo consideran un problema provocativo, no requiere de sofisticadas teorías o la aplicación de programas de computadora, las investigaciones en este tema por lo general no reciben premios ni menciones, por lo que en muchos casos no se le presta interés.

Se requiere de soporte de información fiable generada por pruebas experimentales y prototipos propuestos, así que se necesitan laboratorios de gran escala, para probar materiales, elementos estructurales, componentes, juntas. Las soluciones propuestas deben ser prácticas, accesibles de bajo costo y en acuerdo con las culturas y tradiciones. Su implementación complementada con programas de capacitación, asistencia técnica y material didáctico.

A pesar de estas cosas actualmente ha habido un esfuerzo internacional importante dirigido a la recolecta y difusión de las experiencias y conocimientos existentes por ejemplo:

En India tras el terremoto de Maharashtra en 1993 que mató a 8000 personas y dejó a un millón de personas sin hogar (50% de los hogares de arcilla, adobe, ladrillo, piedra), un programa exitoso de recuperación fue implementado.

En Latinoamérica el adobe es el material predominante en la arquitectura

vernacular y el responsable de una gran parte de las muertes por terremotos. Por ejemplo en México no es de sorprenderse que tras algunos terremotos el 70% de las viviendas que en su mayoría son de adobe y masonería no reforzada, hayan tenido un tercio de las pérdidas. **Respondiendo a esto la ‘Universidad Nacional Autónoma de México’ (UNAM) inicio un programa de investigación hace varias décadas.**

En Perú donde el adobe y la tierra amarrada se usan en el 60% de las viviendas la ‘Universidad Nacional de Ingeniería’ (UNI) y la ‘Pontificia Universidad Católica del Perú’ (PUCP) desarrollaron programas similares. Estos programas han crecido y se han fortalecido y esparcido a otras universidades como el CENAPRED en México o el CISMID en Perú.

Algunas instituciones que han actuado, con investigaciones y documentos en este tema son:

La IAEE (International Association for Earthquake Engineering) tras el reconocimiento de lo sucedido en estos y otros países sísmicos estableció el comité de “Committee on Non-Engineered Construction”

La (IDNDR). “International Decade for Natural Disaster Reduction” (IDNDR).

El grupo desarrollador (ITDG), tiene un compendio de “Principios técnicos de construcción segura.

La ‘Web-based Encyclopedia of Housing Construction’ un proyecto en conjunto por Earthquake Engineering Research Institute (EERI) y la International Association for Earthquake Engineering (IAEE) está en la Web desde el 2000 y en cuatro años ha reunido una enorme cantidad de información entre esta un Tutorial de adobe.

Una excepción es Costa Rica donde el adobe y tapial fueron prohibidos en 1910 después de el terremoto que destruyó la capital colonial de Cartago. La abundante madera se constituyó en el material predominante y una hermosa arquitectura de madera surgió por todo el país. Esta decisión visionaria explica los pocos casos de colapsos por terremotos en el siglo XX.

Gutiérrez importa la tradición colombiana y ecuatoriana del Bahareque, a Costa Rica, haciendole ciertas modificaciones apropiadas para el comportamiento adecuado en este país.

El **“Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra”** de **Gernot Minke** Primera edición: Septiembre 2001, Tercera edición revisada y ampliada: Abril 2005. Es un excelente ejemplo de la posibilidades de construcción con tierra en países sísmicos. Nos explica:

El barro como material de construcción a perdido credibilidad debido al desconocimiento de sus amplias posibilidades, al prejuicio de ser considerado el “material de los pobres” y a que gran parte de las viviendas recientemente construidas en tierra colapsaron por el efecto de últimos sismos. En varias regiones Andinas propensas a movimientos sísmicos

la utilización del adobe para la construcción esta prohibida. En Mendoza, Argentina por ejemplo más del 80% de la población rural sigue construyendo sus viviendas con adobe a pesar de estar prohibida la construcción con dicho material, este fenómeno se debe a los costos elevados del hormigón armado y el ladrillo.

Se debe tener en cuenta que algunas viviendas de tapial del siglo XVIII y XIX resistieron todos los sismos sin daños mayores, mientras que las nuevas viviendas construidas con adobes y ladrillos colapsaron. Un censo del gobierno Salvadoreño demostró que las viviendas de adobe no fueron mas afectadas durante en sismo de 2001 que aquellas construidas con bloques de cemento.

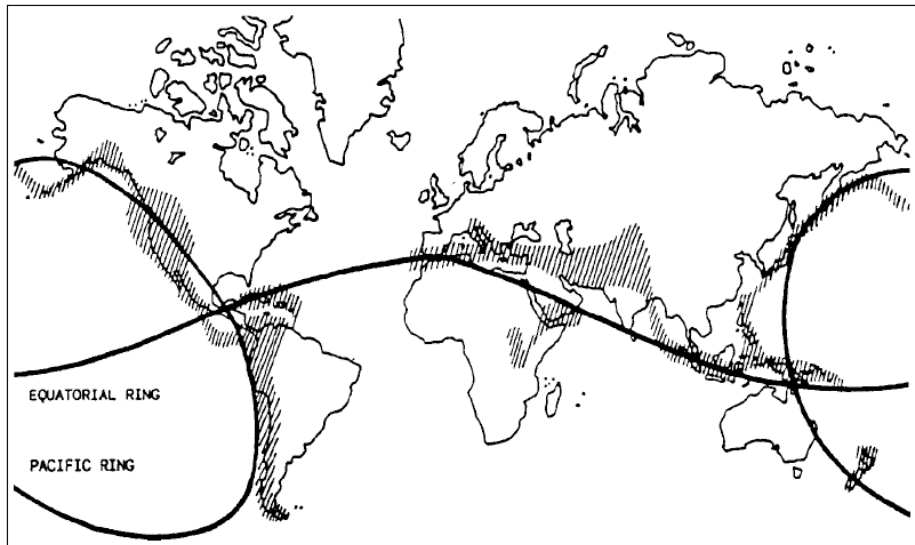
Las propuestas estructurales de este manual están orientadas a los requerimientos sísmicos locales, esto significa que están diseñadas solo para evitar el colapso de las edificaciones. En sismos moderados se pueden tolerar daños menores, como grietas pero de ninguna manera daños estructurales. En sismos de la intensidad de diseño (considerada en la región) se pueden aceptar daños menores estructurales pero no el colapso. Esto implica que la construcción tendrá capacidad de deformación y de absorción de la energía sísmica.

En este manual se trata de demostrar que es posible diseñar y construir estructuras simples (de un solo nivel) empleando muros de tierra para obtener una resistencia máxima contra efectos de un sismo.

Las soluciones propuestas están orientadas a viviendas de bajo costo de un solo nivel, que pueden ser construidas sin conocimientos especializados en zonas rurales de Latinoamérica. Este manual esta basado en proyectos de investigación llevados a cabo en el Forschungs- labor für Experimentelles Bauen (FEB), (Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales) de la Universidad de Kassel, Alemania, en la recopilación de la literatura existente, en el análisis de los daños de los sismos en Guatemala y Chile, en la construcción de prototipos de viviendas antisísmicas en **Guatemala, Ecuador y Chile** así como seminarios de científicos que se llevaron a cabo bajo la dirección del autor en 1997 y 1998 en Santiago de Chile y Mendoza Argentina.

Generalidades

Las áreas en el mundo más propensas a movimientos sísmicos se muestran en la fig.1-1. Los de mayor intensidad se han detectado en el anillo del Pacífico, desde Canadá hasta Chile influyendo también en Nueva Zelanda, Japón y Nueva Guinea.



1-1
Zonas sísmicas
(Houben,
Guillaud 1984)

La fuerza local de destrucción de un sismo y con ello sus efectos dependen principalmente de los siguientes parámetros:

- Magnitud
- Profundidad del foco y distancia al lugar
- Geología, topografía
- Suelo y subsuelo local
- Duración y frecuencia en el lugar

Por consiguiente, la magnitud es solamente uno de los muchos factores que influyen en las consecuencias de un sismo. La aceleración del suelo y la frecuencia respectiva de las aceleraciones determinan los daños en las construcciones.

Las siguientes características son las más relevantes para el comportamiento de una estructura durante un sismo:

- Resistencia contra fuerzas horizontales
- Ductilidad (capacidad de deformación, sin romperse)

Con respecto al riesgo de colapso se puede establecer aproximadamente la relación siguiente:

«calidad» del comportamiento = resistencia x ductilidad.

- Cuanto menor la resistencia, mayor es la ductilidad necesaria
- Cuanto menor la ductilidad, mayor es la resistencia necesaria

La primera solución posible consiste en construir una estructura con una resistencia tan alta, que resista el sismo sin deformación plástica. De esta manera no es necesaria la ductilidad y por lo tanto no se requiere capacidad de deformación de la estructura. Esta solución normalmente es muy poco

económica, debido a que exige grandes esfuerzos para la resistencia. Ejemplos de esta solución son las antiguas residencias de tapial con muros de un espesor de más de 60 cm, que resistieron sismos durante siglos.

Frecuentemente, se escoge una solución con estructura de resistencia mediana. Con ello, la intensidad de diseño causará solamente deformaciones plásticas moderadas y el requerimiento de ductilidad se mantiene relativamente bajo. Para sismos de mayor intensidad todavía quedan reservas plásticas suficientes, que impiden un colapso aunque con grandes deformaciones y daños. Para ello, hay que cubrir los requerimientos de ductilidad con un dimensionamiento y un diseño apropiados.

Emplazamiento de una vivienda en pendiente

Reglas:

a) No debe emplazarse la vivienda en el corte de una pendiente del terreno debido a que los impactos horizontales de la tierra durante el sismo pueden provocar el colapso del muro adyacente, ver fig. 2-1.

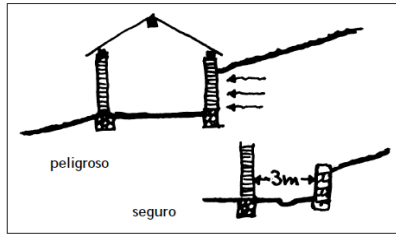
b) No debe emplazarse la vivienda sobre una pendiente, para evitar el deslizamiento de la edificación, ver fig. 2-2.

c) No debe emplazarse la vivienda cerca de fuertes pendientes, para evitar daños por deslizamientos del terreno, ver fig. 2-3 y 2-4.

d) En el caso en el que se deba emplazar la vivienda en un terreno en pendiente se debe crear una plataforma, con suficiente distancia hacia los bordes de la pendiente, ver fig. 2-5.

e) Es recomendable que las viviendas masivas y pesadas se emplacen en terrenos suaves y arenosos, para reducir la fuerzas del impacto del sismo. Mientras que las viviendas livianas y flexibles como las de bahareque, se pueden emplazar sobre terreno rocoso.

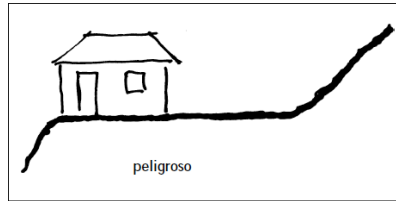
f) Se deben evitar los desniveles en la vivienda, si estos fuesen necesarios deben estar separados a una distancia de por lo menos 1m, creando así espacios autónomos.



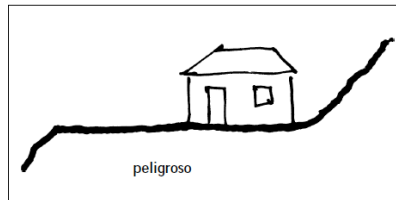
2-1



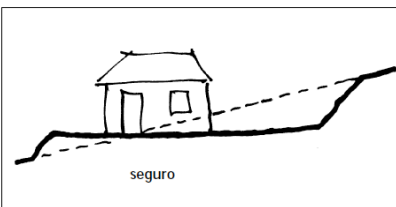
2-2



2-3



2-4



2-5

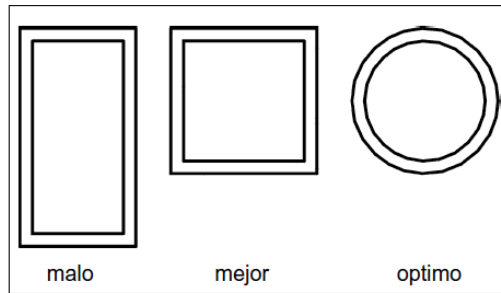
2-1 a 2-5 Emplazamiento de la construcción en pendiente

Forma de la planta

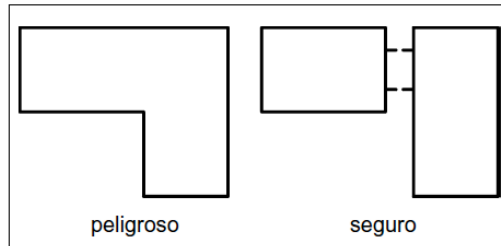
Para obtener estabilidad de la vivienda la forma de la planta es muy importante. En general: Mientras más compacta la planta, más estable será la vivienda. Una planta cuadrada es mejor que una rectangular y una circular es la forma óptima, ver fig. 3-1.

Las plantas con ángulos no son recomendables, si estas fuesen necesarias se recomienda separar los espacios, la unión entre los mismos debe ser flexible y liviana, ver fig. 3-2.

Para tener estos resultados, se hicieron estudios comparativos, los cuales se pueden ver en el Documento de Gernot Minke, esto es solo un resumen breve de los datos, encontrados en cada capítulo en dicho documento.



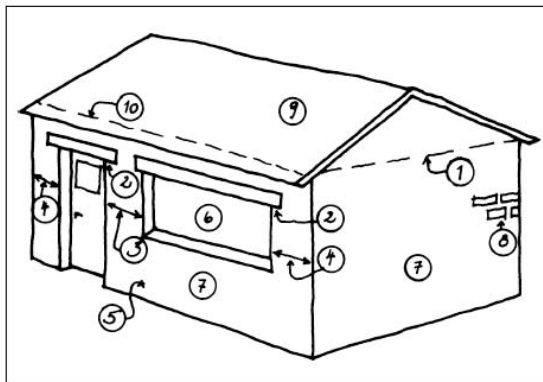
3-1 Plantas



3-2

Daños típicos provocados por movimientos sísmicos y errores de diseño.

La fig. 4-7 muestra 10 errores en una vivienda rectangular de adobe, que pueden provocar un derrumbe durante un sismo.



4-7 Errores estructurales que provocan riesgos de derrumbe durante un sismo

1. Ausencia de un refuerzo horizontal (encadenado, collarín o viga cadena)
2. Los dinteles no penetran suficientemente en la mampostería
3. El ancho de muro entre los vanos de la ventana y la puerta es demasiado angosto
4. El ancho entre los vanos de la ventana y la puerta en relación a las esquinas es demasiado angosto
5. Ausencia de un sobrecimiento (zócalo)
6. El vano de la ventana es demasiado ancho
7. El muro es muy largo y delgado sin tener elementos de estabilización
8. La calidad de la mezcla del mortero es pobre (con una baja capacidad aglutinante), las uniones verticales no están completamente rellenas, las uniones horizontales son demasiado gruesas (más de 1,5 cm)
9. La cubierta es demasiado pesada
10. La cubierta tiene un arriostamiento débil con el muro

Aspectos estructurales

Principalmente hay tres distintas posibilidades para construir una vivienda antisísmica:

1. Los muros y la cubierta deben ser tan estables para que durante el sismo no sufran deformaciones.
2. Los muros pueden sufrir deformaciones menores absorbiendo la energía cinética del sismo debido al cambio de la forma. En este caso la cubierta debe

estar bien arriostrada con el muro mediante un encadenado.

3. Los muros deben construirse como en el segundo caso, pero se debe diseñar la cubierta como un elemento estructural aislado, es decir con columnas exentas de los muros para que durante el sismo ambos sistemas tengan un movimiento independiente.

El manual brinda un método de como lograr muros antisísmicos de Tapial, Adobe, muros de bahareque (quincha). Además de otros elementos importantes a considerar que se citan a continuación:

Muros antisísmicos de tapial (tierra apisonada)

Por medio de:

Estabilización por la masa

Estabilización por la forma

Refuerzos internos

Muros de adobe

Refuerzos internos

Muros de bloques machihembrados

Muros con sistemas de refuerzo

Muros de bahareque (quincha)

Esta técnica se recomienda solo si la ejecución es perfecta sin fisuras, ni grietas. El sistema requiere control y mantenimiento, si aparecen grietas en la superficie deben ser selladas inmediatamente. Existe una propuesta para una planta (Laboratorio de Construcciones Experimentales, Kassel 1998).

Cubiertas

Vanos para puertas y ventanas

Cúpulas y Bóvedas

Revoques y pinturas

CIERRE

Resumen

La mitad de la población mundial vive en casas de tierra.

La tierra ha sido el material más utilizado en la construcción de viviendas desde los tiempos más remotos. Representa una enorme parte de el ambiente construido, y es el resultado de tradiciones ancestrales.

Con el surgimiento de nuevas tecnologías y en especial el uso intenso del cemento Pórtland, en la reconstrucción de ciudades europeas luego de la segunda guerra mundial, el paradigma de la modernidad se instala y descarta el uso de la tierra como material de construcción.

Recién será a partir de los años 70, con la crisis energética mundial, que algunos jóvenes investigadores rescatan la cultura constructiva del uso de la tierra.

La Construcción genera un enorme impacto ambiental, y consume actualmente una cantidad muy importante de recursos naturales no renovables, como son el petróleo y el carbón, y utiliza el 60 % del total de materias primas, a lo que se suma el gran volumen de residuos que genera, directos e indirectos.

Razones lógicas que fundamentan el argumento de una construcción mas ecológica y solidaria.

- Una razón económica:

Porque en principio la tierra está al alcance de todos y disponer de ella para construir disminuye los costos notablemente.

La tierra, como material de construcción, a menudo no requiere un transporte, y casi nunca se ha de comprar; por ello, disminuye claramente los costes.

El mismo proceso constructivo, debido a su simplicidad y calidad, reduce o elimina otras operaciones que requieren especialización (colocación de aislamientos, revestimientos interiores...), reduciendo aún mas los costes y facilitando su implantación en países con tecnologías no desarrolladas.

- Una razón de calidad:

Las propiedades constructivas de la tierra permiten obtener, igual o mejor que otros materiales, unas condiciones adecuadas de confort y, sobre todo, garantiza una capacidad de aislamiento tanto térmico como acústico, muy por encima de los materiales convencionales.

Gracias a su "masa térmica" la tierra tiene la facultad de calentarse y enfriarse muy lentamente, actuando como un acumulador que libera la temperatura poco a poco, en un efecto similar al del agua del mar (llamado "inercia térmica"), suavizando los cambios climáticos entre la noche y el día, o entre las estaciones, sin gasto energético, de forma totalmente natural.

- Una razón ecológica:

La utilización de un material propio del entorno, cálido y agradable a los sentidos, permite a las construcciones una mejor integración en el paisaje.

El proceso de obtención de la tierra estabilizada, minimiza la producción de residuos, ya que no requiere un proceso industrial de fabricación. Para adobar la tierra (estabilizarla), se pueden emplear una gran variedad de productos orgánicos e inorgánicos de origen natural.

El 31% de CO₂ que se genera por la extracción y fabricación de otros materiales de construcción (considerando 50 años de vida útil según valores estadísticos CIES y datos de Wadel img. 1.2 Pág. 15) puede reducirse considerablemente, ya que la técnica que se utiliza es mecánica. Debido a su capacidad de aislamiento térmico, la integración de calefacción o aire acondicionado, puede reducirse o eliminarse, lo cual contribuye a que el 64 % de CO₂ que se da por uso y mantenimiento sea menor.

Una estabilización adecuada permite obtener propiedades óptimas de impermeabilización, resistencia, etc., en mayor o menor grado según las condiciones de cada caso particular (climatológicas, medioambientales).

La arquitectura vernácula en muchos casos se ha probado inadecuada a la resistencia de terremotos fuertes y es la responsable de la mayoría de fatalidades humanas cuasadas por terremotos, haciendo un llamado a la participación de la comunidad de ingenieros estructurales. Históricamente la mayor causa de muertes por terremotos fuertes ha sido el colapso de edificios. Es por eso, que se ha hecho un gran esfuerzo, a nivel internacional por investigar las posibilidades de estructurar la arquitectura con tierra de manera que se pueda ser antisísmica. En diferentes países del mundo se han hecho manuales con técnicas de mejora o adecuación estructural, para este tipo de arquitectura. El más conocido es el manual Gernot Minke.

Problemas Pendientes

El problema pendiente que pude encontrar a través de esta investigación, es la falta de investigación de campo y de información gráfica, acerca de la resistencia o el colapso de la arquitectura construida obedeciendo estos manuales, después de un evento sísmico de gran magnitud.

Me gustaría invitar a las instituciones y a los estudiantes de cada país que trabaja con la construcción con tierra a efectuar estos estudios cuantitativos comparativos para evaluar la resistencia o colapso postsismo de casas construidas con este material y con otros con la tierra como base y compararla con las de casas construídas con otros materiales que llenen los principios de arquitectura sostenible. Dichas construcciones deben haber seguido los manuales aquí descritos.

Queda pendiente detallar de una forma más precisa o numérica el consumo de energía que podría generar este tipo de construcción y compararlo con el de otros materiales, al igual que el CO₂ que se genera en las diferentes etapas de la construcción y vida útil del edificios.

ANEXOS

Algunos países que están estudiando o utilizando la construcción con tierra.

En Alemania: Se desarrolló el Manual Vernet Mike, con el objetivo de Demostrar que es posible diseñar y construir estructuras simples empleando muros de tierra para obtener una resistencia máxima contra efectos de un sismo.

La página Web de la organización de adobe de Alemania muestra mucha información sobre el adobe, además de conectarse con empresas que fabrican productos de tierra: www.dachverband-lehm.de

En Francia: Cratterre, de la Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Grenoble y la cátedra UNESCO lanzan una llamada de solidaridad con el fin de defender el derecho a construir con tierra cruda. Este manifiesto reivindica el valor universal de las arquitecturas de tierra como patrimonio mundial y como respuesta contemporánea ineludible para un futuro eco-responsable.

El objetivo de este manifiesto a favor de la construcción con tierra es de:

Hacer saltar los frenos e impedimentos debidos a una reglamentación y a unas normas constructivas totalmente inadaptadas al material y a sus usos;

Favorecer la formación de profesionales para la construcción contemporánea y tradicional, la restauración y la conservación del patrimonio en tierra cruda;

Profundizar la investigación científica sobre la materia, el material, las técnicas de producción, la conservación del patrimonio y la arquitectura contemporánea, con el fin de mejorar la calidad del alojamiento;

Enseñar la arquitectura de tierra como una disciplina propia, en particular en las escuelas de arquitectura, de ingeniería y la formación en ciencias humanas.

Al lanzar “Habitar la tierra: manifiesto para el derecho de construir con tierra cruda”, hacemos la apuesta por la innovación con el fin de aceptar el reto y desafío de una arquitectura eco-responsable en los países tanto del Sur como del Norte.

Autores del manifiesto:

Cratterre, (<http://terre.grenoble.archi.fr/accueil.php>) Escuela Nacional Superior de Arquitectura de Grenoble, Red Cátedra UNESCO, EcologiK, Architectures à vivre, Dominique Gauzin-Müller, Jean Dethier, Lipsky-Rollet, Anna Heringer, Martin Rauch, Francis Diébédo Kéré, Marcelo Cortes, Rick Joy, Red PRO Terra, AsTerre, Sandy Minier.

En Argentina: En Mendoza, Argentina por ejemplo más del 80% de la población rural sigue construyendo sus viviendas con adobe a pesar de estar prohibida la construcción con dicho material, este fenómeno se debe a los costos elevados del hormigón armado y el ladrillo. Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con tierra Tucumán, Argentina, 08 al 13 de junio de 2009.

http://www.centrodattera.org/uploads/media/SEMINARIO_LATINOAMERICANO_ARQ_Y_CONSTRUCCION_CON_TIERRA.pdf

Curso Taller Construcción con Tierra 2010 <http://construccioncontierra09.blogspot.com/>

El Sistema Autoconstructivo Cimbra es una propuesta presentada en el 8º

Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra y 2º Seminario argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra, realizado en junio del 2009 en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán.

http://www.arquimaster.com.ar/notas/metodo_cimbra.htm

Construcción con Tierra

<http://comuni.wikispaces.com/file/view/publicacion+2.pdf>

El Sistema Auto constructivo Cimbra es una propuesta presentada en el 8º Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra y 2º Seminario argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra, realizado en junio del 2009 en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán.

http://www.arquimaster.com.ar/notas/metodo_cimbra.htm

En Perú: Después del terremoto en Huaraz, Perú, 1970, comenzaron las investigaciones sobre el potencial de construcciones de adobe resistentes a terremotos, un empeño en el que la “Pontificia Universidad Católica del Perú” (PUCP) tomó pronto el liderazgo. Esto ha resultado en una norma oficial del Perú para construcciones de adobe, que ya ha sido revisado y mejorado dos veces. La mayoría de los proyectos de adobe en Latinoamérica usan esta normativa como referencia.

El terremoto que golpeó a Perú en la tarde del 15 de agosto 2007, con una magnitud de 7.9 en la escala de Richter, afectó sobre todo a los departamentos al sur de Lima. Las viviendas destruidas o seriamente dañadas fueron 76 mil. Inspecciones después del sismo demostraron que las viviendas construidas bajo las nuevas normativas sobrevivieron sin, o solo con daños menores, en medio de una total destrucción.

El Seminario Sismo Adobe 2005 es internacional y trató temas vinculados con la arquitectura, la construcción y la conservación de edificaciones de tierra en áreas sísmicas. La actividad la organizaron la Pontificia Universidad Católica del Perú, Proterva, Earthquake Engineering Research Institute (Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica, EERI <http://www.eeri.org/site/>) y el Getty Conservation Institute.

En Guatemala : Terremoto en Guatemala 1976 un cuarto siglo después Este proyecto Basado en la evaluación sobre viviendas construidas de adobe, hecho por el equipo de la Universidad de San Carlos, 2001) estuvo concentrado en el departamento de Baja Verapaz, una zona en el centro del país sumamente afectada por el terremoto de 1976. Un grupo de constructores recibió entrenamiento en la construcción con adobe, y se lograron 150 viviendas bajo el sistema de autoconstrucción guiada. Las condiciones en que se encuentran estas casas, 24 años más tarde, son generalmente buenas. Las diferencias se deben a los diferentes niveles de mantenimiento y a la ubicación de las casas. El equipo evaluador llegó a la conclusión de que se puede construir viviendas con adobe en zonas sísmicas, siempre y cuando se tomen las medidas necesarias.

El proyecto evaluado fue finalista en el World Hábitat Award 2001.

La evaluación técnica comparó los resultados con las instrucciones en el manual producido por Caritas Guatemala, en 1976. El manual ha sido usado como documento de referencia en muchos proyectos de adobe en toda América Latina. Este se basó en una investigación subsidiada por Naciones Unidas

después del terremoto de Perú, en 1970.

En Chile : (Después del terremoto más reciente 2010)

Reconocer que nuestro verdadero patrimonio es el paisaje, que lo peor que podría pasar sería reconstruir con nostalgia, pseudohistóricamente, con estilos como si fueran antiguos (como ocurrió durante años en La Serena y otras ciudades), y que no podremos reconstruir nunca más en adobe, son algunas de las afirmaciones que Alejandro Aravena, uno de los más reconocidos

Arquitectos chilenos a nivel internacional. <http://www.hitourbano.cl/2010/03/13/terremoto-en-chile-hay-que-asumir-la-perdida-de-una-arquitectura-precaria/>

“Sin embargo decretar la muerte definitiva del adobe, puede derivar en un juicio contra la utilización de la tierra en la construcción, lo cual no corresponde, menos aún cuando la tierra es un elemento constructivo que comienza a ser revalorizado, y que utilizada con sistemas estructurales sismorresistentes puede coexistir perfectamente con la madera y otorgar excelentes condiciones de confort térmico y habitabilidad. Por lo tanto no se trata del material, sino de la técnica utilizada, y así como Chile puede transformarse en una potencia en el desarrollo del diseño y construcción en madera, también lo puede llegar a ser en el diseño y construcción antisísmica de tierra.” Autor: Tomás Ramírez C.

"Existe un número no menor de inmuebles que están estructurados en este material, los cuales son una muestra viva de que, evaluando sus restricciones y consideraciones específicas, se le puede considerar como un material vigente, ya que aún se encuentra en servicio", dice el constructor civil Francisco Prado García, académico de la Escuela de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

En Uruguay: X Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra Salto (Uruguay) del 8 al 13 de noviembre de 2010.

En Colombia :

Tierra a la vista es una empresa Colombiana dedicada a la investigación, desarrollo y comercialización de nuevos productos y materiales para la construcción, basados en conocimientos y técnicas de tradición cultural, que usan elementos naturales como la tierra cruda, la piedra y la caña brava.

El Salvador : Existe un reporte de las modificaciones necesarias para una vivienda de Bahareque en la World Housing Encyclopedia Encyclopedia of Housing Construction in Seismically Active Areas of the World. <http://www.world-housing.net/>

En Brasil: el Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED), Camari, Brasil. Desarrollo un sistema para una vivienda de bahareque con elementos prefabricados que después del ensamblaje fueron rellenados con bolas de barro.

En Venezuela: JUAN BORGES RAMOS

Universidad de los Andes Merida Venezuela, tecnologías de construcción con tierra para la vivienda rural en Venezuela.

http://www.ietcc.csic.es/fileadmin/Ficheros_IETcc/Web/EventosPublicaciones/CEMCO/J4/J4_11_Juan_Borges.pdf

En México: Red Construtierra, <http://www.construtierra.org/>
Taller de construcción con tierra <http://construtierra.org/blog/?p=13>

En Estados Unidos : El Getty Institute <http://www.getty.edu/>
El Adobe esta definido en los códigos actuales, utilizados a través de todo el país. Algunos estados como New México, Arizona y California, modifican estos códigos para que se ajusten a sus prácticas constructivas.

ARQUITECTURA CONTEMPORANEA CONSTRUIDA CON TIERRA



Oaxaca School of Plastic Arts, Mexico by Mauricio Rocha



Modern Rammed Earth
Napa Valley Home



Nk'Mip Winery and Resort the Okanagan Valley in British Columbia

Localización: Ayllu de Yaye, San Pedro de Atacama, II región, Chile

