

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN TECNOLÓGICA

USO DEL ADOBE COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ADMINISTRACIÓN EN PROYECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN**

SILVANA DEL ROCIO JAGUACO CANCHIG

DIRECTOR: ING. MANUEL AGUSTÍN ESPINOSA

QUITO, FEBRERO 2007

DECLARACION

Yo, Silvana del Rocío Jaguaco Canchig, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Silvana del Rocío Jaguaco Canchig

CERTIFICACION

Certifico que el siguiente trabajo fue desarrollado por Silvana del Rocío Jaguaco Canchig, bajo mi supervisión.

Ing. Manuel Agustín Espinosa
DIRECTOR DEL PROYECTO

CONTENIDO

Pág.

CONTENIDO	i
------------------------	---

RESUMEN	v
----------------------	---

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	6
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.5. DESCRIPCIÓN DEL ADOBE	8
1.5.1. Características del barro como material de construcción	9
1.5.2. Características arquitectónicas y estructurales.....	10
1.5.2.1. Viviendas de adobe contemporáneo y tapial	10
1.5.2.2. Comparación de características estructurales	12
1.5.3. Configuración arquitectónica.....	13
1.5.3.1. Distribución robusta.....	13
1.6. LOCALIZACIÓN MAGNITUD E INTENSIDAD DE LOS SISMOS	15
1.6.1. Comportamiento sísmico	17
1.6.1.1. Fallas típicas en viviendas de adobe y tapial	17
1.6.1.2. Análisis de vulnerabilidad sísmica	19
1.6.1.3. Resultados y conclusiones	22
1.6.1.4. Recomendaciones.....	23

CAPITULO 2

2. MATERIALES A UTILIZARSE	25
2.1. INTRODUCCIÓN	26
2.1.1. Material.....	26
2.1.2. Prueba rápida del terreno	26
2.1.3. Ladrillos de prueba	26
2.1.4. Prueba de calidad	27
2.1.5. Proceso de fabricación.....	27
2.1.6. Barro.....	27

2.1.7. Formas	27
2.1.8. Vaciado.....	28
2.1.9. Pre-secado	28
2.1.10. Secado.....	28
2.1.11. Apilado.....	28
2.1.12. Otros tipos de ladrillos.....	29
2.1.13. Apilado de ladrillos para uso en la obra.....	29
2.1.14. Corte de adobes	30
2.2. COMPOSICIÓN DE LA UNIDAD DE ADOBE Y CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.....	31
2.2.1. Factores clave.....	31
2.2.1.1. El proceso de contracción por secado o con la resistencia seca del material.....	31
2.3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL BARRO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	35
2.3.1. Fortalezas	35
2.3.2. Debilidades	36
2.4. TECNOLOGIAS TRADICIONALES DEL BARRO.....	36
2.4.1. Barro: sistemas constructivos tradicionales.....	37
2.4.1.1. El adobe	37
2.4.1.1.1. El adobe no estabilizado	38
2.4.1.1.2. El adobe semi-estabilizado	40
2.4.1.1.3. El adobe estabilizado	41
2.4.1.2. El bahareque, bajareque o pajareque.....	41
2.4.1.3. Tierra comprimida, apisonada o prensada ("rammed earth") tapia. ..	43
2.4.1.3.1. Bloques de tierra apisonada (tecnología cinva-ram).....	44
2.5. NUEVAS TECNOLOGIAS Y ACTITUDES EN EL USO DEL BARRO EN LA CONSTRUCCION.....	45
2.5.1. Adobe	46
2.5.1.1. Adobe con pómez para construir refugios en las montañas de colorado.....	46
2.5.1.2. Adobe mezclado con astillas de madera y relleno de barro liviano ...	46
2.5.1.3. Adobe de "alta tecnología".....	47
2.5.2. Industrialización del bahareque.....	48
2.5.3. Barro vaciado ("cast earth") y yeso calcinado	49
2.6. NUEVAS INTERPRETACIONES DE UNA TECNOLOGÍA TRADICIONAL	51
2.7. AVANCES DE LA MECANIZACIÓN.....	52

CAPITULO 3

3. DISEÑO	53
3.1. EL DISEÑO DE LAS VIVIENDAS DE TIERRA	53
3.2. FORMA DE LA PLANTA	58
3.3. DAÑOS TÍPICOS PROVOCADOS POR MOVIMIENTOS SISMICOS Y ERRORES DE DISEÑO	62
3.3.1. Errores estructurales que provocan riesgos de derrumbe durante un sismo	65
3.4. MUROS DE ADOBE.....	66
3.4.1. Generalidades.....	66
3.4.2. Refuerzos internos.....	69
3.5. UNIONES CRÍTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	72
3.5.1. Uniones entre cimientos, sobrecimientos y muros	72
3.5.2. Encadenados de muros	75
3.5.3. Encadenados que actúan como vigas soleras	78
3.6. TÍMPANOS	80
3.7. CUBIERTAS.....	81
3.7.1. Generalidades.....	81
3.7.2. Cubiertas aisladas de la estructura de los muros	82
3.8. VANOS PARA PUERTAS Y VENTANAS	88

CAPITULO 4

4. CONSTRUCCIÓN.....	92
4.1. INTRODUCCION	92
4.2. CASAS DE ADOBE.....	95
4.3. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN	96
4.3.1. Cimientos.....	96
4.3.2. Paredes	96
4.3.2.1. Líneas para la colocación de hileras	99
4.3.2.2. Interconectando paredes externas con internas	100
4.3.2.3. Detalles para tener en cuenta.....	103
4.3.3. Viga de union.....	105
4.3.4. Aberturas: ventanas	107
4.3.5. Aberturas: puertas	108

4.3.6. Cabeceras	110
4.3.7. Techo.....	111
4.3.8. Cables eléctricos.....	111
4.3.9. Plomería	112
4.4. TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS MEJORADAS	113
4.4.1. Uso de refuerzo horizontal y vertical	113
4.4.2. Contrafuertes	115
4.4.3. Viga collar	117

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
5.1. CONCLUSIONES.....	120
5.1.1. Signos y fuentes de deterioro de la construcción en adobe	121
5.2. RECOMENDACIONES	121
5.3. RAZONES PARA LA DISMINUCION DE IMPORTANCIA EN EL USO DEL BARRO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.	122
5.4. EJEMPLOS DE USO DE TECNOLOGIA DEL BARRO EN LATINOAMÉRICA....	123

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125
--	------------

ANEXO A

APLICACIÓN TECNOLÓGICA DEL ADOBE ESTABILIZADO.....	A-1
---	------------

ANEXO B

MUROS ANTISÍSMICOS DE TAPIAL (TIERRA APISONADA).....	B-1
---	------------

RESUMEN

El barro ha sido siempre un material de fácil disponibilidad y de muy barato costo. Con pocos conocimientos y herramientas muy elementales se han construido en muchos lugares gran cantidad de edificaciones de enorme interés y de gran valor artístico.

Las técnicas empleadas tradicionalmente, se dividen en dos grandes grupos:

Adobes

Muros de tapial.

“**Adobes**”, en las orillas de los ríos o fuentes las personas buscaban tierras pegajosas y arcillosas. Las personas que se encargaban de hacer adobes arrancaban la tierra. Tras varias labores de limpieza remojaba el montón de barro y lo cubría de paja trillada, amasando con los pies desnudos hasta conseguir un batido homogéneo. Previamente el suelo se extendía paja sobre la cual se colocaba la adobera. Con una pala o cubo se llenaba el molde, se apretaba bien con las manos, para evitar porosidades, y cuando ya estaba terminado, el operario metía sus manos en agua, para suavizar la superficie del adobe. Finalmente alzaba la adobera y quedaba construido, donde se dejaba en aquel lugar por espacio de ocho o diez días, transcurridos los cuales se le cambiaba de posición para que el aire y el sol lo fueran secando por todas partes.

Los adobes sirven para construir paredes y tabiques, ya sea uniéndolos con una mezcla de cal y arena o simplemente con barro. Para conservar este tipo de construcciones, se recubrían las paredes exteriores con una “manta” de barro mezclada con paja, en una operación denominada "embarrar" o "enlodar", aunque no siempre se hacía así.

"**El tapial**", se emplea habitualmente para definir la técnica de fabricación de muros de tierra con auxilio de dos tableros de madera que se llaman "tapiales".

Esta técnica está basada en la compactación manual de la tierra que se vierte entre los dos tableros citados, cuya separación será igual al espesor del muro o "tapia" que estemos construyendo.

El proceso de construcción de muros de tapial implica la sucesión de tres operaciones:

el montaje del cajón de madera,

el relleno y compactación de la tierra con la que se llena el cajón y,

finalmente, el desmontaje o desencofrado.

Las esquinas son puntos débiles de este tipo de construcciones y por esta razón se construían frecuentemente con mampostería, al igual que los cimientos y, en ocasiones, los zócalos. También podremos encontrar edificios con las esquinas reforzadas de ladrillo o incluso adobes.

Entre las características físicas del tapial cabe destacar una baja dilatación térmica, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de 56 decibelios en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz. Cuando el material está endurecido, presenta buen comportamiento frente al desgaste y al punzonamiento. A menudo podemos comprobar la dificultad que supone picar en las paredes de las casas de nuestros pueblos¹.

El barro es un tipo de suelo que constituye una excelente materia prima para la construcción. Es el resultado de una lenta eflorescencia de feldespato, cuarzo y mica. Es abundante, económico y reciclable, excelente para regular el control de las variaciones de la temperatura ambiental en una habitación. Mezclado con fibra provee aislamiento acústico y térmico, absorbe olores y no es atacado por el fuego. Y, como se verá en páginas subsiguientes, constituye un factor de estímulo a la creatividad, la estética y la flexibilidad de la obra arquitectónica.

¹ <http://ono.com/Grullarios/vivienda.htm> - 28k

En aquellos sitios de clima lluvioso, donde el secado tradicional del barro utilizando el calor del sol es problemático el uso del barro deriva hacia la **tierra apisonada** para la construcción de muros y paredes, lo cual exige su propia técnica constructiva.

El presente trabajo describe todo lo referente al uso del adobe como material de construcción.

En el capítulo 1 se realiza una introducción general del adobe que ha sido, y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción utilizados en nuestro planeta. Los primeros en darle un uso planificado fueron los egipcios, quienes lo usaban comúnmente en la construcción de sus edificaciones. Con el transcurrir del tiempo se fueron descubriendo nuevos materiales con mejores propiedades, más resistentes, duraderos y laborables, que poco a poco fueron sustituyendo al adobe. Sólo en algunos lugares donde las personas no han tenido acceso a estos nuevos materiales, ya sea por su ubicación geográfica, escasez, tradición cultural o baja economía, se continuó usando el adobe, y gracias a esto ha llegado hasta nuestros días.

En el capítulo 2 se detalla la descripción y los materiales a utilizarse en la elaboración del adobe, también hablaremos de su composición que es la siguiente: un porcentaje de arcilla que no debe llegar al 20% y una proporción de arena superior al 45%, mientras que el contenido del agua para el amasado conviene que no supere el 12% de la arcilla empleada, para la construcción de edificaciones; así como también sencillas demostraciones de campo que se hacen en el lugar de trabajo y que nos dará una idea acerca de las correctas proporciones de los materiales para dicha elaboración.

En el capítulo 3 se refiere al diseño de las construcciones de adobe ya que sin duda alguna uno de los principios esenciales de la construcción de adobe sismo resistente es el uso de distribuciones en planta compactas y tipo caja. Las recomendaciones principales se resumen a continuación:

Construir casas de sólo un piso.

Usar un techo liviano y aislado en lugar de un techo de tierra pesado y compacto.
Disponer la distribución de muros para proveer soporte mutuo por medio de muros transversales, en intervalos regulares en ambas direcciones o usar contrafuertes.

Mantener pequeños y bien distribuidos los vanos de los muros.

Construir sobre una cimentación firme.

Además los muros son los principales elementos portantes en una edificación de adobe. Algunas recomendaciones empíricas relacionadas a la construcción de muros resistentes a los terremotos son las siguientes:

La altura del muro no debería exceder de ocho veces el espesor del muro en su base y en ningún caso debería ser mayor que 3.5 m.

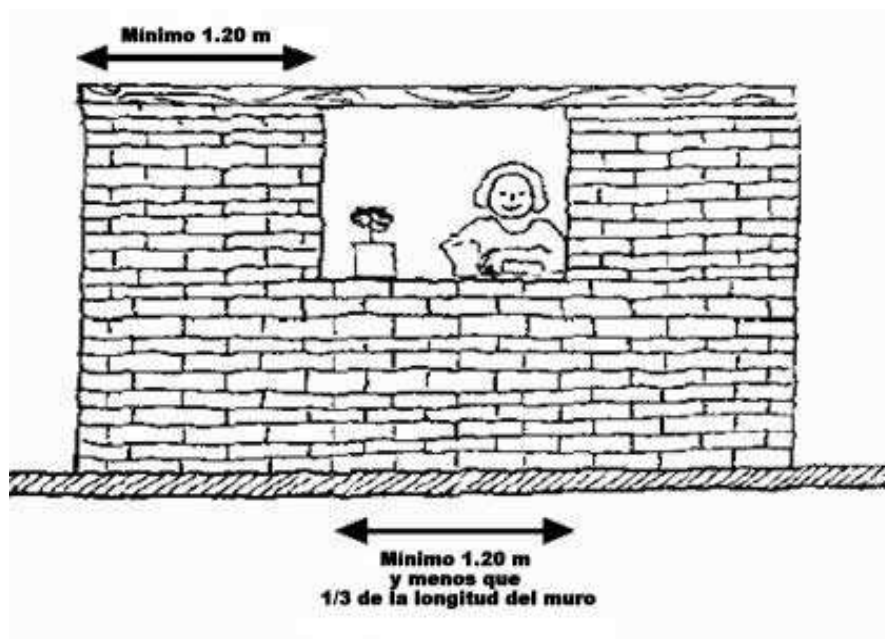
La longitud sin arriostres de un muro entre muros transversales no debería exceder de 10 veces el espesor del muro, con un máximo de 7 m.

Los vanos no deberían exceder de un tercio de la longitud total del muro.

Ningún vano debería tener un ancho superior a 1.2 m

Proveer muros de 1.2 m de longitud mínima entre vanos.

Las recomendaciones relacionadas con la longitud del muro y los tamaños y distribución de los vanos en una construcción de adobe se resumen en la siguiente figura.



En el capítulo 4 se refiere a la construcción de una estructura simple con adobe teniendo en cuenta los detalles de construcción como paredes, cimientos, vigas para obtener una resistencia máxima contra efectos de un sismo.

Una tecnología resulta más apropiada cuanto mejor uso de los recursos locales que estén disponibles, esté al alcance económico de la mayoría, no contamine el medio ambiente, responda al clima de la zona y favorezca el desarrollo de nuevas ideas que puedan ser aplicadas en un futuro.

Básicamente las construcciones de adobe están conformadas por los siguientes materiales:

Cimientos, en general está conformado por piedras grandes, hormigón y cemento, con una altura que varía de 0,45 a 0,60 m y el ancho de las cimentaciones está entre 50 y 60cm de espesor.

Sobrecimientos, está conformado por piedras medianas y grandes de cantera que llegan hasta una altura de 30 cm hasta 80 cm (en especial las viviendas antiguas) con un espesor que puede llegar a ser de 30, 40 y 50 cm.

Muros, conformado en su mayoría por unidades de adobe de 30,40 y 50cm de ancho y 12 cm de alto, con una altura de muro de 2,50 a 3,0 m por nivel en el caso de edificaciones de 2 pisos y pueden llegar hasta una altura de 3,5 en edificaciones de un nivel.

Los morteros en general son de 2 a 3 cm de espesor.

Vigas, en las viviendas se observa que en general las vigas están conformadas por piezas de madera de 7,5 y 10 cm, sentado en una capa de barro.

Techo y Cubierta, en el 100% de las edificaciones de dos niveles el techo es de madera en el primer nivel y de zinc en el segundo nivel. En el caso de las edificaciones de un piso, para el 100% de las viviendas evaluadas el techo es inclinado y de zinc el cual está apoyado sobre viguetas.

En el capítulo 5 finalmente se tienen las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. También en zonas propensas a inundaciones cauces de avalanchas, aluviones o suelos con inestabilidad geológica

Dependiendo de la esbeltez de los muros, se deberá incluir la colocación de refuerzos que mejoren el comportamiento integral de la estructura.

La mayoría de las construcciones de adobe no presentan dirección técnica en su construcción, por lo que la mano de obra es regular.

Los implementos de construcción son muy simples, por lo cual resultan muy baratos y de fácil obtención.

Se ha realizado una comparación entre el costo del uso del adobe como material de construcción para muros con respecto al costo del uso del bloque de hormigón y el ladrillo cocido en la misma edificación. Esta comparación económica se ha realizado teniendo en cuenta sólo el precio de los materiales.

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES²

Desde el punto de vista arquitectónico “vivienda” es un espacio resguardado, adecuado como morada para el ser humano. Tanto si se trata de una humilde choza o de una mansión sofisticada, y al margen de su interés arquitectónico, la vivienda siempre ofrece un refugio seguro y es el centro de la vida cotidiana.

Las características concretas de una casa dependen del clima, del terreno, de los materiales disponibles, de las técnicas constructivas y de numerosos factores simbólicos como la clase social o los recursos económicos de sus propietarios.

Hoy las viviendas también pueden disponer de diversas zonas, por ejemplo en una casa de dos pisos; el primer piso se conformaría por la sala, el estudio, el comedor, la cocina, el baño social y ésta sería la zona social y en el segundo piso encontraríamos los dormitorios con sus respectivos baños convirtiéndose ésta en la zona íntima, también hallamos zonas no habitables, como talleres, garajes o habitaciones de invitados, aparte de los diversos servicios que se necesitan en la vida diaria. Las casas se pueden construir por encima o por debajo del nivel del suelo, aunque la mayoría de las viviendas modernas están emplazadas en un nivel superior al del terreno, en ocasiones sobre sótanos semienterrados, especialmente en los climas fríos.

Los materiales más utilizados son la propia tierra, madera, ladrillos, piedra, y cada vez en mayor medida hierro y hormigón armado, sobre todo en las áreas urbanas.

La mayoría de las veces se combinan entre sí, aunque la elección depende del proyecto arquitectónico, de los gustos del cliente y, sobre todo, del precio del material o de la facilidad de su puesta en obra. Entre las instalaciones domésticas, cada vez están más extendidas la calefacción, cuyo diseño depende

² Vivienda, Lugar cerrado y cubierto construido para ser habitado por personas. (Diccionario Encarta)

del clima y de los combustibles disponibles, el agua corriente caliente y fría y los cuartos de baño interiores.

1.2. JUSTIFICACIÓN³

La carencia de vivienda en los países subdesarrollados no es un asunto fácil de resolver. Las tecnologías y los materiales convencionales están lejos de ser la respuesta para los segmentos más pobres de la sociedad, que por encima de todo, están sumamente preocupados y tienen que luchar por su pan de cada día. Está claro que la respuesta tiene que ver con un enfoque integral tecnológico y político radicalmente diferente. La auto-construcción con arcilla ha demostrado ser la respuesta más apropiada en varios países de Asia, África y América Latina y, quizás, la única vía posible mediante la cual la gente pobre puede adquirir una casa digna.

En algunos países subdesarrollados, la arcilla es usada directamente de la tierra y es moldeada en los cimientos para construir muros que crecen a medida que la arcilla se seca. Sin embargo, en este artículo nos referiremos a adobes, o “ladrillos de arcilla sin hornear”, y su uso correcto en una casa de construcción segura de acuerdo a experiencias comprobadas en varias partes de América Latina.

En algunas zonas del continente americano las viviendas han sufrido una lenta evolución. Los distintos tipos de viviendas primitivas se han ido adaptando al medio geográfico-ambiental y a las formas de vida económica de sus habitantes, ya sean pueblos nómadas (cazadores-recolectores) o sedentarios (agricultores). Los pueblos nómadas o seminómadas suelen utilizar las pieles de los animales y los elementos vegetales para su construcción, mientras que los pueblos sedentarios usan el adobe, la piedra y la madera, elementos de mayor durabilidad.

³ <http://www.ecosur.org/content/view/42/41>

Todo comienza con la selección correcta del suelo para la fabricación de adobes, un suelo que no debe contener arcilla pura, sino arena también en un rango aproximado de 40 a 60%. Se mezcla el suelo con agua y se deja por tres días para lograr la fermentación adecuada y entonces se fabrican algunos adobes para pruebas. En la mayoría de los casos se añade fibra natural para obtener mejores resultados. Si los adobes se rajan después de 24 horas, es necesario añadir arena, pero si no resisten el peso de un hombre después de 21 días, debe añadirse arcilla. En cualquier caso, la prueba práctica debe llevarse a cabo para indicar la mezcla idónea.

Cuando se haya encontrado una mezcla apropiada se comienza la producción del adobe utilizando moldes de madera o metal. Se recomienda que éstos sean cuadrados para condiciones sísmicas en un tamaño de 30x30x8 cm o 40x40x8 cm..Los ladrillos de adobe se secarán al sol y podrán ser usados cuando estén totalmente secos después de 10-15 días.

La parcela para construir la casa de adobe debe cumplir algunos requisitos. El terreno debe estar nivelado, seco y sólido y el lugar para la casa debe estar situado en la parte más alta para evitar la penetración del agua. Los cimientos deben ser fuertes, con un ancho 1.5 veces el grosor de los muros. Se recomienda el uso del concreto ciclópeo (calicanto). Para proteger los muros de la erosión, las primeras capas de la parte superior deben ser impermeables. Para asegurar esto, el cimiento de concreto ciclópeo puede elevarse por encima del terreno, o también pueden ser utilizados ladrillos de concreto. En áreas de alta acción sísmica, una viga de hormigón armado es una necesidad obligada.

La primera capa de adobe debe ser colocada usando un mortero de cal, y a partir de ahí, el mismo material de arcilla para los adobes, como mortero. La forma de la casa debe ser cuadrada, redonda o rectangular. No se recomiendan formas irregulares debido a los terremotos.

Durante la construcción, todas las paredes deben crecer a la misma vez y su peso total por día no debe exceder 1m, para proteger las primeras capas del exceso de

peso hasta que el mortero no haya secado. La longitud total del muro no debe ser 10 veces mayor que su grosor, de lo contrario, se hará necesario construir pilares medianeros, los que también se recomiendan para todas las intersecciones de muros.

Las aberturas para las paredes y las ventanas no deben exceder 1,20m de ancho y todas las aberturas en la pared no deben exceder 1/3 de su longitud. Las aberturas deben estar ubicadas a 1.20m de las esquinas.

Después que las paredes han sido levantadas se recomienda colocar un cerco de hormigón armado en la parte superior de las puertas y ventanas para soportar las fuerzas horizontales del techo.

Las aberturas por razones económicas son ideales cuando se construye el cerco arriba de las puertas y ventanas, de otra manera, sería necesario utilizar dinteles que pueden entrar al menos 50 cm en ambos lados del muro.

Las soluciones de techo pueden tratarse como para cualquier otro tipo de casa, con la única condición de que el alero⁴ debe ser tan grande como sea posible alrededor de la casa para proteger los muros de la lluvia.

Las paredes deben ser enlucidas para tener mejor protección de la lluvia y de la erosión. La experiencia ha demostrado que es mejor hacer un primer enlucido con mortero de arcilla/arena en una proporción de 1:3. Su grosor debe ser sólo lo suficiente para tener una superficie plana. Entonces, se realiza un acabado con un mortero de cal (cal:arena = 2:1) y, en este caso, el grosor no debe exceder 2mm.

La colocación de piezas de madera o metal en los muros, en las que pueden asegurarse las puertas y ventanas, simplifica la instalación de estos elementos.

⁴ Alero, Parte inferior del tejado, que sale fuera de la pared y sirve para desviar de ella las aguas llovedizas

1.3. OBJETIVOS⁵

En este artículo se propone una tecnología para la construcción de edificaciones de adobe a un costo reducido, de modo que pueda contribuir a mitigar la necesidad de vivienda en el mundo en general.

Los objetivos planteados son los siguientes:

- Difundir los conocimientos necesarios acerca de las maneras para incrementar la seguridad en las edificaciones de adobe reduciendo su vulnerabilidad sísmica, para salvaguardar la vida de sus usuarios y su propiedad.
- Alcanzar un uso sostenible del adobe estabilizado y su tecnología, con posibilidad de adaptación a las condiciones particulares de cada región.
- Difundir, en la medida de lo posible, la tecnología constructiva desarrollada al resto de los países de América Latina.

Todos estos objetivos son consecuencia de un objetivo global que se pretende alcanzar con esta investigación aplicada, que no es otra cosa que poner en manos de la población una técnica de autoconstrucción de viviendas de bajo costo, ante la problemática de la vivienda en lugares subdesarrollados.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA⁶

El principal problema para la utilización de la tierra como material de construcción esta basado con el relacionamiento directo que se hace de este material con la pobreza. En la mayoría de los casos el rechazo de este material responde más a criterios preconcebidos de estatus y a la ignorancia sobre las cualidades y ventajas que este material puede ofrecer. A pesar de esto, existe una tendencia creciente dirigida a la construcción con tierra originada por un cambio en la conciencia ambiental, por la preocupación que provoca la utilización de costosos procesos industriales que requieren grandes cantidades de energía y

⁵ CRATERRE, school of Architecture of Grenoble/1996/Construcción con tierra para la vivienda en Cuba/Editado por Hábitat/Pág.2

⁶ <http://www.goethe.de/hn/lap/cupula.htm> - 11k

cuyo consumo provoca contaminación y por el deseo de vivir en un ambiente saludable. El empleo de la tierra como material de construcción tiene la principal ventaja de ser un material ecológico y disponible en todo el mundo. Asimismo, además de proveer un aislamiento del calor y el frío, la tierra proporciona un buen aislamiento acústico, crea un equilibrio en la humedad del ambiente y tiene la capacidad de absorber sustancias dañinas.

En países en vías de desarrollo, más de la mitad de la población aún habita en viviendas construidas con tierra debido a los costos elevados del hormigón armado y el ladrillo. Es una evidencia que los altos requerimientos de viviendas en estos países no pueden ser resueltos empleando materiales que para la mayoría no son accesibles. Este proyecto es un ejemplo de la utilización de la tierra en la construcción de edificaciones públicas y demuestra que la tierra utilizada correctamente es un material duradero, económico y con grandes posibilidades.

Durante el transcurso de este resumen se tratará en lo posible de llevar una investigación más a fondo en donde se pueda encontrar información detallada sobre las diferentes técnicas de construcción con tierra, las características del material, las posibilidades de optimizar las mezclas y varios ejemplos internacionales de arquitectura con tierra.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL ADOBE⁷

Adobe, término empleado para designar un bloque constructivo hecho de tierra arcillosa y secado al sol. La tierra arcillosa o barro se encuentra por todo el mundo, especialmente en zonas áridas o semiáridas como el norte de África, México y el suroeste de Estados Unidos. El adobe se ha utilizado durante siglos para construir casas y otras edificaciones en Babilonia, en el antiguo Egipto y en numerosas culturas europeas -especialmente en la zona meridional-, africanas y americanas.

⁷ <http://www.arauzodemiel.org/textoadobe.htm> - 7k

En las orillas de algún río o fuentes las personas buscaban tierras pegajosas y arcillosas. Las personas que se encargaban de hacer adobes arrancaban la tierra. Tras varias labores de limpieza remojaba el montón de barro y lo cubría de paja trillada, amasando con los pies desnudos hasta conseguir un batido homogéneo. Previamente en el suelo se extendía paja sobre la cual se colocaba la adobera. Con una pala o cubo se llenaba el molde, se apretaba bien con las manos, para evitar porosidades, y cuando ya estaba terminado, el operario metía sus manos en agua, para suavizar la superficie del adobe. Finalmente alzaba la adobera y quedaba construido, donde se dejaba en aquel lugar por espacio de ocho o diez días, transcurridos los cuales se le cambiaba de posición para que el aire y el sol lo fueran secando por todas partes.

Debido a su escasa resistencia a la humedad, sólo se construye con adobes en zonas poco lluviosas. Los edificios suelen protegerse de la humedad con aleros y cimientos pétreos.

Las estructuras de barro se asocian normalmente con las culturas populares de todo el mundo, especialmente en España y Latinoamérica. En la actualidad se investiga, tanto en Europa como en Estados Unidos, sobre el uso del adobe como material de construcción alternativo. Su empleo resulta, al igual que el del tapial; ecológico y asequible, por lo que puede representar una solución al problema de la vivienda en los países en vías de desarrollo.

Los adobes sirven para construir paredes y tabiques, ya sea uniéndolos con una mezcla de cal y arena o simplemente con barro. Para conservar este tipo de construcciones, se recubrían las paredes exteriores con una "manta"(capa) de barro mezclada con paja, en una operación denominada "embarrar" o "enlodar", aunque no siempre se hacía así. Otro revestimiento muy frecuente es el enyesado, generalmente, sobre los enlodados anteriores.

1.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL BARRO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN⁸

El barro es un tipo de suelo que constituye una excelente materia prima para la construcción. Es el resultado de una lenta eflorescencia⁹ de feldespato¹⁰, cuarzo y mica. Es abundante, económico y reciclable, excelente para regular el control de las variaciones de la temperatura ambiental en una habitación. Mezclado con fibra provee aislamiento acústico y térmico, absorbe olores y no es atacado por el fuego. Y, como se verá en páginas subsiguientes, constituye un factor de estímulo a la creatividad, la estética y la flexibilidad de la obra arquitectónica.

En aquellos sitios de clima lluvioso, donde el secado tradicional del barro utilizando el calor del sol es problemático el uso del barro deriva hacia la **tierra apisonada** para la construcción de muros y paredes, lo cual exige su propia técnica constructiva.

En las áreas tropicales caribeñas y en algunas zonas de la costa peruana se utilizaba hasta hace relativamente poco tiempo la tecnología de barro aplicado en paredes sobre una estructura de caña. Este sistema denominado "**bahareque**", "bajareque" o "pajareque" se utiliza también en algunas regiones de España, constituyéndose en una solución climática satisfactoria aunque adoleciendo de otros defectos que han marginado gradual, y a veces injustamente, su uso.

1.5.2. CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y ESTRUCTURALES¹¹

⁸ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

⁹ Eflorescencia, Conversión espontánea en polvo de diversas sales al perder el agua de cristalización.

¹⁰ Feldespato, Nombre común de diversas especies minerales, de color blanco, amarillento o rojizo, brillo resinoso o nacarado y gran dureza, que forman parte de rocas ígneas, como el granito.

¹¹ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág.3

En esta sección se realiza una descripción general de las técnicas constructivas de adobe contemporáneo y tapial, señalando las características comunes que presentan las viviendas seleccionadas.

Las casas de adobe contemporáneo y tapial presentan características similares, a pesar de que se construyen con sistemas constructivos diferentes. Para evitar redundancia se consideró apropiado agrupar la información presentada según las principales características estructurales.

1.5.2.1. VIVIENDAS DE ADOBE CONTEMPORÁNEO Y TAPIAL¹²

Las viviendas de adobe y de tapial de dos pisos poseen características semejantes, como se observa en la figura 1, donde las fachadas son similares. Ambas técnicas constructivas presentan plantas típicas en forma rectangular, en forma de L o en forma de C, albergando en su parte posterior a un pequeño patio o a un terreno de cultivo. Por lo general, en una distribución típica de estas viviendas, la cocina y los servicios higiénicos se construyen por separado de las habitaciones, las que no se conectan interiormente.

Por ello, cada una de las habitaciones requiere de una puerta exterior que se conecte a un corredor o a una escalera.

¹² Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág.4

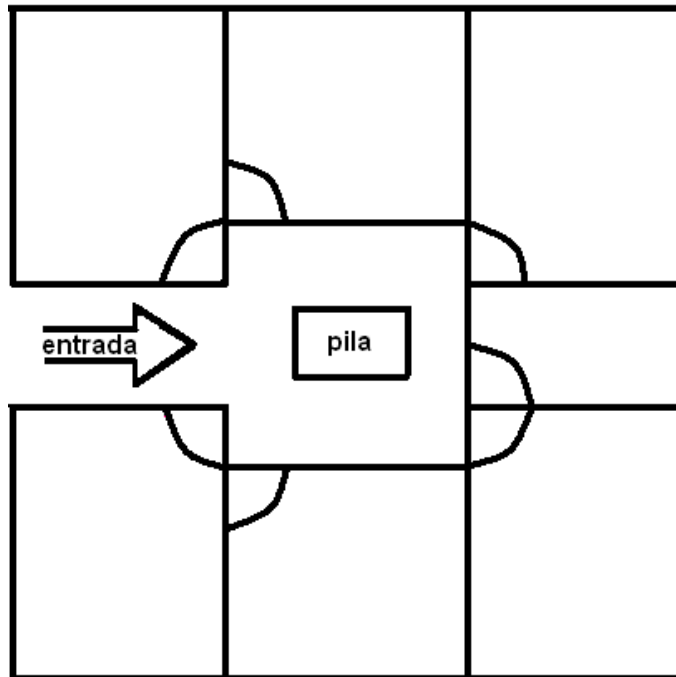


Figura 1-1 Planta típica de adobe

Los cimientos se construyen con piedras grandes unidas con mezcla de barro, y tienen una profundidad que varía entre 0,50 y 0,80 m. En algunas viviendas se construye un sobrecimiento, el cual suele ser una pared de piedra en seco.

En las **viviendas de adobe**, los muros se construyen de bloques que miden en promedio 0,40 m de largo, 0,20 m de ancho y 0,15 m de alto. Estos bloques son asentados con mortero de barro, al cual se le puede agregar paja.

En las **viviendas de tapial**, los muros se construyen de bloque que miden, en promedio 1,50 m de largo, 0,40 m de ancho y 0,60 m de alto. Estos bloques se asientan por presión, sin el uso de juntas de barro (junta seca).

En ambas tecnologías la altura de cada piso varía entre 2,40 m y 3,10 m, mientras que el punto más alto de la construcción puede llegar a 7,0 m. Las viviendas presentan revoques preparados con mortero de tierra y paja, de yeso o de cemento y pintura sintética.

Ambas técnicas constructivas cuentan con techos que se construyen con rollizos de eucalipto distanciados entre 0,60 y 0,80 m. Estos techos se apoyan directamente sobre los muros y tienen una pendiente aproximada de 15 grados si es a una sola agua, y de 23 grados si es a dos aguas. Las coberturas de los techos pueden ser tejidos con cañas, sobre las que se coloca un mortero de barro y paja para asentar tejas de arcilla.

1.5.2.2. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES¹³

En base a lo especificado en la “Norma de diseño sismorresistente de Adobe (NTE 0.80)” (SENCICO, 1997) y en las “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento” (Ottazzi, 1995) se presenta un cuadro comparativo de las principales características estructurales.

Norma E-080 y Recomendaciones	Viviendas de adobe y tapial
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de pisos Zona sísmica II: 1 ▪ Conjunto estructural: <ul style="list-style-type: none"> a) Cimentación b) Muros c) Arriostres horizontales y verticales d) Techos e) Refuerzos. ▪ Cimentación $h = 0.40$ m. ▪ Sobrecimiento $h = 0.20$ m ▪ Espesor mínimo de muros: $t = 0.30$ m <ul style="list-style-type: none"> $h \leq 8t$ $l \leq 12t$ $l \leq 2h$ ▪ Realizar ensayos de campo y de laboratorio de los adobes a utilizar. ▪ Emplear arriostres horizontales y verticales. ▪ Construir techos livianos y fijos a los muros con vigas soleras. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de pisos: 2. ▪ Conjunto estructural: <ul style="list-style-type: none"> a) Cimentación b) Muros c) No tiene arriostres d) Techos e) No tiene refuerzos. ▪ Cimentación $h = 0.80$m. ▪ No tiene sobrecimiento. ▪ Espesor de muros: $t = 0.40$ m <ul style="list-style-type: none"> $h > 8t$ $l > 12t$ $l < 2h$ ▪ Viviendas de adobe: no se realizan ensayos. Viviendas de tapial: se realizan ensayos tradicionales. ▪ No presentan arriostres horizontales ni verticales. ▪ Los techos son pesados y no presentan vigas soleras.

Tabla 1-1 Viviendas sismorresistentes de adobe y tapial vs. Viviendas de adobe contemporáneo y tapial.

¹³ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 5

Las viviendas de adobe son muchas veces construidas por los propietarios quienes usan el suelo del terreno sin realizar ensayo alguno. En cambio, el maestro tapiero selecciona un suelo medio arenoso que no contenga mucha piedra ni arcilla. Posteriormente, realiza una prueba la cual consiste en coger un puñado de tierra húmeda que luego de empuñarse no deberá disgregarse; en caso de ocurrir lo contrario se considera que el suelo no es el adecuado para la construcción de la vivienda, el motivo de éste resultado es la cohesión.

Como se observa en la tabla 1-1, en general las viviendas no reúnen las características necesarias para garantizar un buen comportamiento sísmico.

Ambas viviendas carecen de algunos elementos estructurales importantes como son las vigas soleras (viga solera, es la estructura que debe soportar todos los esfuerzos horizontales y verticales y debe ser reforzada con el techo), las cuales permiten conservar la unidad de la estructura durante un evento sísmico.



Figura 1-2 Vivienda representativa de adobe (izq.) y de tapial de dos pisos (der.)

1.5.3. CONFIGURACION ARQUITECTÓNICA

1.5.3.1. DISTRIBUCIÓN ROBUSTA¹⁴

Uno de los principios esenciales de la construcción de adobe sismo resistente es el uso de distribuciones en planta compactas y tipo caja. Las recomendaciones principales se resumen a continuación:

¹⁴ <http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial4>

- Construir casas de sólo un piso.
- Usar un techo liviano y aislado en lugar de un techo de tierra pesado y compacto.
- Disponer la distribución de muros para proveer soporte mutuo por medio de muros transversales, en intervalos regulares en ambas direcciones o usar contrafuertes¹⁵.
- Mantener pequeños y bien distribuidos los vanos de los muros.
- Construir sobre una cimentación firme.

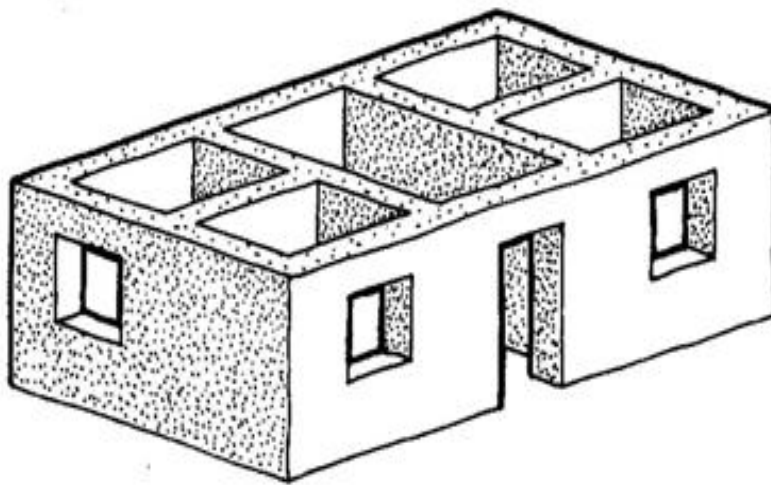


Figura 1-3 La Forma Más Segura es una Casa Cuadrada de Un solo Piso, con Ventanas Pequeñas y una Planta Compacta y Regular, con Abundantes Muros Transversales.

Los muros son los principales elementos portantes en una edificación de adobe. Algunas recomendaciones empíricas relacionadas a la construcción de muros resistentes a los terremotos son las siguientes:

- La altura del muro no debería exceder de ocho veces el espesor del muro en su base y en ningún caso debería ser mayor que 3.5 m.
- La longitud sin arriostres¹⁶ de un muro entre muros transversales no debería exceder de 10 veces el espesor del muro, con un máximo de 7 m.
- Los vanos no deberían exceder de un tercio de la longitud total del muro.
- Ningún vano debería tener un ancho superior a 1.2 m

¹⁵ Contrafuertes, Machón saliente en el paramento de un muro, para fortalecerlo.

¹⁶ Arriostres, Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal

- Proveer muros de 1.2 m de longitud mínima entre vanos.
- Las recomendaciones relacionadas con la longitud del muro y los tamaños y distribución de los vanos en una construcción de adobe se resumen en la Figura 1-4.

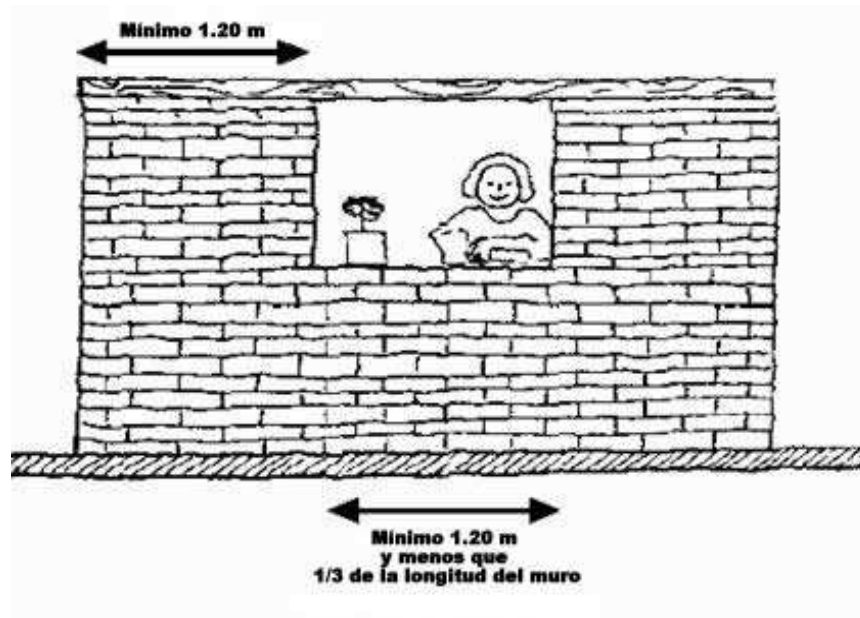


Figura 1-4 Guía para los Vanos en Muros.

1.6. LOCALIZACIÓN MAGNITUD E INTENSIDAD DE LOS SISMOS¹⁷

En regiones propensas a movimientos sísmicos, la resistencia de las construcciones a estos impactos es hoy en día una condición imprescindible.

La elección de los materiales de construcción depende de la disponibilidad, los conocimientos y experiencias locales relacionados a la construcción y aceptación de la población.

El barro como material de construcción ha perdido credibilidad debido al desconocimiento de sus amplias posibilidades, al perjuicio de ser considerado el

¹⁷ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/ Pág. 6

“material de los pobres” ya que gran parte de las viviendas que han sido construidas con este material han colapsado por el efecto de últimos sismos.

En Mendoza, Argentina por ejemplo más del 80% de la población rural sigue construyendo sus viviendas a pesar de estar prohibida la construcción con dicho material, éste 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 más afectadas durante un sismo en el año 2001 que aquellas construidas con bloques de cemento.

En sismos moderados se pueden tolerar daños menores, como grietas pero de ninguna manera daños estructurales. Esto implica que la construcción tendrá capacidad de deformación y de absorción de la energía sísmica.

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.

El sismo ocurre por el movimiento de las capas tectónicas o por actividades volcánicas. Las áreas en el mundo más propensas a movimientos sísmicos se muestran en la Fig. 1-5.

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. Otra zona propensa a los sismos se encuentra a lo largo del anillo ecuatorial, ver Fig. 1-5.

En Asia se detectaron sismos de una intensidad de 8 en la escala de Richter y en los Andes por encima de 8.7.

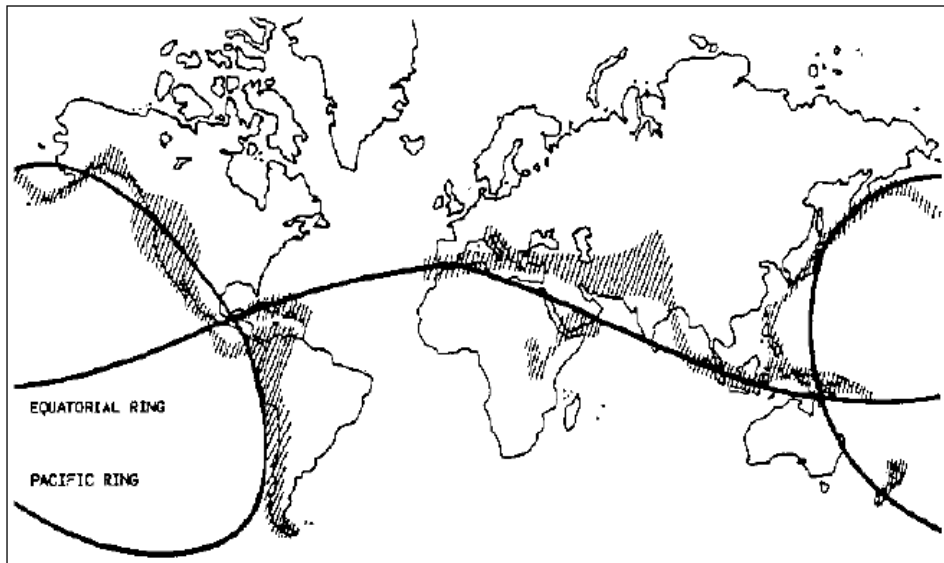


Figura 1-5 Zonas Sísmicas.

1.6.1. COMPORTAMIENTO SÍSMICO¹⁸

La actividad sísmica de nuestro territorio ha cobrado sus mayores víctimas en las viviendas de adobe y tapial. Estas viviendas han demostrado tener una alta vulnerabilidad frente a eventos sísmicos inclusive de moderada intensidad. Por otro lado, las viviendas de bahareque¹⁹ han logrado soportar satisfactoriamente los efectos sísmicos, gracias a su gran ductilidad y poco peso. A continuación se explican brevemente las principales fallas estructurales que presentan las viviendas:

1.6.1.1. FALLAS TÍPICAS EN VIVIENDAS DE ADOBE Y TAPIAL²⁰

¹⁸ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 7

¹⁹ Bahareque, Pared de palos entretejidos con cañas que suele recubrirse de barro.

²⁰ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 7

Las fallas en las construcciones de adobe o tapial pueden atribuirse principalmente a su poca resistencia en tracción y a la reducida adherencia entre el adobe y el mortero o entre tapias.

a) Falla por Flexión: las fuerzas sísmicas que actúan sobre los muros producen esfuerzos de tracción en los encuentros de muros transversales y en las esquinas superiores. Debido a la poca resistencia a la tracción de los muros, se generan grietas en la parte superior, ocasionando la separación de los muros (Fig. 1.6)

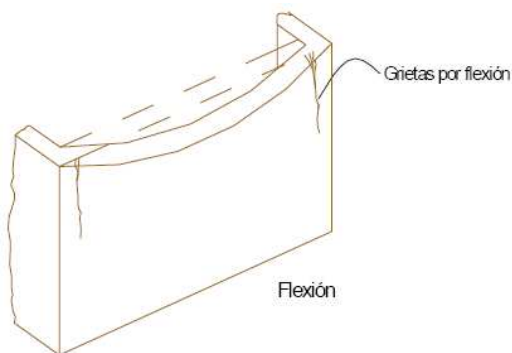


Figura 1-6 Falla por flexión en las esquinas (izq.) Vivienda con fallas de flexión (der.)

b) Fallas por Corte: cuando las fuerzas horizontales actúan paralelas al plano del muro generan grietas por esfuerzo cortante, las que generalmente presentan una orientación diagonal siguiendo las juntas verticales y horizontales de los adobes (falla escalonada) (Fig. 1.7). En el caso del tapial se produce la falla por corte-fricción, la cual consiste en el desplazamiento a lo largo de las juntas horizontales del muro, dividiéndolo en bloques que colapsaran por volteo.

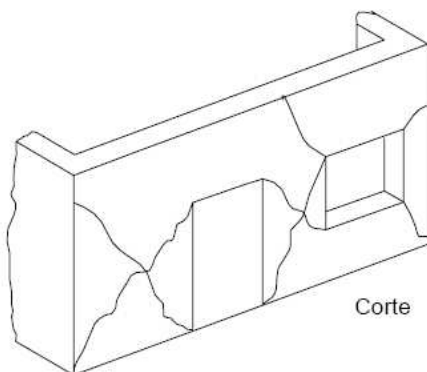


Figura 1-7 Falla por corte (izq.). Daño registrado en una vivienda (der.)

c) Falla por Volteo: una vez separados los muros debido a la falla de sus uniones, éstos se comportarán como sólidos rígidos independientes, los que serán sometidos a grandes fuerzas sísmicas. Estas fuerzas generaran momentos actuantes que serán contrarrestados por el peso de los muros. Si el momento actuante es mayor al resistente, el muro se desploma y colapsa el techo (Fig. 1.8)



Figura 1-8 Falla por volteo (izq.) Colapso de muro por volteo (der.)

1.6.1.2. ANALISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA²¹

Se empleó un análisis estático simplificado según el procedimiento indicado en la Norma de diseño Sismorresistente E-030 (SENCICO, 1997). Se debe tener presente que no es posible analizar el comportamiento sísmico de las viviendas que se encuentren en mal estado, ya que no es factible estimar las resistencias de sus elementos estructurales. Además, el análisis no considera la posible interacción con las construcciones vecinas.

A continuación se detallan los pasos de la metodología aplicada para el análisis:

- a) Evaluar las características sísmicas de la vivienda en análisis:** se determinan las principales fallas que podrían presentarse.
- b) Determinar los sismos de análisis:** se determinan los sismos en función a su probabilidad de excedencia (alejamiento) para diferentes años de exposición.

²¹ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 8

Estos parámetros fueron generados de acuerdo a las recomendaciones de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (Structural Engineers Association of California) (SEAOC,1995). Con el fin de comparar las diferentes tecnologías constructivas, se optó por emplear las aceleraciones en roca correspondiente a la ciudad de Lima, una de las zonas sísmicas más críticas del Perú (SENCICO, 1997 y Muñoz, 2001) (Tabla 1-2).

Sismo de análisis	Probabilidad de ocurrencia (%) en años de exposición	Período de retorno	Acel. Max. en roca (g) Z
Frecuente	50% en 30 años	43 años	0,20
Ocasional	50% en 50 años	72 años	0,25
Raro	10% en 50 años	475 años	0,40
Muy raro	10% en 100 años	970 años	0,50

Tabla 1-2 Sismos de Análisis

c) Modelar y analizar la estructura para obtener las demandas de esfuerzos:

dado que las viviendas de adobe y tapial comúnmente no presentan refuerzos horizontales ni verticales que conecten los techos con los muros, las fuerzas sísmicas no se distribuyen proporcionalmente a la rigidez de los muros. Por ello, los techos y las losas de entrepiso no se consideran como diafragmas rígidos en el análisis sísmico. En consecuencia, se puede asumir que los muros actúan independientemente bajo la acción de las fuerzas sísmicas. El análisis se realiza para las solicitaciones de flexión, volteo y corte, verificando los esfuerzos actuantes en cada muro.

d) Obtener los factores de capacidad-demanda: las fuerzas sísmicas originan esfuerzos, desplazamientos y demandas de ductilidad, los cuales se incrementan hasta que alcancen sus respectivos valores máximos de resistencia elástica. Una forma de cuantificar la relación entre los esfuerzos y desplazamientos es a través de los factores de capacidad-demanda. (Blondet et al,1989) (Ec.1).

$$\text{Factor capacidad-demanda} = \text{Fuerza Resistente} / \text{Fuerza Actuante} \quad (\text{Ec. 1})$$


Si esta relación es menor que 1 se considera que el muro no es capaz de soportar la solicitación, sufriendo daños que pueden llevar al colapso de la

estructura, de lo contrario (>1) la estructura conserva su estabilidad y los daños podrían ser reparados.

e) Evaluar la vulnerabilidad sísmica: se evalúa según los niveles de desempeño propuestos por el SEAOC (Structural Engineers Association of California). Se considera que el nivel de desempeño de la estructura es:

- Completamente Operacional cuando los muros estructurales y tabiques no presenten daños que alteren su rigidez.
- En el nivel Operacional, la estructura ha sufrido pequeños daños estructurales, pero mantiene gran parte de su rigidez.
- En el nivel de Supervivencia; la estructura ha sufrido un daño estructural importante, sin embargo, la estructura conserva parte de su resistencia lateral y un margen contra el colapso, en este caso la reparación es factible.
- En el nivel Cerca al Colapso, la estructura ha perdido casi toda su rigidez, los elementos no estructurales pueden terminar fuera de sitio y estar en peligro de caerse.
- El Colapso de la estructura ocurrirá cuando los muros fallen por flexión, corte o volteo, de manera que se pierda la estabilidad del conjunto.

En base a los factores de capacidad-demanda obtenidos para cada vivienda, se obtendrá una tabla de nivel de desempeño como la mostrada en la tabla 1-3 (SEAOC, 1995), sobre la cual se concluye el nivel de vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

		NIVEL DE DESEMPEÑO				
Sismo de análisis	Completamente operacional	Operacional	Supervivencia	Cerca al colapso	Colapso	
	I	II	III	IV	V	
Frecuentes	●					
Ocasionales		●				
Raros			●			
Muy raros				●		
						
		Baja Vulnerabilidad Alta Vulnerabilidad				

●—● Comportamiento recomendado por el SEAOC para las construcciones de vivienda

Tabla 1-3 Tabla de nivel de desempeño

1.6.1.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES²²

Frente a las solicitaciones sísmicas establecidas, se comprueba que las viviendas de tapial y adobe son las más vulnerables. Estas presentan un comportamiento inaceptable, ya que durante sismos frecuentes las estructuras se encuentran cerca al colapso, y por lo tanto, no garantizan el resguardo de la vida de sus habitantes. Este comportamiento se debe principalmente a la fragilidad y poca resistencia de los materiales que componen las viviendas. Es importante resaltar, que según lo especificado en la norma de adobe y en las recomendaciones técnicas, estas viviendas no deberían tener más de un piso, ya que se encuentran en zonas de alta actividad sísmica. Se verifica mediante el análisis, que las viviendas representativas de adobe y de tapial (Fig. 1-2) tendrán un comportamiento inadecuado, debido a la gran masa que concentran los muros, provocando que la solicitación sísmica sea mayor (Fig. 1-9 y Fig. 1-10).

²² Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 10

Sismo de análisis	NIVEL DE DESEMPEÑO				
	I	II	III	IV	V
Frecuentes					
Ocasionales					
Raros					
Muy raros					

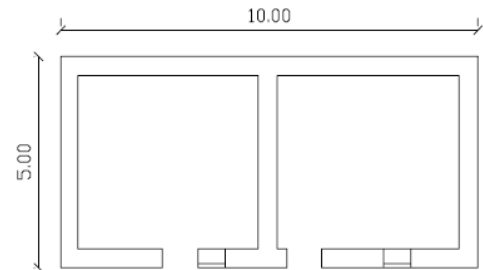


Figura 1-9 Niveles de desempeño y planta de la vivienda de adobe de dos pisos

Sismo de análisis	NIVEL DE DESEMPEÑO				
	I	II	III	IV	V
Frecuentes					
Ocasionales					
Raros					
Muy raros					

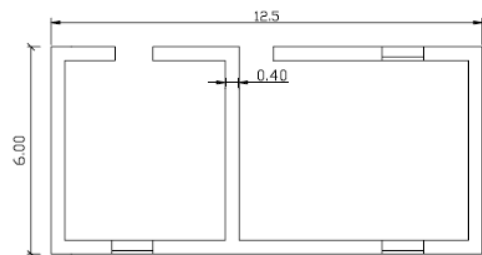


Figura 1-10 Niveles de desempeño y planta de la vivienda de tapial de dos pisos

Puesto que las viviendas seleccionadas pueden considerarse como representativas, es de esperarse que durante un sismo severo de 0,4g, colapsen muchas viviendas de adobe y tapial de dos pisos.

1.6.1.4. RECOMENDACIONES²³

En la investigación “Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos” (Zegarra et al 2001), se reforzaron 5 viviendas de adobe Tacna y Moquegua (Perú), las que tras el terremoto del 23 de Junio del 2001 se comportaron elásticamente, por lo que no tuvieron daños, como las casas vecinas, comprobándose la eficacia del reforzamiento. Esta tecnología consiste en el enmallado de muros y en su recubrimiento con mortero de cemento. Para la ejecución del reforzamiento primero se retira el revestimiento existente en la zona por enmallar. Luego, se perfora el muro para instalar el conector (alambre No. 16 de 0,90 m) y se rellena la perforación con mortero de cemento, los conectores se ubican horizontalmente a 0,20 m de las esquinas y aproximadamente cada 0,50 m de altura. Después se instala la malla engrapándola con los conectores y

²³ Lourdes Gutiérrez, Marcial Blondet/Características Sísmicas de las Construcciones de Tierra en el Perú/Lima-Perú/Pág. 11

clavándola con clavos de 2 ½ pulgadas y chapas (placas). Finalmente, se reviste con mortero de arena fina 1:4. En el caso de las viviendas de dos pisos, se enmalla la totalidad de los muros del primer piso, mientras que en el segundo piso sólo se enmallan los encuentros de los muros (Fig. 1-11).

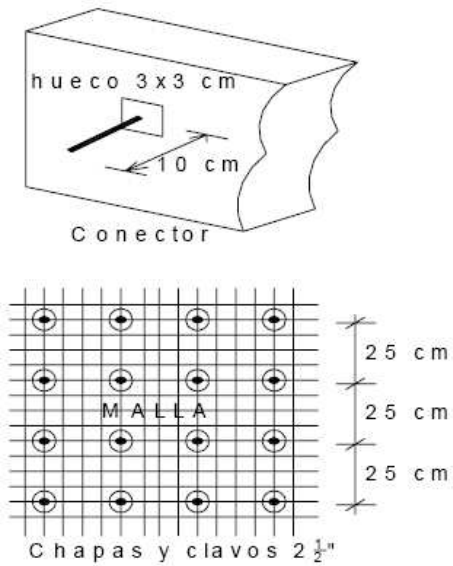


Figura 1-11 Conector y engrapado de malla (izq.)

CAPITULO 2

2. MATERIALES A UTILIZARSE

2.1. INTRODUCCIÓN²³

²³ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 15

El proceso que se describe a continuación es el más simple, donde el secado de los adobes se hace al sol. Las construcciones de adobe requieren un intenso trabajo manual. Las primeras hileras de adobes son relativamente fáciles de colocar, pero cuando se tiene que usar andamiaje, subir la mezcla de barro y los adobes al nuevo nivel de trabajo requiere un grupo de personas trabajando juntos.

La fabricación de los adobes no es una excepción a esta regla. Dado que el costo de las paredes de una casa de adobe representa un 10% del costo total, los adobes ya hechos representan la mejor solución.

2.1.1. MATERIAL

La proporción de arena, arcilla y componentes orgánicos en el suelo varían de acuerdo con el lugar y origen de la tierra de donde provenga. La proporción más indicada para lograr una mezcla homogénea es: 20% arcilla; 80% arena. Si el suelo tiene mucha arena los adobes serán fácilmente destruidos por el agua. Si tiene mucha arcilla se contraerán mucho durante el proceso de secado, con una fuerte tendencia a rajarse.

2.1.2. PRUEBA RAPIDA DEL TERRENO

Puede hacerse una prueba rápida del suelo usando un frasco con agua, donde se introduce un puñado de tierra. Tápelolo y agítelo fuertemente. Déjelo asentar. La arena y el limo son los primeros en depositarse, mientras que la arcilla permanece en suspensión formando una nube opaca antes de asentarse. La estratificación en el fondo le dará una idea de las proporciones.

2.1.3. LADRILLOS DE PRUEBA

Fabricando unos pocos adobes de prueba es la forma más segura. En común que el terreno tenga mucha arcilla. Esto provoca rajaduras en los adobes, las que

aparecen después de unas 24 horas de secado (o antes). Agregando arena se arregla el problema.

2.1.4. PRUEBA DE CALIDAD

Después de un pre-secado y tres semanas adicionales de secado al sol, el adobe debe tener una dureza que permita resistir un rayado substancial de su superficie usando un cuchillo y la caída al suelo, desde unos 60cm de altura, sin dañarse demasiado.

2.1.5. PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso consiste en el moldeado del barro, seguido de un proceso de secado, el que se lleva a cabo con el sol. Los moldes deben tener unos 25 cm de ancho, por 10 cm de alto, por 34 cm de largo. Este adobe, seco, pesa entre 15 y 20 Kgs.

Adobes más grandes son muy difíciles de manejar. Las medidas no son críticas, pero la experiencia indica que proporcionan el mejor balance entre el peso, aislación y robustez de la pared.

2.1.6. BARRO

La tierra debe ser mezclada, dentro de un hoyo en la tierra, con suficiente agua como para poder revolverla con la pala. Si puede conseguir una pala mecánica, la “mezcla” puede ser hecha en forma más fácil. Si compra tierra, verifique su composición antes de usarla.

2.1.7. FORMAS

Se usan moldes múltiples, unos 16 adobes (máximo) por molde. Si no cuenta con ayuda para levantar el molde en forma pareja, use moldes de menor número o individuales.

2.1.8. VACIADO

Los moldes se colocan en el suelo, sobre una capa de arena de pequeño espesor. Moje los moldes antes de usarlos, para evitar la adhesión del barro a sus paredes, dificultando su remoción. La “mezcla” se vacía en los moldes. No es importante alisar la superficie de los adobes. Tampoco tiene importancia que las esquinas sean perfectas. Todo se arregla “con un poco más de barro” al hacer las paredes.

2.1.9. PRE-SECADO

Deje que los adobes se sequen lo suficiente como para poder retirar el molde sin que los ladrillos se tuerzan excesivamente. Extienda el período de pre-secado por tres días de sol, hasta que éstos puedan ser parados de canto (lado).

2.1.10. SECADO

Una vez completado el pre-secado, pueden ser apilados, como lo enseña la ilustración. Déjelos secar por unas dos semanas de sol.

2.1.11. APILADO

Notas:

- No apile más de cuatro hileras.
- Al usarlos saque adobes de uno y otro lado, para preservar el balance.
- Forme varias de estas pilas a lo largo de la futura pared, para evitar moverlos por largas distancias.

- Si anticipa lluvias, cúbralos con plástico.

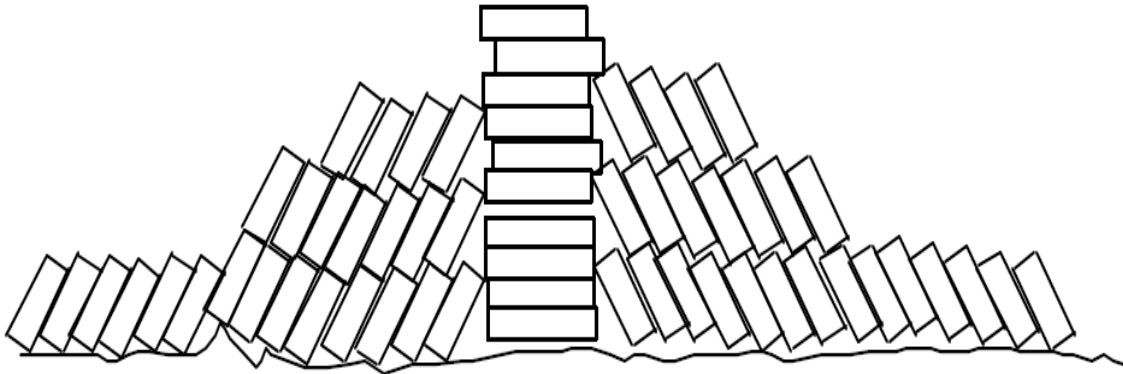


Figura 2-1 Apilado

2.1.12. OTROS TIPOS DE LADRILLOS

Otros métodos de fabricación usan hornos para el secado. A estos ladrillos se los conoce como “adobe quemado”. El adobe estabilizado tiene aditivos para resistir mejor la humedad, como una emulsión de asfalto. A veces se agrega cemento Pórtland o productos químicos especiales. Rociar o pintar al adobe puede resultar contraproducente, pues la aplicación cambia la composición del material aplicado.

El mayor costo de estos ladrillos sólo se justifica si no se va a usar revoque en las paredes o si se desea exponer las pilas a la lluvia, sin protección.

2.1.13. APILADO DE LADRILLOS PARA USO EN LA OBRA

No se olvide de proporcionar una base firme y uniforme para el apilado de los adobes. Mediante el uso de tirantes de madera, deje un espacio entre el suelo y la base de la pila para que la lluvia no los deteriore.

Si anticipa lluvias, cubra la pila con plástico. Para evitar un acarreo innecesario de los adobes durante el proceso de construcción, no apile todos los adobes que recibe en un solo lugar. Distribuya el envío en pequeños lotes, con suficientes adobes como para levantar una pared, en cada cuarto, que no sobrepase la altura

de sus hombros. Recuerde que a partir de esta altura, Ud. deberá usar andamiaje, para el que necesita un lugar, más el que toma moverse para su armado.

Como el perímetro de las paredes exteriores se levanta hilera por hilera, todo alrededor, distribuya los adobes de manera que le queden cómodos.

A fin de facilitar el acceso a los adobes, apílelos de canto, cuidando que cada fila tenga un ángulo de unos 45 grados. Una hilera para un lado, la siguiente en el sentido contrario, como lo indica la figura a continuación.



Figura 2-2

2.1.14. CORTE DE ADOBES

Siempre utilice una base de arena para asentar el adobe que va a cortar, para evitar su rotura. Con una pequeña hacha, haga una incisión a lo largo del perímetro del corte. Con el adobe apoyado sobre un canto, corte aproximadamente la mitad de su ancho. Dé vuelta el adobe, apoyando sobre la arena el canto opuesto. Con el hacha corte el remanente. Esta técnica le permitirá obtener un corte parejo a todo lo ancho del adobe. Si intenta cortar el adobe sin voltearlo, el corte será imperfecto o puede a llegar a perder el adobe.

2.2. COMPOSICIÓN DE LA UNIDAD DE ADOBE Y CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN²⁴

2.2.1. FACTORES CLAVE

Las características de los suelos que tienen mayor influencia en la resistencia de la albañilería de adobe son aquellas relacionadas con:

2.2.1.1. EL PROCESO DE CONTRACCIÓN POR SECADO O CON LA RESISTENCIA SECA DEL MATERIAL

- **Arcilla:** el componente más importante del suelo; provee la resistencia seca y origina la contracción por secado del suelo.
- **Control de la microfisuración del mortero de barro debida a la contracción por secado:** requerido para obtener albañilería de adobe fuerte.
- **Aditivos:** paja y en una menor proporción arena gruesa son aditivos que controlan la microfisuración del mortero durante la contracción por secado y por ende, mejoran la resistencia de la albañilería de adobe.
- **Construcción:** la calidad de la mano de obra juega un papel importante para obtener una albañilería de adobe fuerte, resultando en variaciones de resistencia globales del orden del 100%.

RECOMENDACIONES:

- **ARCILLA:** Realizar el:
- **ENSAYO DE RESISTENCIA SECA**, con el suelo elegido hacer por lo menos tres bolitas de barro de aproximadamente 2 cm de diámetro.

Una vez que se han secado (después de por lo menos 24 horas), aplastar cada bolita entre el dedo pulgar e índice. Si ninguna de las bolitas se rompe, el

²⁴ <http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial4>.

suelo contiene suficiente arcilla como para ser usado en la construcción de adobe, siempre que se controle la microfisuración del mortero debida a la contracción por secado.

Si algunas de las bolitas pueden ser aplastadas, el suelo no es adecuado, ya que carece de la cantidad suficiente de arcilla y debería ser descartado.

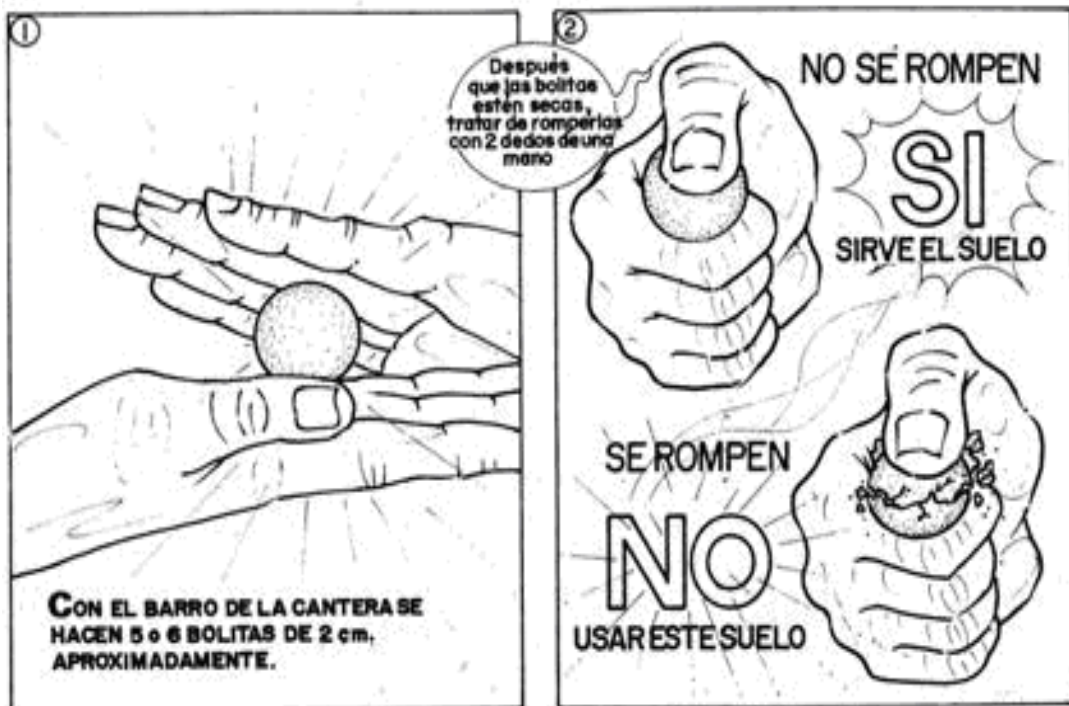


Figura 2-3 Ensayo de Resistencia Seca

- **ENSAYO DEL ROLLO**, es una alternativa para elegir el suelo en el campo. Usando ambas manos, hacer un pequeño rollito de barro.

Si la longitud sin romperse del rollito producido está entre 5 y 15 cm, el suelo es adecuado. Si el rollito se rompe con menos de 5 cm, el suelo no debe ser usado.

Si la longitud sin romperse del rollito es mayor de 15 cm, se debe añadir arena gruesa.



Figura 2-4 Ensayo del rollo

- **CONTROL DE MICROFISURACIÓN AÑADIENDO PAJA**
- **Aditivos:** paja; especialmente al preparar el mortero, añadir al barro la máxima cantidad de paja posible que permita una adecuada trabajabilidad. Si no se dispone de paja, realizar el:

"ENSAYO DE CONTROL DE MICROFISURACIÓN". Hacer dos o más emparedados²⁵ de adobe (dos bloques de adobe unidos con mortero). Después de 48 horas de secado en la sombra, los emparedados se abren cuidadosamente y se examina el mortero. Si el mortero no muestra fisuración visible, el suelo es adecuado para la construcción de adobe. Cuando la fisuración es notoria y abundante, usar arena gruesa como aditivo para controlar la microfisuración debido a la contracción por secado.

- **Aditivos:** arena gruesa; la proporción más adecuada suelo-arena gruesa se determina realizando el ensayo de control de microfisuración con por lo menos

²⁵ Emparedados, Bloques de adobe unidos con mortero.

8 emparedados fabricados usando morteros con diferentes proporciones de suelo y arena gruesa. Se recomienda que las proporciones suelo-arena gruesa varíen entre 1:0 (sin arena) hasta 1:3 en volumen. El emparedado con la mínima cantidad de arena que no muestra microfisuración visible al ser abierto luego de 48 horas de haber sido fabricado, indica la proporción suelo:arena gruesa que se deberá usar en la construcción de adobe.

- **TEMAS CONSTRUCTIVOS:** humedecer las unidades de adobe antes de ser asentadas. Todas las caras que estarán en contacto con el mortero deberían ser humedecidas superficialmente. Esto se puede lograr salpicando agua.
- **"DORMIDO" DEL BARRO:** el efecto positivo de almacenar el barro durante uno o dos días antes de la fabricación de las unidades de adobe o del mortero es una práctica tradicional en Perú. Este procedimiento permite una mayor integración y distribución del agua entre las partículas de arcilla, logrando de esta manera activar sus propiedades cohesivas.
- **OTRAS RECOMENDACIONES GENERALES:** eliminar todos los elementos ajenos al barro; mezclar meticulosamente tan uniformemente como sea posible, secar los bloques de adobe a la sombra; limpiar los adobes antes de asentarlos, hacer juntas de mortero uniformes y totalmente llenas; y asegurar que el muro esté a plomo.



Figura 2-5 Control de microfisuración añadiendo paja

2.3. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL BARRO EN LA CONSTRUCCIÓN²⁶

2.3.1. FORTALEZAS

a) Independencia y disponibilidad.

Un factor importante a favor del barro es su independencia y la abundancia, disponibilidad y uso de su materia prima con fines de participación comunitaria y de su uso por mano de obra no especializada.

b) Trabajabilidad.

En el caso del adobe tradicional, otro beneficio lo constituye la facilidad para cortarlo, tornearlo o ajustarlo dimensionalmente.

c) Costo de fabricación.

Las tecnologías tradicionales del barro aquí tratadas (adobe, bahareque, barro prensado) no presentan exigencias energéticas que no sean el uso del sol como fuente de secado. Esto representa un ahorro significativo con relación a otras tecnologías.

En el caso específico del adobe tradicional como material de construcción el ahorro del costo energético en su producción es factor decisivo, máximo si se toma en cuenta que el "quemado" del ladrillo rojo de arcilla representa el 40 % de su costo. Si comparamos los valores energéticos requeridos para producir ambos materiales encontraremos que son de 2.000 Btu para el adobe contra 30.000 para el ladrillo de horno.

d) Insonorización y climatización.

El uso del barro en construcción representa un buen aislante acústico y, aún cuando no puede ser clasificado como un buen aislante térmico en regiones donde hay diferencias marcadas día-noche en la temperatura ambiental exterior, la pared de barro actúa como un regulador ambiental en materia de climatización interna.

e) Sentido ambientalista.

²⁶ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

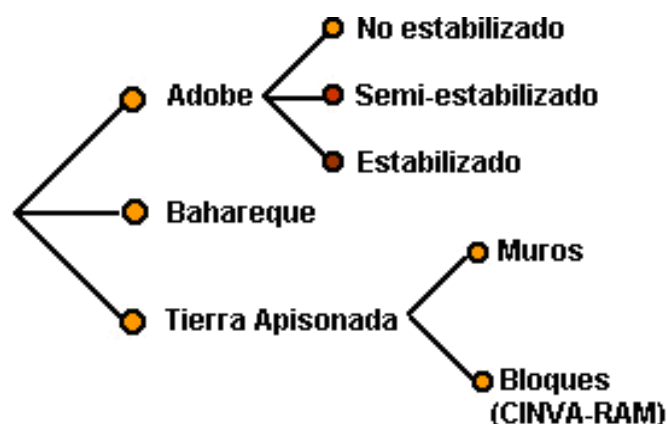
Desde el punto de vista de la creciente conciencia ambientalista que caracteriza a la arquitectura actual el barro se agrupa con las tecnologías ambientalmente correctas en razón de su auto reciclaje.

2.3.2. DEBILIDADES

- Las construcciones que incorporan el uso del barro son especialmente vulnerables al deterioro y ameritan de atención y mantenimiento. Esto por supuesto depende en mucho del grado de estabilización y compactación del material utilizado así como de sus condiciones originales. En muros de tierra comprimida y estabilizada estas debilidades son mínimas mientras que se elevan al máximo en construcciones que utilicen el bahareque o el adobe tradicional no estabilizado.
- Otra debilidad es, hasta ahora, la baja popularidad que disfruta en el campo de mecanización industrial de sistemas constructivos en razón de su excesiva dependencia en labor manual ("labor intensive"), lo cual tiende a encarecer los servicios de su producción profesional.

2.4. TECNOLOGIAS TRADICIONALES DEL BARRO²⁷

Las tecnologías tradicionales del barro de uso más divulgado pueden resumirse según el siguiente esquema:



²⁷ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k -Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

2.4.1. BARRO: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

A continuación se detalla la información de cada uno de los elementos que componen el cuadro sinóptico mencionado en el punto anterior.

2.4.1.1. EL ADOBE

Es un ladrillo hecho con barro que tiene, tradicionalmente, unos 25 x 35 x 10 cm, con un peso promedio de unos 14 kilos. La mezcla ideal contiene un 20% de arcilla y un 80% de arena. Estos materiales, mezclados con agua, adquieren una forma fluida que permite volcarla en formas de madera dotadas de las dimensiones citadas anteriormente. Cuando parte del agua se evapora, el adobe es entonces capaz de sostenerse por sí mismo. Es entonces cuando se remueve el molde, completándose su secado al sol en áreas libres disponibles para tal fin conocido como "patios de secado". Después de varios días, para acelerar el secado, los adobes son movidos, apoyándose en una de sus caras laterales. Al cabo de unos pocos días están listos para ser apilados. La cura completa toma unos 30 días. Para ese momento el adobe es ya tan fuerte como el cemento.

El comportamiento del adobe está ligado a las condiciones y constitución del suelo del cual proviene. Un suelo excesivamente arcilloso exigirá la incorporación de una mayor proporción de otros componentes para balancear su mayor capacidad de contracción-expansión que puede conducir a fisuras y deformaciones. La mejor forma práctica de conocer el comportamiento del suelo es realizar inicialmente la construcción de una pequeña muestra de adobes y observar su comportamiento, incorporando luego, de haber necesidad, los correctivos del caso.

2.4.1.1.1. EL ADOBE NO ESTABILIZADO²⁸

Tradicionalmente, el adobe, al no requerir de uso de combustible para su elaboración representa un ahorro sustancial estimado en un 40 % con relación al costo del ladrillo de arcilla que exige la utilización de hornos para su cocción.

Como desventaja económica desde el punto de vista de su construcción comercial se encuentra el uso intensivo de obreros y de labor manual, una de las razones por las que su utilización comercial ha derivado hacia los altos niveles adquisitivos donde se producen hoy en día maravillosas creaciones arquitectónicas con esta tecnología.

A la paja se la considera comúnmente como parte esencial del ladrillo de adobe. Esto no es cierto y los ladrillos de adobe contemporáneos no la usan. Su uso se creyó importante para dar rigidez al adobe, o evitar rajaduras al secarse. Lo cierto es que si la proporción de arcilla y arena es la correcta, no se la necesita. Si el adobe se raja al secarse es porque tiene mucha arcilla". Ya en la construcción, los bloques de adobe se pegan entre sí utilizando mortero de barro.

"Debido a su facilidad, economía e independencia del uso comercial el adobe se convirtió, en todo el mundo, en el material "de los pobres", cuyas familias participaban en la fabricación de la mezcla usando los pies, y volcando la misma dentro de moldes de madera para fabricar los adobes".

Aún cuando tradicionalmente el adobe no se sometía a la acción del fuego, hoy en día existen adobes producidos comercialmente que sí la utilizan. En ese caso los "adobes" así producidos, manteniendo sus dimensiones originales, evidencian cambios con relación a los tradicionales en cuanto a textura, color y resistencia.

También, algunas variantes del adobe contemplan su estabilización (en oposición a su disgregación) al añadirsele dosis de cemento, asfalto y/o materiales

²⁸ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

bituminosos. Pero esto altera la apariencia y la forma de trabajar del material original.

Una **desventaja** del adobe no cocido es su falta de **estabilidad** como materia, dado que su endurecimiento no reviste carácter permanente como sí ocurre en el ladrillo cocido, y ello puede conducir a cambios de acortamiento y ensanchamiento en sus proporciones al variar la proporción de su contenido de agua. También su resistencia varía con la cantidad de agua que aloja: a mayor cantidad de agua contenida menor capacidad de carga.

El adobe no se adhiere permanentemente al metal, madera o piedra en razón de su mayor variabilidad de comportamiento en dilatación-contracción. Sin embargo, en muchas obras se los encuentra juntos pero operando separadamente.



Figura 2-6 Construcción con adobe

El tradicional mortero de barro ha sido sustituido hoy en día, en el caso de bloques de adobe **estabilizados**, por morteros de cal y cemento pero los morteros de cemento, al ser más fuertes que el **adobe no estabilizado** y

presentar diferente comportamiento de expansión/contracción puede contribuir a deteriorar el material de adobe utilizado.

Cuando el adobe se utiliza como muro de carga sus secciones aumentan considerablemente y las construcciones rara vez exceden los dos pisos de altura.

El adobe no es un buen aislante térmico. Tiene la capacidad y absorber calor durante lapsos considerables de tiempo. En los países de cambio brusco de temperaturas entre el día y la noche, establece un promedio de temperaturas extremas que resulta beneficioso para el habitante que aloja.

Utilizando dos o tres operadores en el uso de esta tecnología puede alcanzarse una producción diaria de entre 300 y 500 adobes.

2.4.1.1.2. EL ADOBE SEMI-ESTABILIZADO²⁹

Está clasificado como una forma de ladrillo resistente a la humedad debido a la incorporación a su composición habitual de 3% a 5% de su peso en forma de agente estabilizador o de agente impermeabilizante. Este estabilizador posee gran importancia en la protección del bloque de adobe durante el proceso de curado. La emulsión asfáltica es el principal estabilizador debido a su facilidad de uso y bajo costo pero al añadir en vez de ella un 5 a 10 % de cemento Pórtland produce el mismo resultado.

El agente estabilizador debe ser incorporado a la materia prima del adobe con anterioridad a su vaciado en moldes.

²⁹ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

2.4.1.1.3. EL ADOBE ESTABILIZADO³⁰

Un adobe totalmente estabilizado debe limitar la proporción del agua que asimila al 4 % de su peso, requiriendo para ello la incorporación de una emulsión asfáltica que fluctúa entre el 6 y el 12 % de su peso total. Las paredes exteriores construidas con el adobe así estabilizado (y su mortero) no ameritan de protección adicional y pueden ser dejadas expuestas, sin requerir frisado³¹ alguno. De hecho, la insistencia en recubrir paredes con alguna forma de friso impermeabilizado incrementa sustancialmente el costo de la obra.

Estadísticas realizadas en la industria de construcción en adobe en Nuevo México en 1994 indican que solo un 1 % de la producción de adobe se orientaba al adobe totalmente estabilizado.

2.4.1.2. EL BAHAREQUE, BAJAREQUE O PAJAREQUE³²

La tecnología del bahareque (bajareque o pajareque como se la denomina en otras latitudes) ha sido durante un siglo una de las más populares formas de construcción tradicional de bajo costo en el área del Caribe (existe también su uso en ciertas regiones de España donde su aplicación constructiva resulta en la producción de "barracas").

En principio, el bahareque constituye una tecnología constructiva constituida por un entramado de cañas sobre el cual se ha extendido manualmente una gruesa capa de barro. La vivienda así elaborada se apoya generalmente en el uso complementario de horcones³³ y de techos de palma entretejida para brindar un refugio ambiental y climático a las clases más desposeídas. Esta tecnología utilizada consistentemente a través del tiempo cayó progresivamente en desuso

³⁰ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

³¹ Frisado, Capa de mezcla con cemento

³² <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

³³ Horcones, Madero vertical que en las casas rústicas sirve, a modo de columna, para sostener las vigas o los aleros del tejado.

durante la segunda mitad del siglo XX, desplazada por un número de importantes factores entre los cuales se destacan:

- Las campañas sanitarias orientadas a combatir condiciones de vida insalubres derivadas del deterioro interior de las viviendas que hace que sus paredes puedan convertirse en refugio de roedores y de insectos indeseables. También contribuyen a este cuadro de insalubridad el uso de pisos de tierra no tratada, que no necesariamente tiene que ver con el sistema pero que lo acompañan tradicionalmente.
- Inseguridad de protección de la vivienda contra el robo por vulnerabilidad del techo de palma.
- Riesgo de incendio por la misma razón.
- Inseguridad como refugio ante vientos fuertes, tormentas e inundaciones.
- Y lo que, quizá es el factor decisivo: facilismo de disponer de la solución "laminas de zinc" como forma rápida y fácil de erigir³⁴, muchas veces de procedencia gratuita. Esta antiestética costumbre ha poblado el paisaje de anárquicos despliegues "ferreteros", que han destruido el equilibrio plástico, ambiental, armónico y auténtico que proveían las originales construcciones de bahareque a lo largo de las costas tropicales y de otras regiones de climas más rigurosos.

Como se ve la tecnología del bahareque ha debido cargar con culpas ajenas las cuales no le son directamente atribuibles.

Un último punto adverso a destacar resulta el poco atractivo presentado por una tecnología de labor intensiva para las empresas de construcción profesionales.

Felizmente, en el siglo XXI, el bahareque, como muchas otras tecnologías del barro parece contemplar, a la luz de los avances tecnológicos y sanitarios de la época una revisión y actualización de reducción de sus defectos y de valorización de sus virtudes.

³⁴ Erigir, Edificar, levantar materialmente una construcción.

2.4.1.3. TIERRA COMPRIMIDA, APISONADA O PRENSADA ("RAMMED EARTH"). TAPIA.³⁵

Esta tecnología tradicional, que ha acompañado a la del adobe desde los inicios de la civilización, se distingue de aquella, durante su construcción en el hecho de que su masa es sometida a una presión o prensado que reduce el nivel de humedad en la mezcla así como también la posibilidad de penetración futura de la misma en las paredes de la edificación erigida. Además allí donde el adobe adopta la forma de bloques o "ladrillos" la tierra comprimida se utiliza preferencialmente en la construcción de paños de paredes. La tecnología de tierra comprimida ha sido utilizada en obras tan gigantescas y perdurables como la Gran Muralla China.

En España se conoce y utiliza desde hace siglos la tecnología de tierra apisonada bajo la denominación de **tapia**. Esta variante, que incorpora cal a la mezcla de barro, opera basándose en el uso de moldes modulares de madera denominados "tapiales" que permiten construir paños de paredes con material comprimido (ajustándose previamente al ancho deseado) y que luego se solapan en bordes angulados para lograr su unión definitiva. Tradicionalmente se identifican dos tipos de tapia: la **tapia real** que incorpora cal mezclada con barro y la **tapia común** que opera basada en barro únicamente. La materia prima utilizada en la construcción de tapia y, en general, de todos los sistemas constructivos que hacen uso de tierra, debe ser cuidadosamente cernida a objeto de eliminar impurezas vegetales que, al podrirse, pueden originar cavidades y deformaciones en el interior del producto acabado. Igualmente, deben eliminarse guijarros cuando su tamaño afecte las condiciones de coherencia de la pasta del material a ser producido.

En los últimos años, la actualización de la tecnología de tierra apisonada en lo relativo a sus aspectos ingenieriles y de mecanización, incorporando técnicas y

³⁵ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

maquinaria moderna a su proceso de construcción, ha contribuido poderosamente a su reincorporación competitiva en el mundo de las tecnologías de construcción.

2.4.1.3.1. BLOQUES DE TIERRA APISONADA UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA CINVA-RAM³⁶

Es posible producir bloques de tierra apisonada, en vez de paredes y muros, utilizando la venerable sencilla y práctica tecnología de la máquina CINVA-RAM originada en Chile y Colombia durante la década de los cincuenta.

Esta máquina, portátil, que opera sin requerir alimentación de energía eléctrica alguna y que es accionada por un operador humano se ha expandido por el mundo, llegando a permitir una producción de tipo doméstico dada la sencillez de su fabricación.



Máquina CINVA-RAM Modelo doméstico

Figura 2-7 Máquina CINVA-RAM Modelo doméstico

³⁶ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

Para operar un equipo CINVA-RAM debe primero maniobrase el marco metálico que la rodea de modo que permita abrir el tope de la caja y vaciar dentro de ella la tierra debidamente preparada. Una vez hecho esto, se cierra de nuevo la tapa y se inclina con fuerza la larga barra metálica que posee para producir un efecto de prensado manual sobre el material contenido en la caja.

Una vez que el material ha sido debidamente compactado se manobra nuevamente el marco metálico para liberar la tapa de la caja y permitir la salida del bloque que emergerá parcialmente fuera de la caja. De allí podrá ser fácilmente extraído para su secado y acumulado en pilas.

El uso del equipo CINVA-RAM implica duro esfuerzo físico pero su recompensa consiste en la disponibilidad e independencia de una forma de construcción barata y efectiva de producir bloques de tierra comprimida y un invaluable recurso de apoyo a la autoconstrucción de viviendas de muy bajo costo.

2.5. NUEVAS TECNOLOGIAS Y ACTITUDES EN EL USO DEL BARRO EN LA CONSTRUCCION³⁷

Presentamos seguidamente una muestra de experiencias que se adelantan en la búsqueda de aplicaciones e innovaciones en las tecnologías tradicionales del barro.



³⁷ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k -Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

2.5.1. ADOBE³⁸

Se clasifica en tres grupos y se detalla a continuación:

2.5.1.1. ADOBE CON PÓMEZ PARA CONSTRUIR REFUGIOS EN LAS MONTAÑAS DE COLORADO³⁹

Esta tecnología, experimentada por William Porter y su empresa sin fines de lucro "Sangre de Cristo Solar Adobe Works" utiliza una unidad móvil de construcción para transporte de material de pómez ("escoria") muy liviano, de color rojizo, textura coralina llena de huecos y de aristas que favorecen la adherencia con el barro de bajo costo y no expansiva cuando se humedece. Una vez en el sitio, se le mezcla con el barro en una proporción de cinco partes de escoria de pómez por una parte de barro local y un 4 % en peso de emulsión asfáltica lo que da como resultado un bloque maniobrable y liviano, proveyendo a la vez un buen balance de la relación aislamiento/masa.

2.5.1.2. ADOBE MEZCLADO CON ASTILLAS DE MADERA Y RELLENO DE BARRO LIVIANO⁴⁰

Una de las más recientes innovaciones en el desarrollo de la moderna tecnología alemana de construcción con barro consiste en el uso de astillas de madera que combinados con barro liviano y utilizado como material aislante en paredes externas e internas. Desde su aparición en el mercado de construcción a comienzos de los años noventa, los contratistas de obra han podido ofrecer un relleno de barro, monolítico, natural y saludable. El aligeramiento del material utilizado es comparable al de los sistemas de barro y paja pero de mucho más corto tiempo de producción, más fácil de construir y menor tiempo de secado y

³⁸ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

³⁹ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

⁴⁰ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

curado. Adicionalmente resulta más eficiente y hace menor énfasis en la participación del recurso humano.

La proporción de mezclado es de 3-4 baldes de astillas por cada balde de barro liviano dependiendo de la relación fuerza/peso requerida, la calidad del barro y el tamaño de las astillas utilizadas. Esta combinación se amalgama en la mezcladora durante un minuto hasta constatar que todas las astillas han sido recubiertas con una capa de barro y, al terminar, queda ya lista para ser vaciada en las formaletas que constituyen el molde de la pared. Luego se vacía la mezcla elaborada verificando la no existencia de espacios vacíos.

Es factible utilizar una variedad de recursos como trama sustentante del barro de la pared, entre ellos el uso de varas de bambú. Otros tipos de tramas de madera más o menos formales según el caso pueden ser utilizadas. La existencia de la trama sustentante contribuye a rigidizar y fortificar la constitución de la pared, reduciendo a la vez las posibilidades de contracción. Una vez seca la superficie de la pared puede aplicarse sobre ella un friso de yeso sin mayor dificultad.

Una pared de 30 cms. de espesor puede requerir unas ocho semanas de tiempo de secado.

2.5.1.3. ADOBE DE "ALTA TECNOLOGÍA"⁴¹

"Si bien la combinación correcta de barro y arcilla permanece inalterada, en este tipo de adobe se le agrega un nuevo componente: **asfalto emulsionado**. Esta emulsión es un subproducto del petróleo que es comúnmente usado en la construcción de caminos.

Cuando se lo mezcla con agua, barro y arcilla, dependiendo de la proporción, se obtiene un ladrillo de adobe resistente al agua (semi-estabilizado) o totalmente impermeabilizado (completamente estabilizado).

⁴¹ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

La incorporación del asfalto emulsionado no es aceptada por todos, ya que la pared exterior de adobe va a ser cubierta con un revoque (plaster).

Cuando la pared da a un patio o jardín interior su uso es justificado. Los "puristas" no se encuentran cómodos con la idea de agregar un producto del petróleo a algo que, de por sí, ofrece una belleza natural al edificio. La posible **gasificación** del asfalto es otro motivo de preocupación.

Todos los materiales usados en una construcción liberan gases que resultan ser nocivos y, algunos de ellos, carcinogénicos. No tenemos conocimiento de que se haya investigado el tema de la gasificación de la emulsión de asfalto con algún detalle, sobre todo sus posibles efectos a largo plazo".

2.5.2. INDUSTRIALIZACIÓN DEL BAHAREQUE⁴²

"Un hombre por sí solo no puede construir su propia casa pero diez hombres trabajando en grupo pueden fácilmente construir diez casas". - Hassan FATHI.

Inspirados por esta filosofía, la empresa franco-canadiense "Polypus", con base en el Canadá, ha proyectado al mundo la tecnología sistematizada del **bahareque** (que el sistema ofrecido denomina "bajareque") iniciándose con aplicaciones en países latinoamericanos y árabes.

Una fuente más de sorpresas en este creciente proceso de globalización que viven las sociedades del planeta.

⁴² <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela



Sistema Bajareque. Empresa Polypus de Quebec, Canada

Figura 2-8 Sistema bahareque

El producto de la experiencia de Polypus, al evidenciar el comportamiento superior de tradicionales estructuras de cañas y barro, soportando incólumes devastadores terremotos en la región centroamericana, consiste en un sistema de construcción de viviendas tipo "cesta" flexible y adaptable a condiciones exteriores, conformada por una estructura que utiliza una trama sustentante de madera tratada contra insectos y humedad, a modo de trama, sobre la cual se extiende una masa laterítica de barro.

Esta sencilla estructura puede ser transportada en cajas a las más remotas regiones geográficas para su conformación en sitio. Así, que una caja de 1.20 x 1.20 x 3.60 m y de unos 320 kg. de peso puede alojar los componentes para construir una casita con un área de 40 mts².

2.5.3. BARRO VACIADO ("CAST EARTH") Y YESO CALCINADO⁴³

La tecnología de **barro vaciado** no requiere la colocación de ladrillos de adobe ni de bloques de tierra apisonada ni la lenta compactación de muros típicos de la tecnología del barro. En contraste, consiste en vaciar rápidamente una

⁴³ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

construcción de una vez por todas, pudiéndose remover las formaletas utilizadas a corto tiempo del vaciado. Lo que hace posible lo antedicho es la rapidez del fraguado del yeso calcinado y el incremento de su fuerza hasta alcanzar una fuerza, aún húmedo, suficiente para soportar una pared en su sitio definitivo. Y lo más sorprendente de todo es la muy baja concentración de material requerido para aglutinar el barro que lo acompaña. Una proporción de 15 % o menos de yeso calcinado aportará suficiente resistencia para cumplir el proceso anteriormente descrito. Y no ameritará de refuerzos metálicos.

Tradicionalmente, la tecnología de la construcción con barro refleja una imagen de uso intensivo de mano de obra que la hace atractiva sólo a los muy pobres (que la utilizan sin intermediarios) o a los muy ricos (que pueden pagar por ella).

En contraste, la tecnología de barro vaciado, combinado con una proporción de yeso calcinado reduce al mínimo la ardua y lenta labor de mano de obra de antaño sustituyéndola por unas pocas horas de uso de maquinaria de construcción. Y los diseños innovativos no pierden su vigencia dado que el "armado" del material se realiza en su estado plástico.

Los costos de construcción con la tecnología de barro vaciado resultan significativamente menores que aquellas correspondientes al adobe y a la tierra apisonada y hasta pueden llegar a serlo, dependiendo de las circunstancias, con respecto al "nuevo" bahareque (sistematizado).

La tecnología de barro vaciado es competitiva en un amplio espectro que va desde las viviendas de producción masiva hasta la de altos costos adquisitivos.

Pese a su natural resistencia a la humedad, siempre resulta aconsejable recubrir la superficie exterior de paredes con una capa de silicona una vez que la pared construida se encuentre totalmente seca. Este "spray" sin alterar su apariencia ofrece habitualmente una protección que se extiende hasta por cinco años.

2.6. NUEVAS INTERPRETACIONES DE UNA TECNOLOGÍA TRADICIONAL⁴⁴

Presenciamos en la actualidad el inicio de un cambio en hábitos y actitudes acerca de lo que tradicionalmente había sido la cultura del barro en la construcción. Hoy día, sin dejar de lado los enfoques del uso del barro aplicados a tecnologías de uso popular y de bajo costo, presenciamos cómo la tecnología constructiva y sus recursos han abierto caminos en el aprovechamiento del otrora humilde y despreciado adobe que estimulan la creatividad y la sensibilidad por las formas arquitectónicas de barro en el arquitecto actual. La tecnología del barro parece haber entrado, lo decíamos anteriormente, en una nueva fase de refrescado y revisión no sólo de su manejo y tecnología constructiva sino también en su capacidad para expresar la forma arquitectónica y en su valorización colectiva como elemento de prestigio dentro de la vida urbana en la que ha comenzado a participar con renovados bríos.



Viviendas de alto costo en adobe.



Figura 2-9 Viviendas de alto costo en adobe

⁴⁴ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

2.7. AVANCES DE LA MECANIZACIÓN⁴⁵

De un estudio-inventario de tecnologías utilizadas en la producción de 288 millones de ladrillos de adobe realizado en Nuevo México, USA en 1994 se detectó que sólo el 1 % se abocaba al empleo de la tecnología manual tradicional mientras que el 99 % restante se dividía por partes iguales entre métodos de producción mecánicos y semi-mecánicos. Por otra parte el volumen de producción de ladrillos de adobe estabilizados era muy bajo y solo a solicitud mientras que la producción de bloques de barro prensado de tipo CINVA-RAM era también muy baja equivalente solo a 118.000 bloques.

Cifras de producción comparativas

Construcción tradicional (manual de) adobes: 300-500 adobes / día

Construcción semi-mecanizada de adobes: 1.500-3.000 adobes / día

Construcción mecanizada de adobes: 3.000+ adobes / día

⁴⁵ <http://www1999.arqa.com/columnas/barro.htm> - 63k –Arq. Gonzalo Vélez Jahn/Arquitectura de Barro/Caracas,Venezuela

CAPITULO 3

3 DISEÑO

3.1. EL DISEÑO DE LAS VIVIENDAS DE TIERRA⁴⁶

Los problemas relacionados con la corrección de las debilidades del adobe parecen haber sido resueltos con el uso de aditivos y con la selección y preparación adecuada de la tierra que servirá para construir los adobes. También la experiencia tradicional sobre como proteger las paredes de adobe de la lluvia con enlucidos, aleros grandes o por medio de corredores es de sobra conocida.

También la practica para construir los cimientos ha probado su eficacia secular (defender las paredes de la humedad con soleras de piedra y mortero mas altas que el nivel del suelo). El uso de vigas en forma de soleras coronando el perímetro superior de las paredes que conforman la vivienda también está ya incorporado al saber tradicional. El problema más importante pendiente de solución es garantizar la resistencia de las construcciones de tierra a los terremotos. Se podría agregar el interés por encontrar soluciones adecuadas para adelgazar las paredes, que si demasiado anchas roban espacio a la superficie útil de las viviendas.

Debe tenerse en cuenta que la solución para resistir terremotos no puede consistir en garantizar que la vivienda no se desplomará ante un sismo. Ningún edificio puede ser garantizado que pueda resistir los efectos de cualquier sismo, no importa el material ni la técnica como haya sido construido. Se debe ser más específico.

Se desea que las edificaciones no colapsen ante las embestidas de sismos de cualquier intensidad o de una aceleración dada. Esto no querrá decir que no puedan sufrir daños menores. Lo que importa es salvar vidas por tanto al momento del diseño conviene cuidar:

1. Que los esfuerzos a los que pudiera estar sometida la edificación no sobrepasen las fatigas de trabajo de los materiales usados en la construcción.

⁴⁶ <http://www.ecosur.org/content/view/47/41>

2. Que el diseño sea razonablemente calculado para resistir aquellos temblores de ocurrencia más común en la localidad. (según experiencias estadísticas sobre los sismos locales).
3. Que los materiales incorporados a la estructura no se deterioren por la intemperie, por hongos, termitas, etc, o por el tiempo.

Los cálculos para el diseño deben ser más exigentes para aquellos edificios de uso público, como hospitales, escuelas etc, que en caso de emergencia resulten indispensables para servir de refugio temporal o para atender las probables víctimas de un desastre. Los tanques para reserva y distribución del agua entran en esta categoría.

Para el caso de las construcciones habitacionales de adobe, deben existir normas que tengan en cuenta las características del material. El hecho que éste no sea elástico hace que una vez alcanzados los límites de su resistencia, el material cede, se raja, pero la pared debe ser lo suficiente estable por sí misma (por gravedad) para que no colapse por el bamboleo ni por el peso del techo.

Las construcciones de adobe para uso rural no deben perder la sencillez de su construcción. Una vivienda rural con refuerzos elaborados estaría fuera de la comprensión de las personas que la construyen, esto es muy importante.

Su descuido, u olvido, se presta a la imperfección y aumenta la inseguridad de la construcción. Exige supervisiones que resultan excesivas, cuando no es imposible de llevar a cabo. A lo menos hará falta fundar escuelas para maestros de obra rurales.

La cuestión del **techo** sobre paredes de adobe merece especial atención. Un techo muy pesado eleva el centro de gravedad del conjunto, lo cual debilita la estabilidad de la pared y exige de ella un mayor refuerzo. La estructura del techo, el conjunto de soleras sobre las paredes, (las paredes internas) que actúan a manera de contrafuertes, junto con los cimientos deben formar un todo que trabaje con unidad ante los esfuerzos provocados por los sismos.

El techo no debe estar solamente sobrepuesto a la pared, sus juntas deben formar una rígida unidad estructural con ella. Además los paneles del techo deben unirse con piezas en diagonal para formar una estructura horizontal que le de rigidez a todo el envigado que se apoya en la pared y ayude a resistir, junto con la solera superior, aquellos movimientos horizontales provocados por los sismos.

En el caso que el diseño se base en la masividad de las **paredes** para resistir esfuerzos horizontales debe preverse que no ocurran esfuerzos en la base de la pared superiores a la resistencia del adobe tanto a la compresión como a la tensión; esta última es nula.

El esfuerzo horizontal sobre la pared es efecto de la componente horizontal de la aceleración que motiva el sismo. Para los cálculos se puede tomar un valor igual al 10 o 12% de la aceleración de la gravedad. (lo usual en el cálculo de edificios de concreto). Ese esfuerzo debe ser resistido por la pared como si se tratase de un muro de contención, cuyas dimensiones se calculan de manera que en la base del muro no haya esfuerzos de tensión.

El **cimiento** debe ser capaz de distribuir las fuerzas en la base del muro cuidando que el suelo no sea obligado a resistir presiones superiores a su capacidad de soporte.

Llenadas estas condiciones la pared puede empezar a vibrar con el sismo, no teniendo elasticidad la pared, se puede rajar al alcanzar fatigas superiores a su cohesión como masa, pero no tendería a colapsar que es lo que verdaderamente interesa en el diseño.

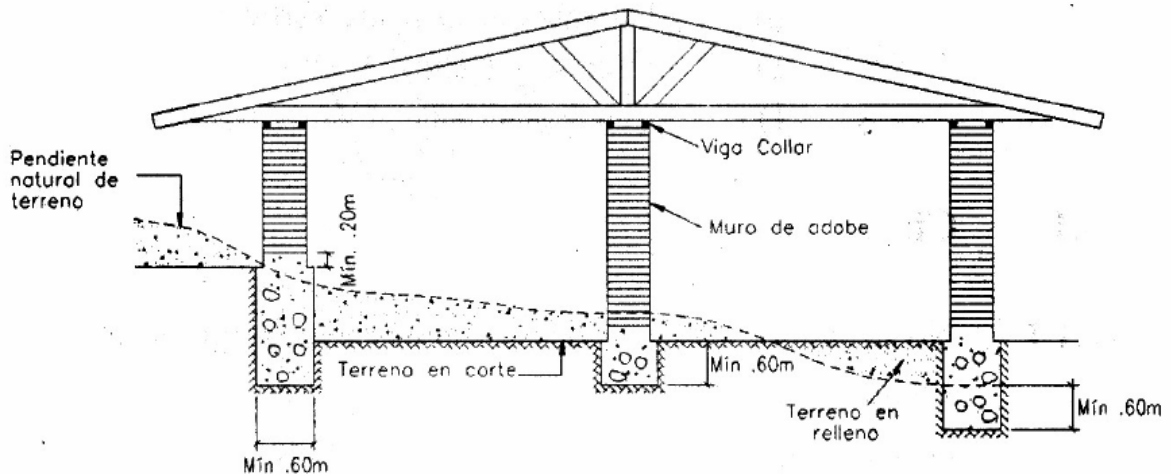


Figura 3.1.

En el caso de las **paredes de adobe reforzado** la pared tiene una menor capacidad para soportar el peso del techo, y no puede considerarse que la componente horizontal del temblor pueda ser resistida solo por la pared, debe ser el refuerzo añadido el que absorba dichas fatigas. Mientras más esbelta la pared menos capacidad de soporte tendrá la tierra usada como relleno.

El **entramado del refuerzo, tanto vertical como horizontal** debe suponerse capaz de resistir por si solo dichos empujes; probablemente deban calcularse considerando las fundaciones(cimentaciones) y la solera superior como un marco que resista el pandeo que provocarían los esfuerzos debidos a la inercia de la pared al ser solicitada horizontalmente por el sismo.

Las uniones del refuerzo vertical con las soleras aparentemente soportarían dichas fuerzas a base de esfuerzo cortante, sobretodo porque cuando se coloca el refuerzo vertical en el centro del muro (dado que en la fibra neutra no hay esfuerzos), debe imaginarse que dicho refuerzo se comporta como se comportarían las cuerdas de un arpa sometidas en su conjunto a una presión horizontal.

La **solera** es la estructura que debe soportar todos los esfuerzos (horizontales y verticales) y debe ser reforzada con el techo.



Figura 3.2. Paredes

Así el techo, con sus **vigas reforzadas horizontalmente** se vuelve factor crítico en el diseño, pero su rigidez solo distribuye los esfuerzos horizontales por toda la edificación. Su falla (o su falta de rigidez) sí puede causar un colapso. En casos como este los esfuerzos horizontales son resistidos por las paredes interiores normales al esfuerzo provocado por el temblor, actuando como contrafuertes. La solidez de este conjunto dependerá de la fortaleza de las juntas, como esquinas, juntas de techo y solera, etc.

Llevado a su límite la pared de tierra se adelgaza y pierde capacidad soportante, pierde masividad y pierde estabilidad; el refuerzo se convierte en estructura y ya se convierten en casas de bahareque. En la actualidad la industrialización conduce hacia el prefabricado liviano y hacia la producción en serie, al uso de nuevos materiales como perlita, concreto liviano, etc., que podría ser la tendencia hacia el futuro de las construcciones urbanas.

Las casas de adobe bien diseñadas y bien construidas pueden ser, por su simplicidad, por su duración y por su costo, la base para resolver el problema de la vivienda popular en el tercer mundo, sobretodo la vivienda rural. Obsérvese que aldeas y caseríos no crecen con el tiempo puesto que la demanda de mano de

obra rural es prácticamente una constante ya que es función de las superficies de cultivo, que son constantes, (considerando también constantes los métodos de cultivo, que de hecho tienden a disminuir la demanda de mano de obra con la mecanización agrícola) por tanto la población rural es constante y la demanda de vivienda rural es entonces una cantidad fija, (de crecimiento cero) que una vez satisfecha dejaría de ser problema. Los excedentes de población rural siempre emigran hacia las ciudades.

Es importante mencionar la necesidad de investigar el comportamiento de las construcciones de tierra en caso de sismos, de elaborar normas y de difundirlas entre quienes se dedican a la construcción rural y de ampliar los campos de investigación hacia nuevos usos de la tierra estabilizada y difundir los resultados.

La tierra como material de construcción puede llegar a facilitar la construcción de terrazas para cultivo en laderas, ventaja de valor inapreciable pues las terrazas facilitan la infiltración de la lluvia realimentando las capas freáticas, que adicionalmente ayuda a regular el régimen de los ríos y fuentes de agua durante los largos periodos que dura la estación seca.

3.2. FORMA DE LA PLANTA⁴⁷

Para obtener estabilidad de la vivienda la forma de la planta es muy importante. Mediante un experimento que se llevó a cabo en la Universidad de Kassel se pudo comprobar que; en general:

- a) Mientras más compacta la planta, más estable será la vivienda. Una planta cuadrada es mejor que una rectangular y una circular es la forma más óptima, ver Fig. 3-3.

⁴⁷ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 9 y 10

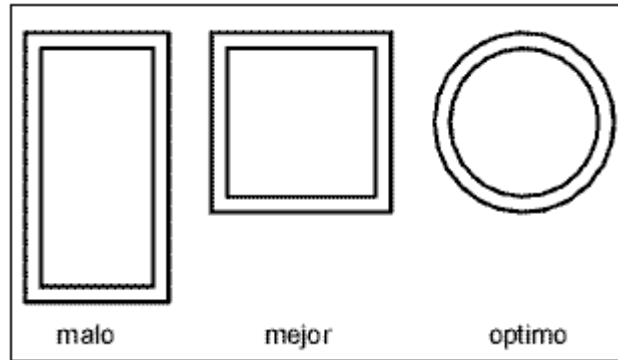


Figura 3.3. Plantas

- b) 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. 3-4.

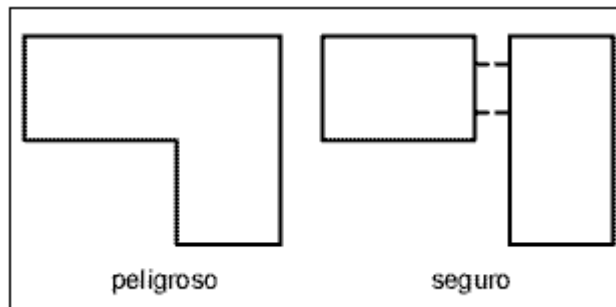


Figura 3.4. Plantas con ángulos

RESPUESTA:

Un método simple para simular el impacto de un sismo se demostró en una tesis de doctorado en la Universidad de Kassel donde un peso de 40 kg, sobre un péndulo de 5,5 m de longitud se dejó oscilar y golpear modelos de viviendas antisísmicas, ver Fig. 3-5. Se hicieron estudios comparativos con una planta cuadrada y una circular mostrando mayor estabilidad de esta última.



Figura 3.5. Simulacro de un impacto sísmico

Luego de dos golpes el modelo con la planta cuadrada mostró grietas en las esquinas, ver Fig. 3-6.



Luego de tres golpes el muro quedó parcialmente dañado, ver Fig. 3-7.



Después de cuatro golpes dos de los muros colapsaron, ver Fig. 3-8.



El modelo con la planta circular presentó las primeras grietas recién luego de tres golpes, ver Fig. 3-9.



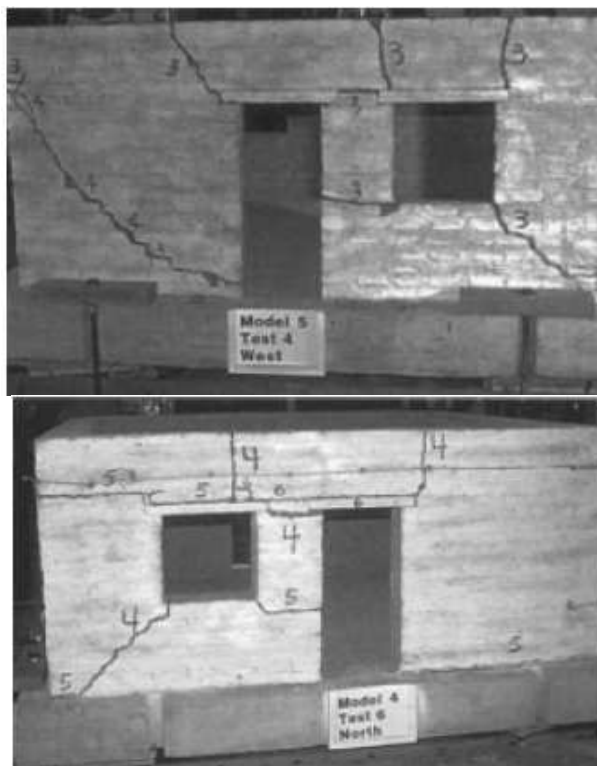
Luego de seis golpes una parte del muro se desplazó, ver Fig. 3-10. Incluso hasta después de siete golpes el modelo no colapsó.



Figuras 3-6 a 3-10 Ensayos sísmicos para modelos con plantas cuadradas y circulares.

3.3. DAÑOS TÍPICOS PROVOCADOS POR MOVIMIENTOS SÍSMICOS Y ERRORES DE DISEÑO⁴⁸

Las figuras 3-11 a 3-13, muestran grietas típicas en modelos a escala 1:5 provocadas por un movimiento sísmico simulado (Tolles et al. 2000)



⁴⁸ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/ Pág. 11 y 12



Figura 3-11 a 3-13. Grietas típicas producidas por impactos sísmicos simulados en modelos
(Tolles et al. 2000)

En ellos se pudo observar que:

- En los vanos de las ventanas a partir de las esquinas inferiores aparecen grietas diagonales hacia abajo. Si el área de muro entre los vanos de la ventana y la puerta es muy angosta, esta se debilita y tiende a derrumbarse.
- Si los dinteles no penetran suficientemente en la mampostería, estos colapsan como se puede ver en la Fig. 3-13.
- Si no hay una traba entre los dinteles y la mampostería sobre los mismos, aparecen grietas horizontales. Si no se ejecuta un encadenado (collarín) y si este no tiene traba con la sección superior del muro esta se quiebra, pudiendo derrumbarse, ver Fig. 3-13.

La Fig. 3-14 muestra una vivienda diseñada con el propósito de ser antisísmica en la que las esquinas se reforzaron con contrafuertes.

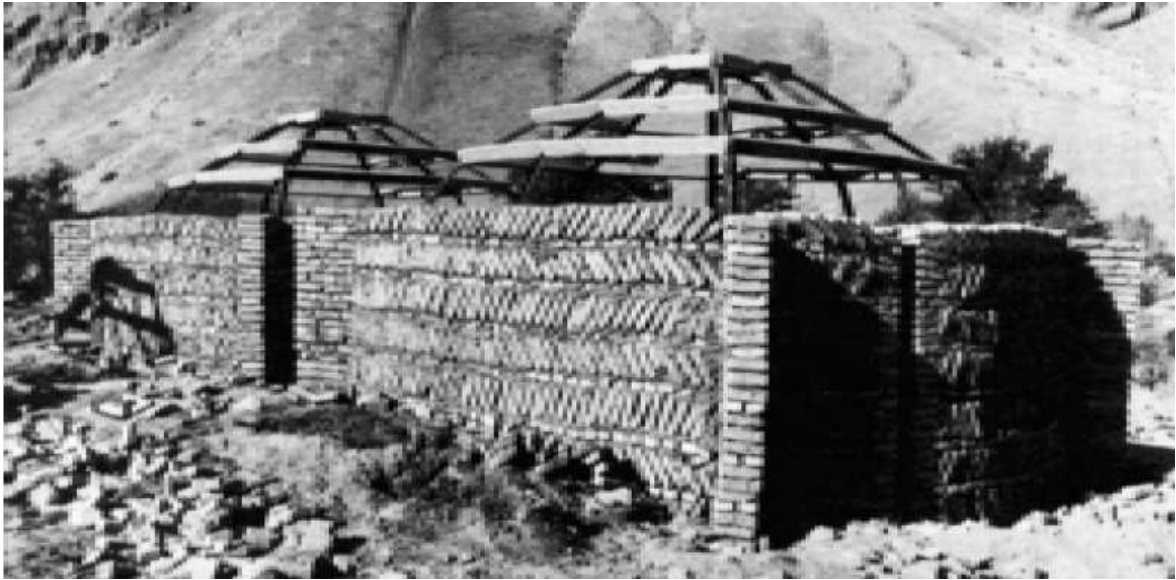


Figura 3-14. Viviendas antisísmicas

La prueba de simulación de un sismo, demostró que esta construcción sin encadenado no era estable aunque la construcción de la cubierta era muy liviana y estructuralmente aislada ver figuras. 3-15 y 3-16 (Sibtain 1982).



Figura 3-15 y 3-16. Modelos de la vivienda de la figura 3-14 después de impactos sísmicos simulados.

ERRORES ESTRUCTURALES QUE PROVOCAN RIESGOS DE DERRUMBE DURANTE UN SISMO⁴⁹

La Fig. 3-17 muestra 10 errores en una vivienda rectangular de adobe, que pueden provocar un derrumbe durante un sismo.

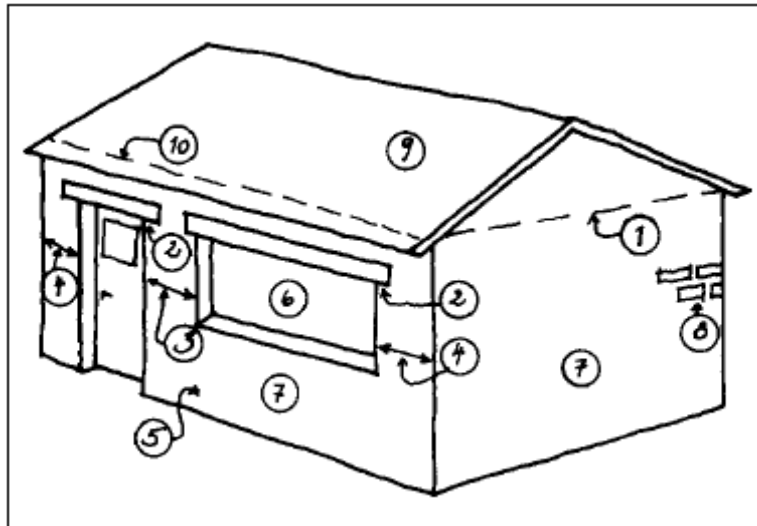


Figura 3-17 Errores estructurales que provocan riesgos de derrumbe durante un sismo.

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 arriostramiento débil con el muro.

⁴⁹ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 12

3.4. MUROS DE ADOBE

3.4.1. GENERALIDADES⁵⁰

Los bloques de barro producidos a mano rellenando barro en moldes y secados al aire libre se denominan adobes. Cuando la tierra húmeda se compacta en una prensa manual o mecánica se denominan bloques de suelo. Los ladrillos producidos mediante un extrusor en una ladrillera, sin cocer se denominan ladrillos crudos. Los bloques más grandes compactados en un molde se denominan bloques compactados o adobones.

La elaboración de los adobes se realiza ya sea rellenando los moldes con un barro de consistencia pastosa o lanzando un barro menos pastoso en el molde. Hay muchos tamaños y formas de adobes en el mundo, la Fig. 3-18 muestra diferentes moldes, que usualmente son de madera.

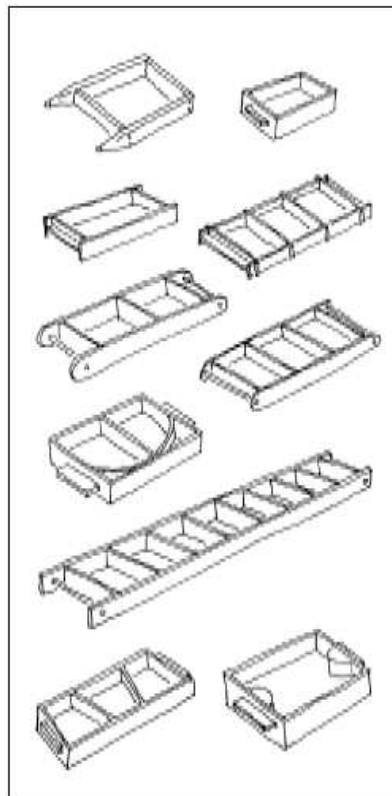


Figura 3-18 Moldes para adobes.

⁵⁰ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 22 y 23

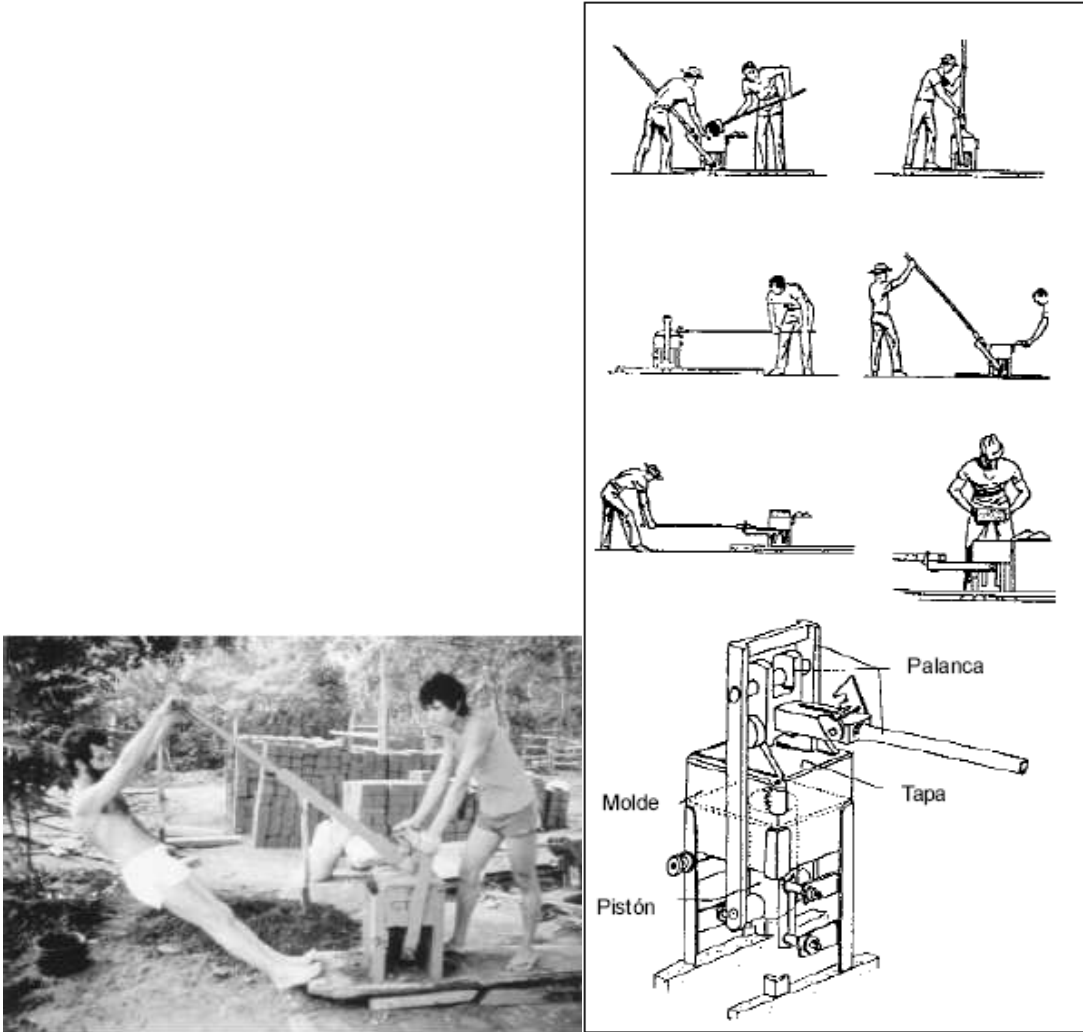
En Latinoamérica las medidas mas comunes son 38 x 38 x 8 cm o 40 x 20 x 10 cm. La Fig. 3-19 muestra un proceso de elaboración de adobes en Ecuador.



Figura 3-19 Proceso de elaboración de adobes en Ecuador.

Existen también prensas manuales para elaborar bloques de tierra, la más conocida es la CINVA-RAM, ver Fig. 3-20.

Existen varias variantes de esta prensa por ejemplo la CETA-RAM, ver Fig. 3-21. desarrollada en la Universidad Católica de Asunción del Paraguay y permite elaborar tres unidades a la vez.



Figuras 3-20 y 3-21

Mientras que una persona produce por día 300 adobes a manos, con este tipo de prensa una persona solo llega a producir aproximadamente 150 unidades.

Estos bloques tienen la ventaja de tener medidas constantes y superficies lisas. La desventaja es que la resistencia a compresión y flexión es menor y por ello es usualmente necesaria la estabilización con cemento entre 4 a 8%.

Para la ejecución de la mampostería deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las capas horizontales del mortero no deben tener un espesor mayor a 2 cm.
- Las uniones verticales deben rellenarse completamente con mortero.

- La calidad del mortero debe ser alta con un contenido de arcilla alto para obtener una buena adherencia y una alta resistencia a la flexión.
- Los adobes deben mojarse antes de su colocación.

3.4.2. REFUERZOS INTERNOS⁵¹

El Instituto Nacional de Normalización de la Vivienda en Perú (ININVI), desarrolló un sistema de refuerzo interno para muros en el que hay dos tipos de adobes, unos tienen ranuras de 5 cm de diámetro en los extremos y otros son mitades de adobes con una sola ranura para obtener la traba. Por estas ranuras atraviesan varillas de caña, ver Fig. 3-22.

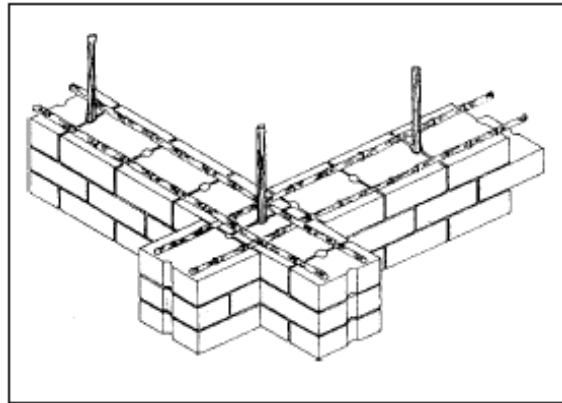


Figura 3-22 Sistema ININVI, Perú

En este sistema se refuerzan los muros mediante contrafuertes integrados, intermedios y en las esquinas, ver Fig. 3-23.

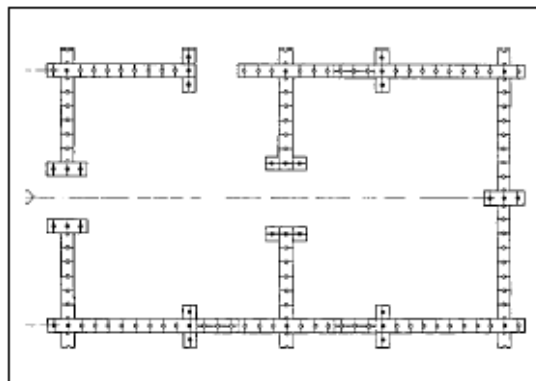


Figura 3-23 Planta del sistema ININVI

⁵¹ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/ Pág. 24 y 25

La Fig. 3-24 muestra una vivienda revocada, construida con este sistema. En esta figura se pueden ver las vigas horizontales de las cerchas (Dicho de una viga o de otra madera que sustenta algún peso) de la cubierta, conectadas con los contrafuertes, logrando así una buena ligazón entre la cubierta y los muros.



Figura 3-24 Centro de educación Acomayo, Perú.

La Figs. 3-23 y 3-24 muestran los aspectos más importantes para el diseño de una vivienda con este sistema. Si los muros tienen una longitud 12 veces mayor al espesor, se recomienda ejecutar un contrafuerte (machón) intermedio. En la intersección se requiere también un contrafuerte.

Las cañas horizontales que se pueden ver en la Fig. 3-22 ubicadas sobre los adobes, usualmente son desventajosas, debido a que debilitan la resistencia del muro a un impacto sísmico en vez de reforzarlo.

La falla surge por la débil ligazón entre las capas de adobe en las que se encuentran las cañas, debido a que la capa del mortero no es suficientemente gruesa para proveer una buena unión. Para obtenerla es necesaria una capa de mortero de 2 cm sobre y debajo de la caña, que da como resultado una junta de 6 a 8 cm.

En este sistema los adobes deben ser rugosos, para que la adherencia de estos al mortero sea suficiente. Si no se cumplen estos requerimientos los elementos horizontales debilitan la estructura.

La Fig. 3-25 muestra una planta usada en El Salvador (Equipo Maiz 2001).

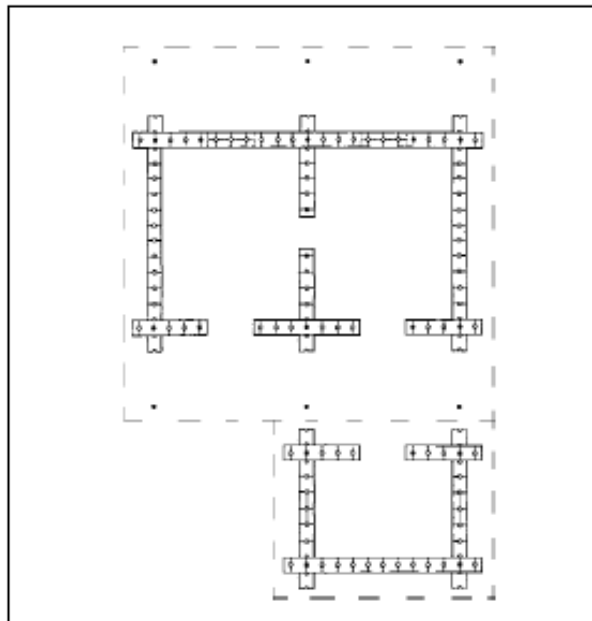


Figura 3-25 Planta del sistema ININVI

Si el diseño no provee contrafuertes en las esquinas, se requiere reforzar las mismas por ejemplo con hormigón armado, como se puede ver en la Fig. 3-26. En la propuesta de arriba se requiere hacer una traba cada 50 cm entre las varillas de acero verticales y la mampostería de adobes, que consiste en varillas de acero horizontales dobladas y enganchadas a la mampostería.

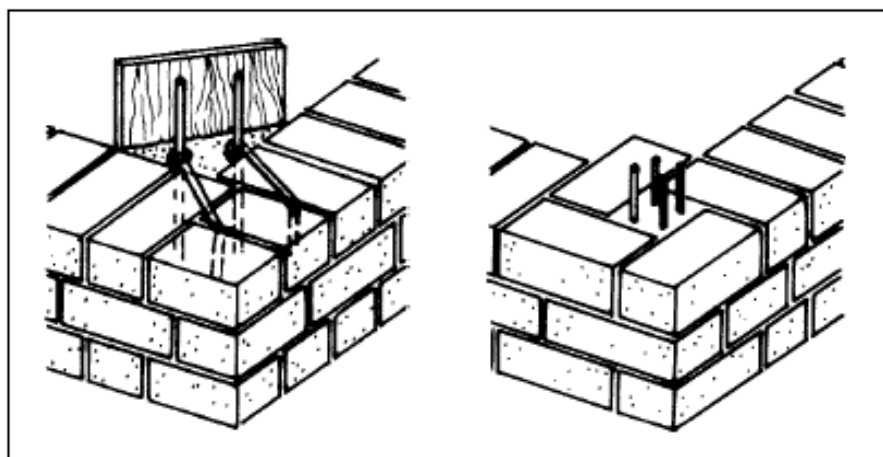


Figura 3-26 Esquinas reforzadas con hormigón armado.

3.5. UNIONES CRÍTICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.5.1. UNIONES ENTRE CIMIENTOS, SOBRECIMENTOS Y MUROS⁵²

Respecto a la altura (h) del cimiento se puede decir que está conformado por dos partes inseparables una de ellas denominada sección de carga (h_1) que es la parte del cimiento que recibe las cargas de la construcción y las distribuye en un área mayor, estará dimensionada en función de V (es la distancia entre el sobrecimiento y el cimiento) y deberá cumplir con la relación $h/V=2$; y la sección de soporte (h_2) cuya función es la de recibir las cargas y transmitir las al suelo. Su altura no será menor a 0.20 m.

Es decir la altura mínima del cimiento será de 0.40 m. Puede ser más alto si la resistencia del suelo no es suficiente o si el suelo tiende a endurecerse hasta una profundidad mayor.

El espesor usualmente es 20 cm mayor que el del sobrecimiento, ver Fig. 3-27.

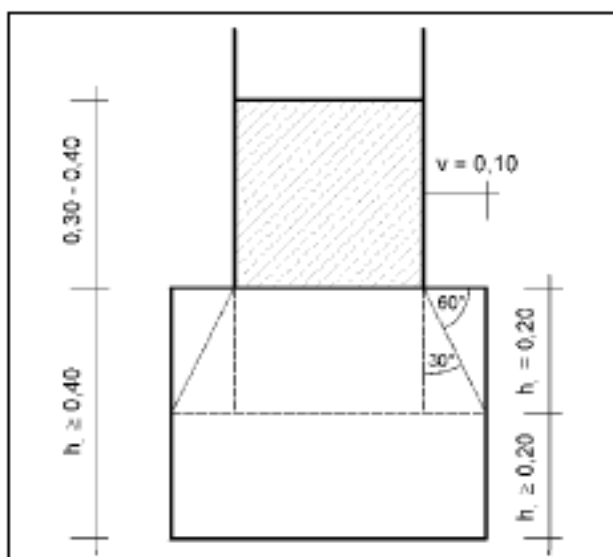


Figura 3-27 Cimentación para muros perimetrales.

En un muro de tapial de 50 cm de espesor, el cimiento y el sobrecimiento pueden tener el mismo espesor que el muro.

⁵² Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/ Pág. 34 y 35

Los sobrecimientos son usualmente ejecutados con ladrillos o piedras pero deberán ejecutarse preferentemente con hormigón ciclópeo u hormigón armado. Su altura no deberá ser menor a 0.30 m.

Las uniones entre el cimiento y el sobrecimiento, así como entre el sobrecimiento y el muro deben tener una buena traba para hacerlas resistentes a los impactos horizontales del sismo, es decir para evitar que se quiebren.

Las superficies de los cimientos y sobrecimientos no deben ser lisas sino más bien deben tener elementos de traba (piedras, cañas o elementos de madera) que logren una mejor unión, estos elementos deben situarse cada 30 a 50 cm, ver Fig. 3-28.

En el caso en el que una protección sobre el sobrecimiento contra la humedad ascendente (cartón asfáltico o plástico) sea necesaria, ésta debilita la unión por ello los elementos verticales de traba son muy importantes.

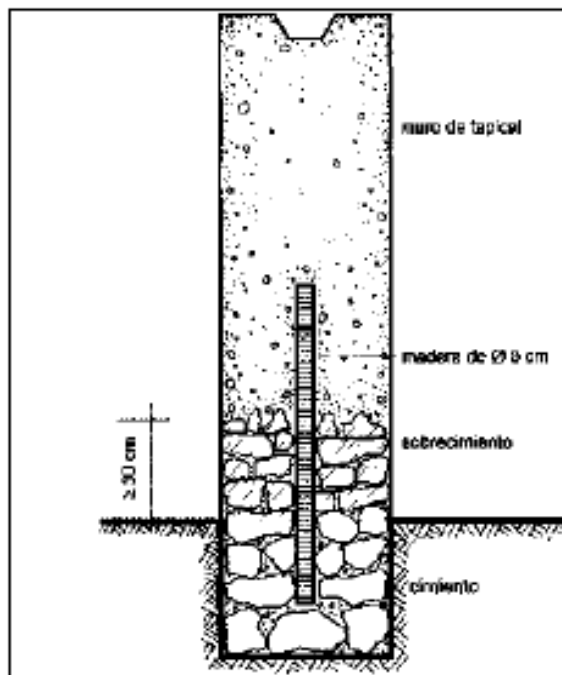


Figura 3-28 Disposición del elemento de madera que actúa como traba.

En la Fig. 3-28 se puede ver la disposición del elemento de madera que actúa como traba.

En muros de adobe, es necesario utilizar un mortero con una buena capacidad aglutinante para la unión entre el sobrecimiento y la primera hilada de adobes. El mortero a utilizarse para las juntas entre las hiladas debe tener la misma calidad.

Una propuesta del autor todavía no experimentada para reducir el impacto del sismo, es diseñar un cimiento flotante, es decir una fundación desplazable como se puede ver en la Fig. 3-29.

En este caso la base del cimiento debe tener un espesor mayor en forma redondeada que descansa en un canal relleno con canto rodado de 4 a 16 mm de diámetro.

Los impactos del sismo son parcialmente absorbidos por este canal, debido a que el canto rodado puede desplazarse.

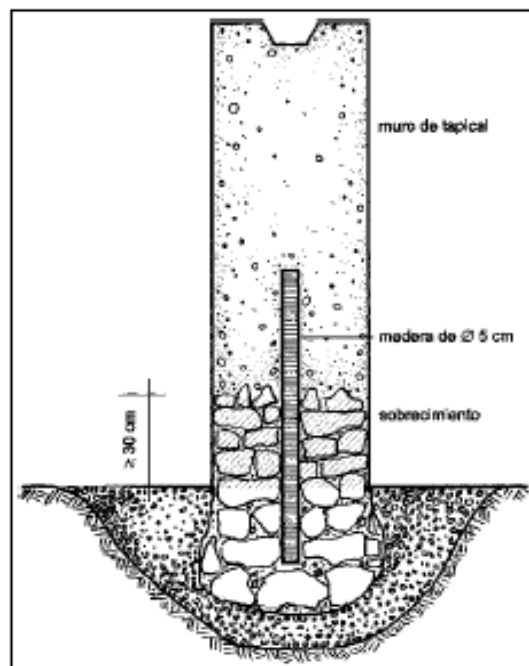


Figura 3-29 Fundación desplazable

3.5.2. ENCADENADOS DE MUROS⁵³

Los muros deben estar coronados con encadenados (viga cadena, collarín), que transmitan las fuerzas de flexión que ocurren por los impactos perpendiculares al muro.

Estos pueden actuar también como soporte de la estructura de la cubierta. Es importante un buen arriostramiento entre el encadenado y el muro de tierra.

En muros de tapial, durante el apisonado se pueden colocar dentro del mismo, piezas de madera sostenidas por alambres de púas que posteriormente se fijarán con el encadenado, ver Fig. 3-30.

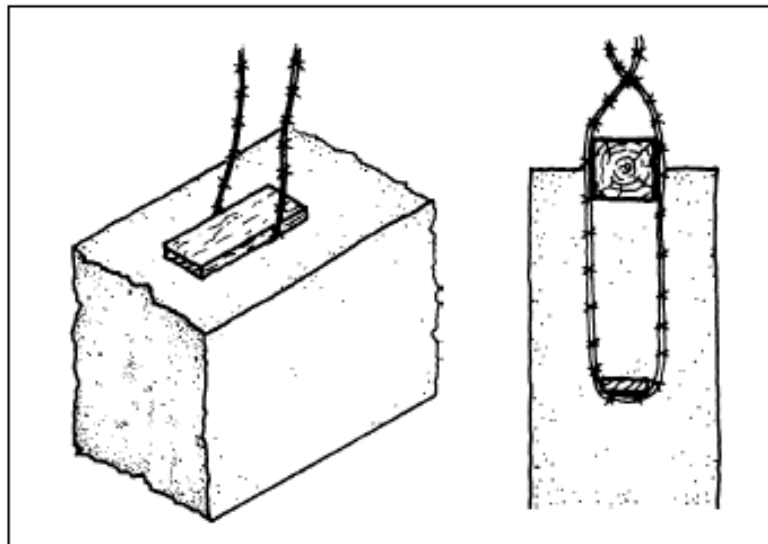


Figura 3-30 Anclaje del encadenado con el muro de tapial.

Una mejor solución es mediante elementos de madera o de bambú colocados dentro del muro, anclados en el sobrecimiento y fijados al encadenado, como se puede ver en la Fig. 3-31.

⁵³ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 35 y 36

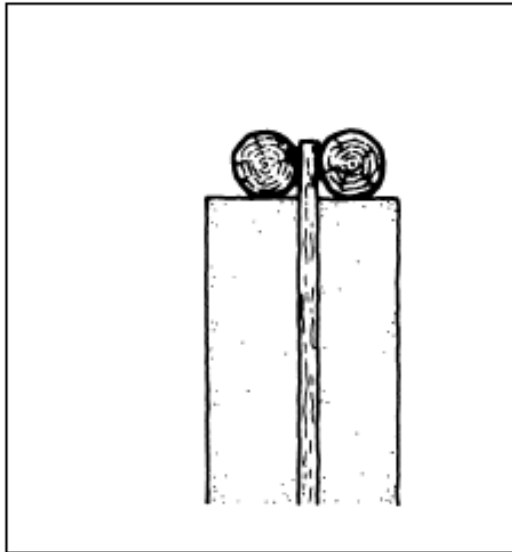


Figura 3-31 Anclaje del encadenado con los elementos de refuerzo del muro.

En muros de adobes, no es sencillo obtener un arriostramiento suficiente entre el encadenado y la mampostería de adobe.

Cuando se ejecuta un encadenado de hormigón armado, en la última hilada de adobes las juntas verticales deben dejarse libres para ser rellenadas con la mezcla de hormigón obteniendo así una buena traba.

Cuando se emplean elementos de madera, éstos deben ser cubiertos por mortero de cemento con capas de un espesor mínimo de 2 cm, ver Fig. 3-32.

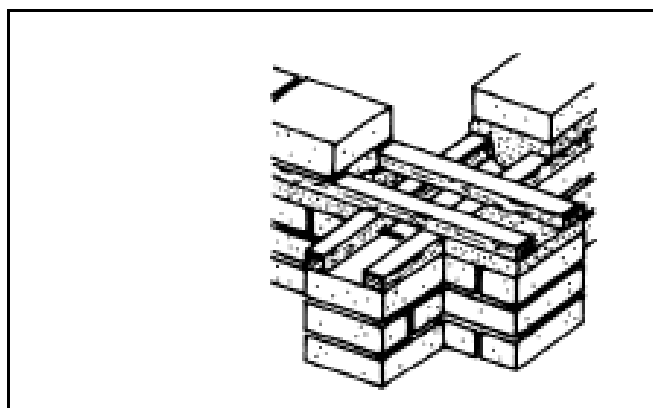
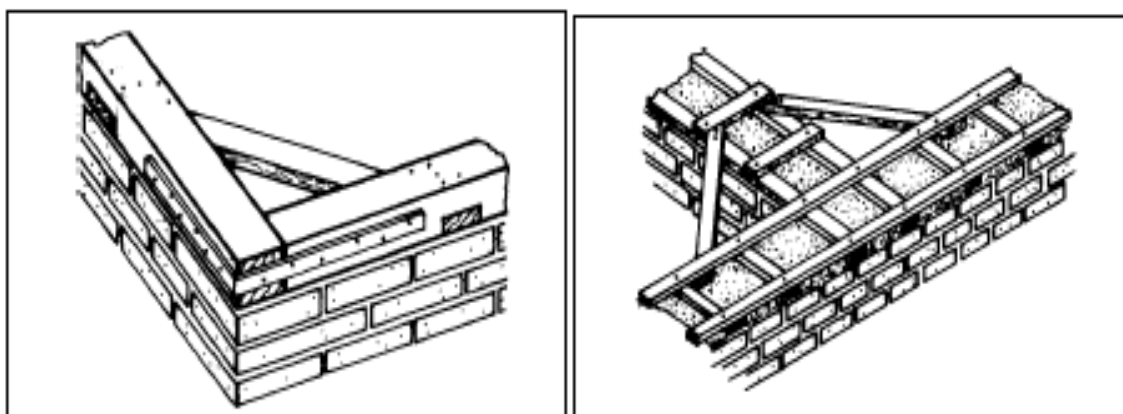


Figura 3-32.

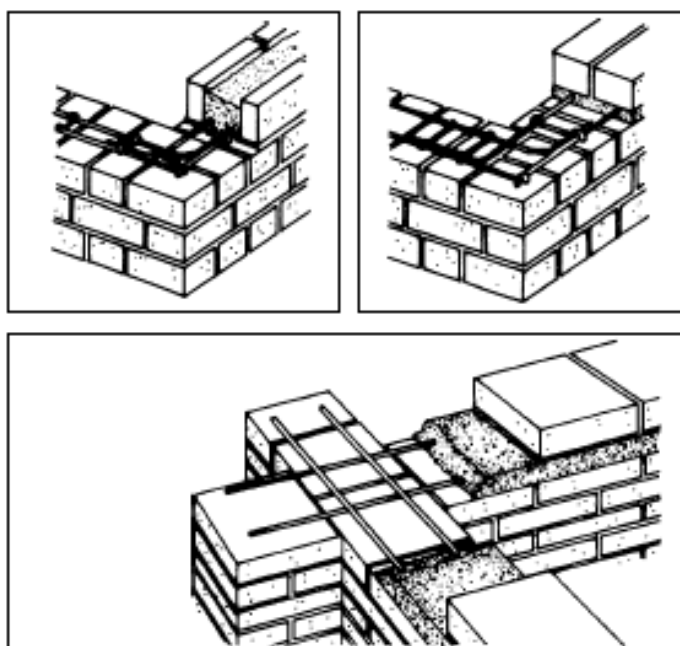
Debido a que bajo la influencia sísmica se crean momentos en las esquinas de los encadenados estas deben ser rígidas. Las Figuras 3-33 a 3-34, muestran

diferentes soluciones para reforzar las esquinas de los encadenados de madera sobre muros de adobe.



Figuras 3-33 y 3-34.

Las figuras 3-35 a 3-37 muestran diferentes soluciones para reforzar las esquinas de los encadenados de hormigón armado sobre muros de adobe.



Figuras 3-35 a 3-37.

La Fig. 3-38 muestra una solución para encadenados de madera sobre muros de tapial.

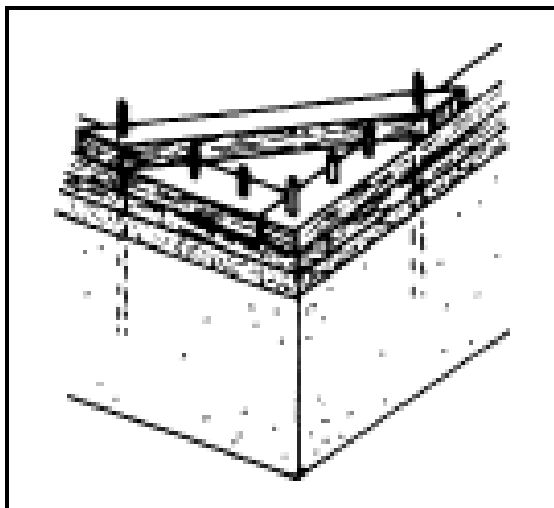


Figura 3-38 Soluciones para reforzar las esquinas de los encadenados.

3.5.3. ENCADENADOS QUE ACTÚAN COMO VIGAS SOLERAS⁵⁴

Si los encadenados actúan también como vigas soleras de la cubierta, estos deben descansar sobre el eje del muro, ver Fig. 3-39.

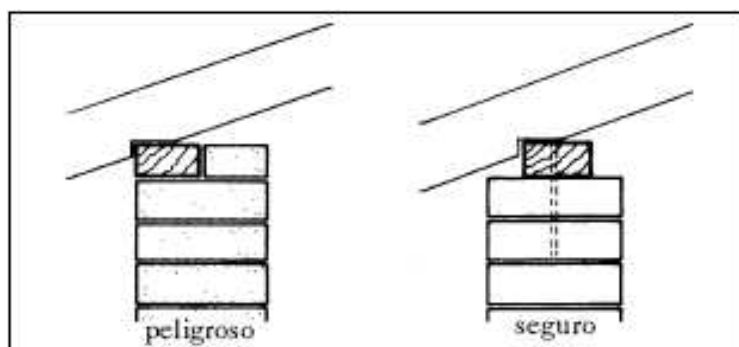


Figura 3-39 Emplazamiento del encadenado sobre el muro.

Si la solera es angosta, es necesario ejecutar la última hilada del muro con ladrillo cocido para distribuir uniformemente la carga de la misma en la sección del muro.

Si la solera descansa directamente sobre los adobes se corre el riesgo que durante el movimiento sísmico, la última hilada tienda a quebrarse debido a su poca resistencia a la flexión, ver Fig. 3-40.

⁵⁴ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 36

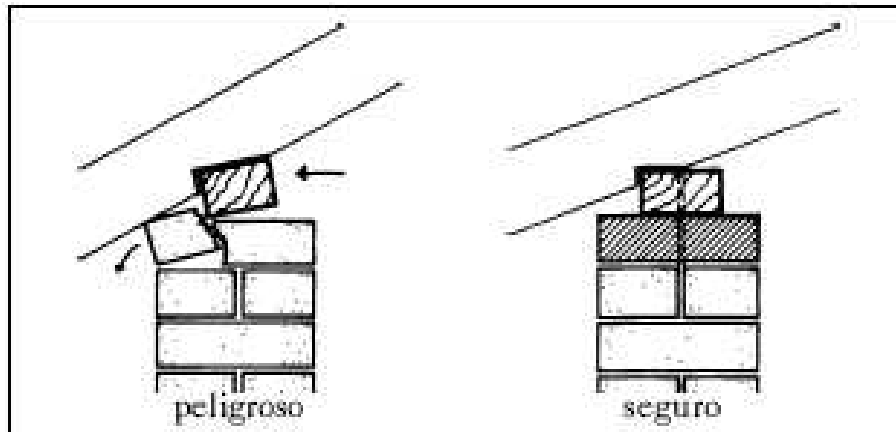


Figura 3-40 Distribución de las cargas a través de una hilada de ladrillos cocidos sobre un muro de adobe.

Es necesario que los tijerales de la cubierta, repartan su carga uniformemente sobre el encadenado. Por ello, se deben ejecutar entre estos elementos, cuñas de madera o de hormigón (Fig. 3-41).

La Fig. 3-41 izquierda muestra una solución con dos troncos de madera como encadenado, que descansan sobre una mezcla de mortero de cemento, a la derecha se puede ver una solución para un encadenado de hormigón. El arriostramiento entre el encadenado y el tijeral, debe ser rígido.

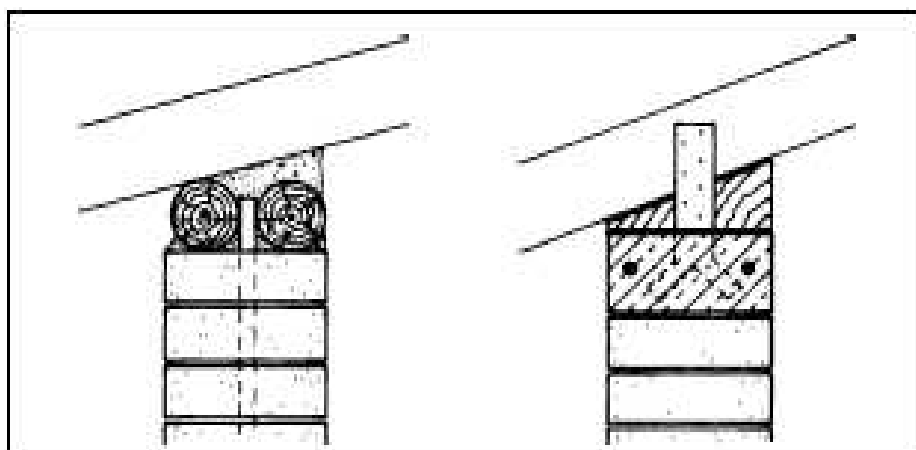


Figura 3-41 Soluciones para uniones entre encadenados y tijerales.

3.6. TÍMPANOS⁵⁵

Si se construyen los tímpanos como prolongaciones de los muros, estos tienden a colapsar durante un sismo a causa de los impactos horizontales perpendiculares a su eje.

La solución óptima es construir una cubierta a cuatro aguas evitando los tímpanos.

Si estos fuesen necesarios, se recomienda construirlos como tabiques aislados del sistema de muros, fijados a la estructura de la cubierta como se puede ver en la Fig. 3-42.

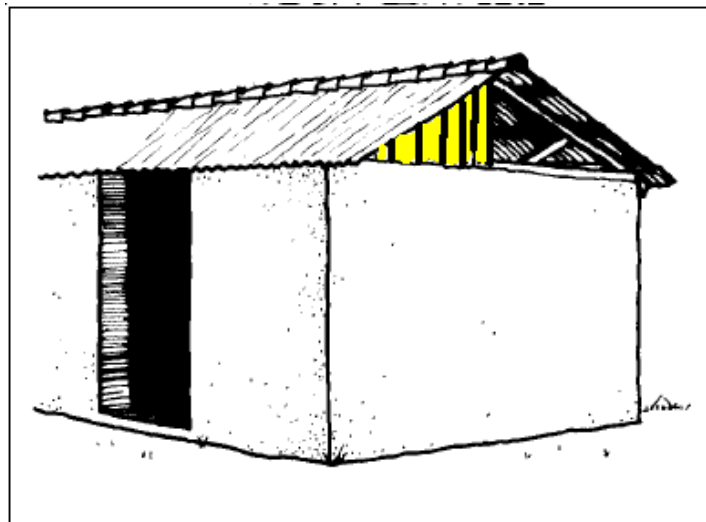


Figura 3-42 Tímpano fijado en la estructura de la cubierta.

Cuando un tímpano debe ser construido con adobes o tapial, debe ser estabilizado con contrafuertes, ver Fig. 3-43, o mediante una estructura de hormigón armado, esta solución resulta muy costosa y por lo tanto no es recomendable, ver Fig. 3-44.

⁵⁵ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 37

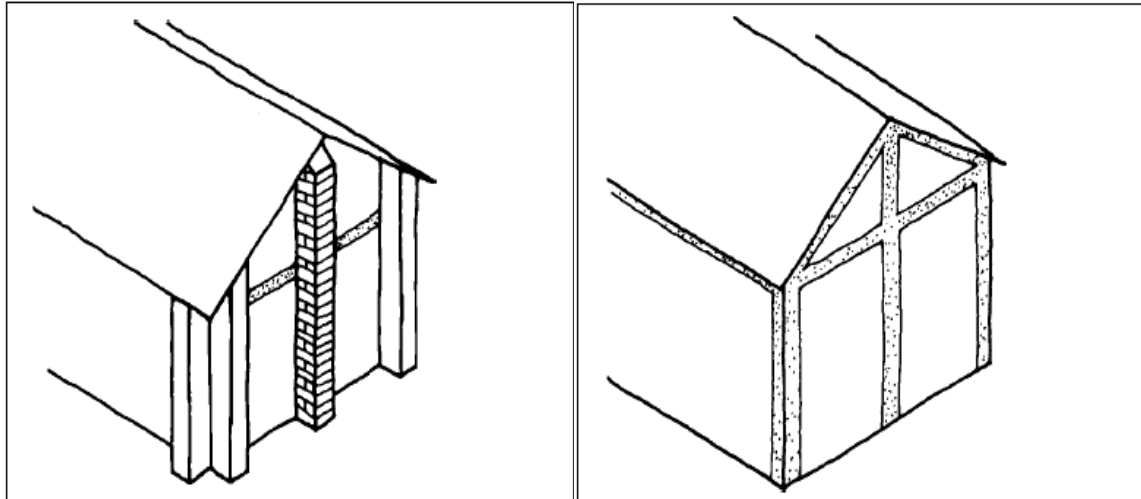


Figura 3-43 Tímpano estabilizado con contrafuertes Figura 3-44 Tímpano estabilizado con estructura de hormigón armado.

3.7. CUBIERTAS

3.7.1. GENERALIDADES⁵⁶

La cubierta debe ejecutarse tan liviana como sea posible.

Las cubiertas con tejas o ripias de piedra (tabla delgada, desigual y sin pulir que se usa para las cubiertas) no son recomendables debido a su peso y al riesgo que estas caigan dentro de la vivienda.

Para el diseño de viviendas antisísmicas se recomiendan cubiertas a cuatro aguas. En el proyecto de las figuras 3-45 y 3-46 se muestra una solución de cubierta a cuatro aguas simple y económica, que descansa sobre una planta cuadrada.

⁵⁶ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 38



Figuras 3-45 y 3-46 Vivienda antisísmica de bajo costo, Pujilí, Ecuador.

Las cubiertas a dos aguas son construcciones sencillas, pero requieren tímpanos que no son recomendables debido a que pueden colapsar si no están bien diseñados.

Para espacios de menos luz, las cubiertas a un agua son más económicas pero en este caso las vigas sobre las que descansan los tijerales requieren estar unidas formando un encadenado inclinado.

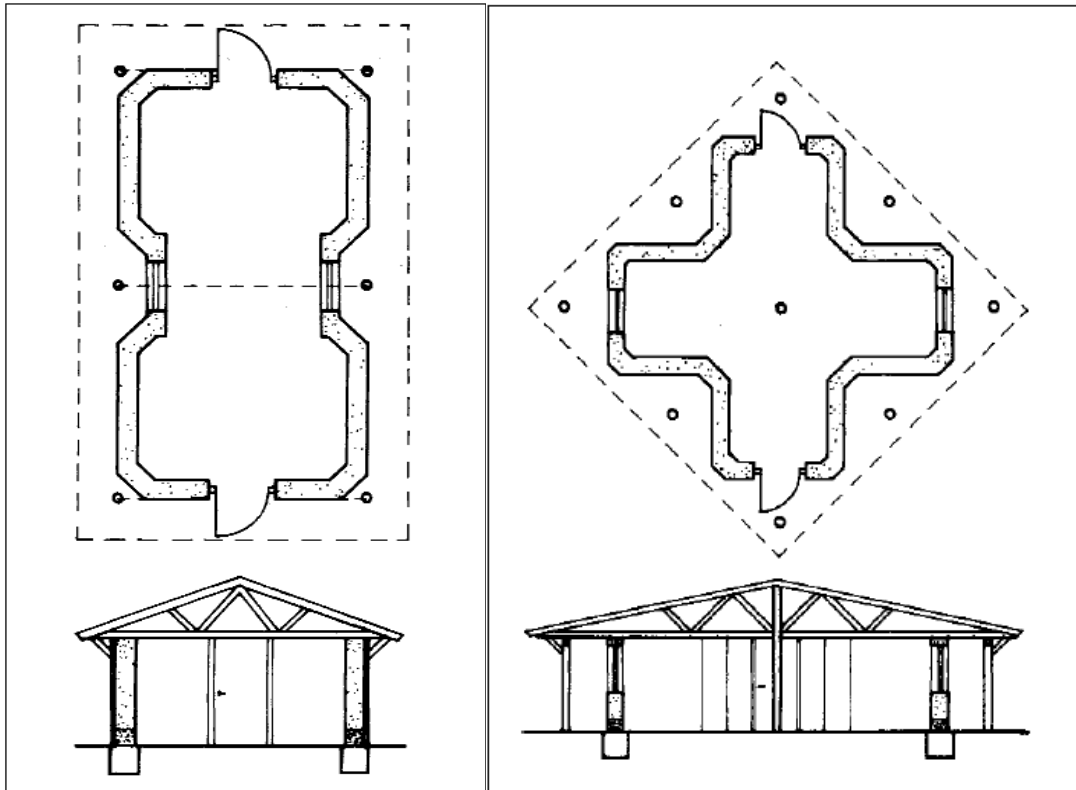
3.7.2. CUBIERTAS AISLADAS DE LA ESTRUCTURA DE LOS MUROS⁵⁷

Debido a que en el sismo la cubierta tiene una frecuencia de movimiento diferente a la de los muros, es recomendable que esta descansa sobre columnas exentas de la estructura del muro.

Las columnas deben estar separadas del muro para poder tener un movimiento independiente.

⁵⁷ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/ Pág. 38, 39 y 40

Las figuras 3-47 y 3-48 muestran propuestas del autor para viviendas diseñadas con este sistema estructural.

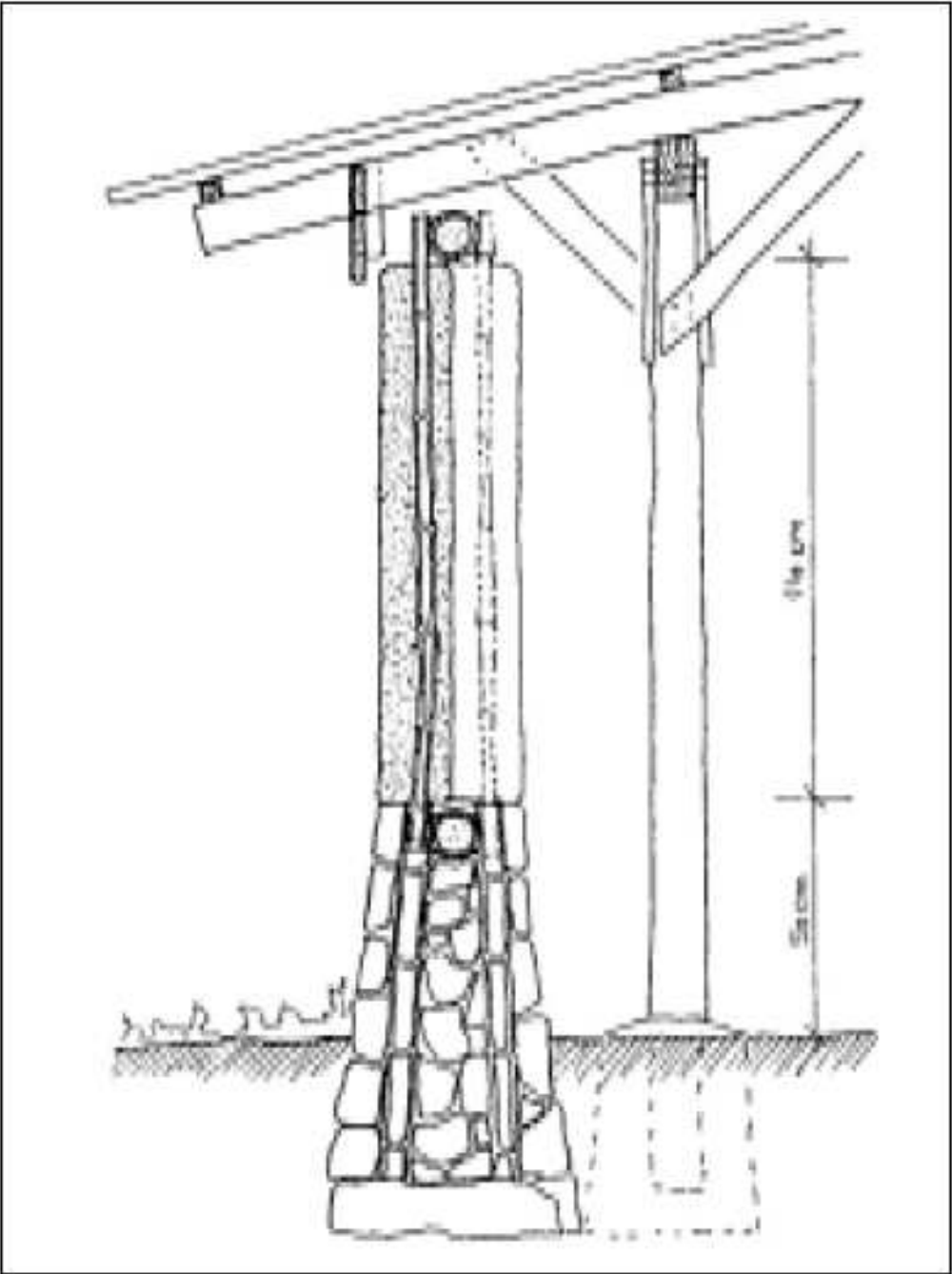


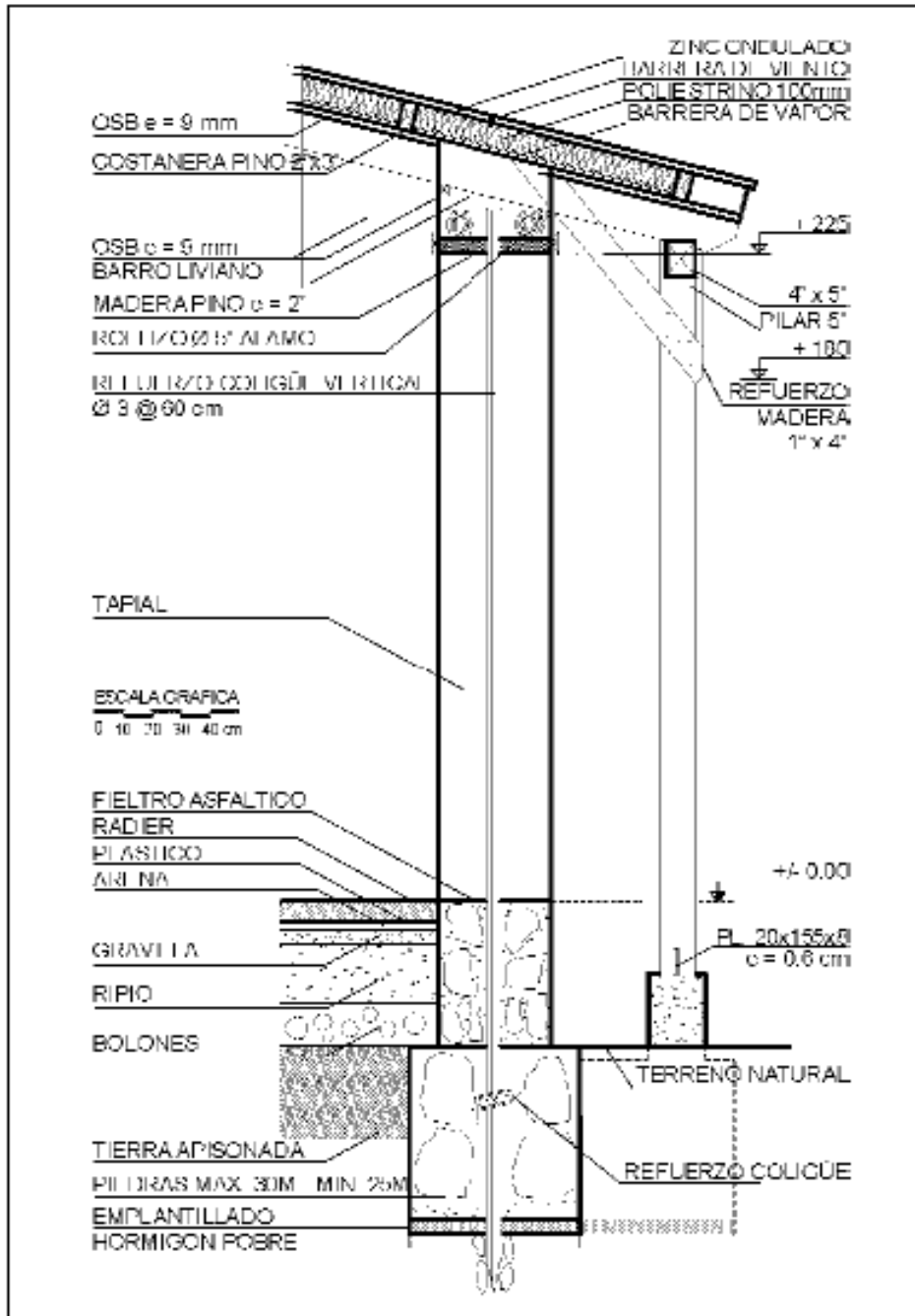
Figuras 3-47 y 3-48 Propuestas para viviendas con cubiertas aisladas.

Es necesario que las columnas estén empotradas en los cimientos y ancladas a la cubierta mediante riostras.

Estas uniones deben ser semirígidas de tal manera que posean una ductilidad suficiente.

Las figuras 3-49 y 3-50 muestran secciones verticales de viviendas que fueron descritas anteriormente.





Figuras 3-49 y 3-50 Sección de una vivienda antisísmica de tapial reforzado, y Figura 3-48 Sección de una vivienda antisísmica de tapial reforzado en Alhué, (Chile) 2001.

En el primer caso las columnas sobre las que descansa la cubierta están emplazadas dentro del espacio y en el segundo caso se encuentra fuera.

En las Figs. 3-51, 3-52 y 3-53 muestran la construcción de una vivienda de bajo costo que fue construida en 1989 en Pujilí, Ecuador (diseño: Gernot Minke y FUNHABIT Quito).



Figura 3-51

En esta vivienda:

- El sistema de muros está compuesto por dos elementos en forma de U separados por una puerta y una ventana.
- Los elementos tienen un espesor de 40 cm, son de tapial con una mezcla de tierra arcillosa y piedra pómez para mejorar el aislamiento térmico. La cubierta de cuatro aguas descansa sobre una viga, apoyada sobre cuatro columnas exentas que arriostran la cubierta.
- La unión entre las vigas y las columnas es solo semirígida permitiendo la ductilidad necesaria durante el sismo.
- La cubierta fue construida con troncos de eucalipto cubiertos con caña brava, el recubrimiento consiste en una mezcla de tierra arcillosa, pómez, estiércol, fibra de sisal, y aceite usado de motor, que después del secado fue pintado con una pintura blanca.



Figura 3-52



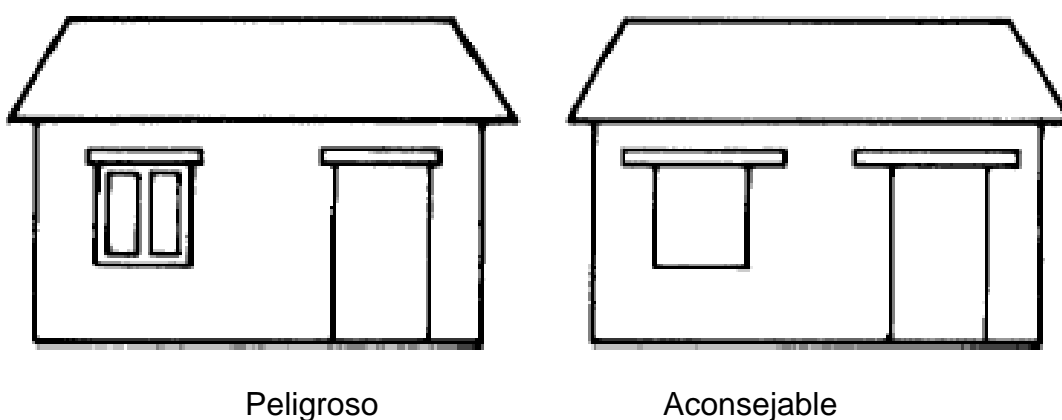
Figura 3-53

3.8. VANOS PARA PUERTAS Y VENTANAS⁵⁸

Los vanos para puertas y ventanas debilitan la estabilidad de los muros. Durante el sismo se crean grietas diagonales desde las esquinas y sobre los dinteles grietas horizontales, ver figuras 3-11 a 3-13.

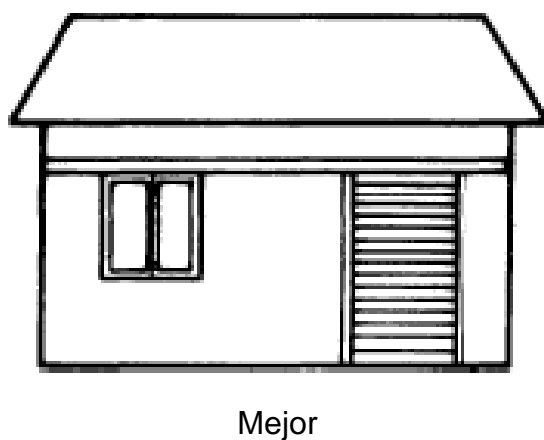
Los dinteles requieren estar empotrados por lo menos 40 cm en la mampostería de adobes, para obtener una buena traba, ver Fig. 3-54.

Figura 3-54



Una mejor solución es ejecutar los dinteles de vanos contiguos a un mismo nivel, uniéndolos en un solo elemento, ver Fig. 3-55. Pero en este caso la parte superior del dintel es débil.

Figura 3-55

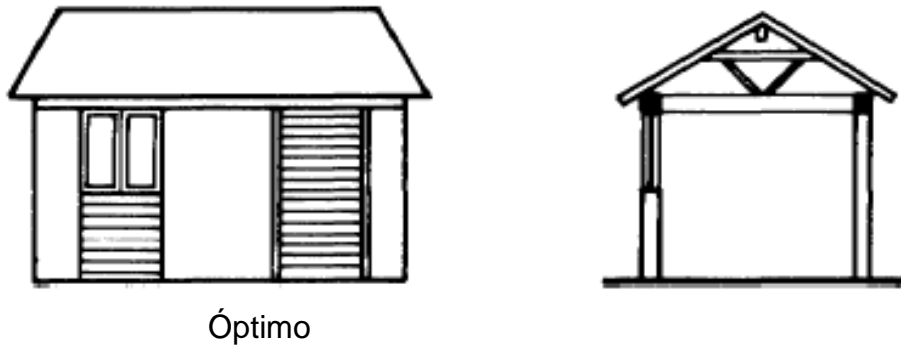


Mejor

⁵⁸ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 41

Esta solución puede ser mejorada si el dintel a su vez actúa como encadenado y si el antepecho debajo de la ventana no se ejecuta con mampostería sino con un elemento flexible de planchas de madera o bahareque. De esta manera la ventana tiene la misma función que la puerta al separar los elementos del muro, ver Fig. 3-56.

Figura 3-56



La solución óptima para muros de adobe consiste en reforzar los bordes de los vanos mediante columnas verticales ancladas en la mampostería de adobes, ver Fig. 3-57.

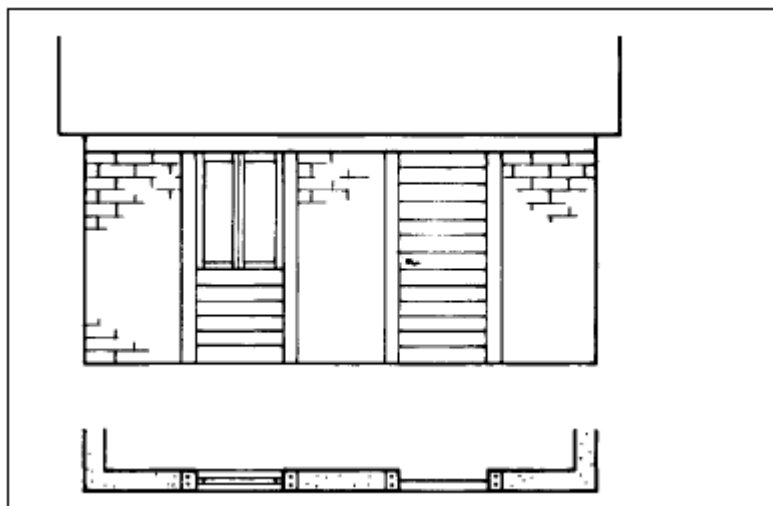


Figura 3-57 Solución óptima para vanos

Las siguientes reglas deben tenerse en cuenta para la ejecución de vanos, ver figuras 3-58 y 3-59:

- a) Los vanos para ventanas no deben tener una longitud mayor a 1.20 m, ni más de $\frac{1}{3}$ de la longitud de la fachada.

- b) La longitud del muro entre los vanos y entre estos y el borde de los muros debe ser de mínimo $1/3$ de la altura del muro, pero no menor a 1 m.
- c) Las puertas deben abrirse hacia afuera. Al lado opuesto de la puerta se recomienda ejecutar otra o una ventana que pueda utilizarse como salida de emergencia. ver Fig. 3-59.

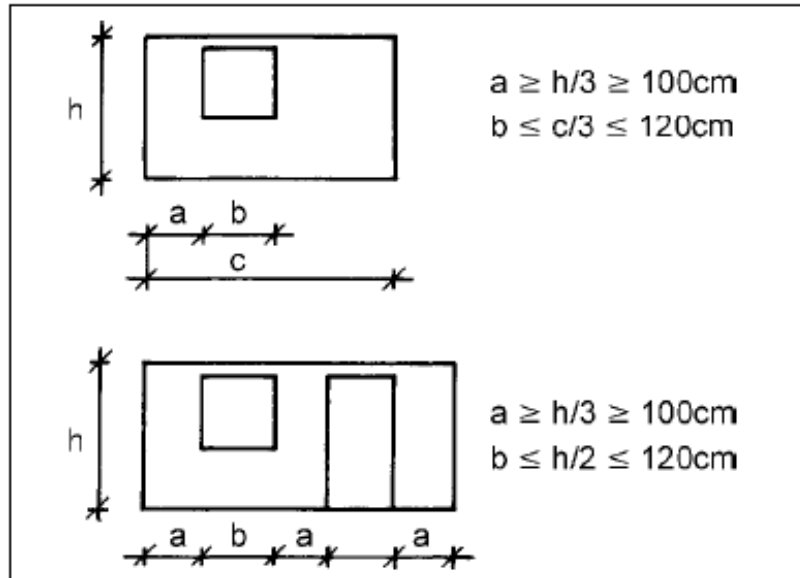


Figura 3-58 Dimensionamiento de vanos

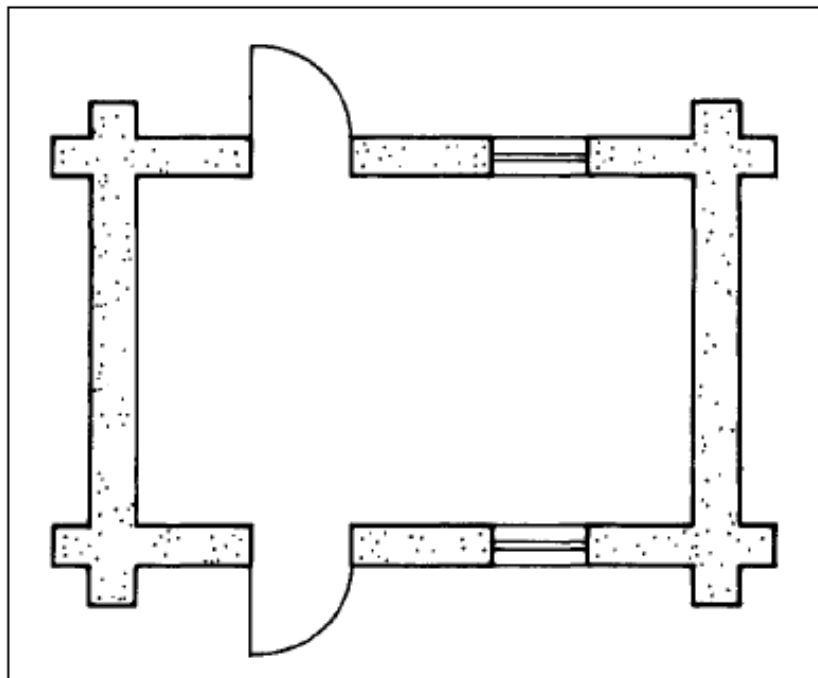


Figura 3-59 Posición de ventanas y puertas

CAPITULO 4

4. CONSTRUCCIÓN

4.1. INTRODUCCION⁵⁹

Cuando alguien se interesa en la construcción de una casa de adobe, la pregunta más frecuente es: ¿en que difiere este tipo de construcción con el que yo estoy familiarizado? Esta manera de encarar el problema es muy complicada, ya que los métodos de construcción usados para levantar una casa varían drásticamente de un lugar a otro del planeta. Creo que es mucho más fácil comenzar el tema sin establecer comparaciones, a fin de alcanzar la meta principal: **Definir lo que se llama una “casa solar”**. Lo que queremos decir es que todas las viviendas se ven influenciadas por la energía solar.

¿Cuál es la que merece llamarse una “casa solar”?

Respuesta: una vivienda que convierte a la energía solar en el mejor aliado de sus ocupantes, proporcionándoles confort a la vez que les permite reducir, drásticamente, el gasto energético requerido para enfriarla o calentarla.

¿Hay alguna diferencia entre una casa solar y una de adobe?

Respuesta: el tipo de material que se utiliza en su construcción, y algunos detalles derivados de su uso. Para poder definir claramente lo que constituye una casa solar debemos entender algunos conceptos básicos, como son: la aislación térmica, la resistencia a la conducción térmica y la masa térmica.

- **AISLACION TERMICA**

Si la temperatura del ambiente exterior es muy baja o muy alta, y la aislación térmica entre el interior y el exterior es muy pobre, la transferencia de energía calórica entre estos dos ambientes será muy elevada. Esta transferencia siempre ocurre en una sola dirección: **de la zona más caliente a la zona más fría**. En el verano la temperatura exterior es la más elevada, de manera que el calor exterior pasará al interior, calentando el medio ambiente interno. En el invierno ocurre lo opuesto, enfriándose el ambiente interno. Este proceso toma

⁵⁹ <http://www.epsea.org/> Construyendo con Adobe/Pág. 2

lugar alrededor de **toda la periferia** (envoltura) de la casa: techos, paredes exteriores y pisos. Al hablar de las casas entibiadas por el sol se hace hincapié en el uso de material aislante alrededor de toda la casa, para aislarla lo más posible. Esto incluye el aislamiento entre la casa y el terreno adyacente.

- **RESISTENCIA TERMICA**

Este término define la calidad del material usado como aislante térmico. Para una dada diferencia de temperatura entre los dos ambientes, la cantidad de energía calórica que pasa del lado más caliente al más frío, por unidad de superficie, depende de la resistencia térmica del material que los separa. Este valor se mide en unidades R.

- **TERMOMASA**

La masa térmica (termo masa) de un material está relacionada con su capacidad para acumular energía calórica. Cuando la masa aumenta, la capacidad de acumular energía calórica se incrementa.

Una pared de piedra que está expuesta al sol durante el día, acumula más energía calórica que el aire que la rodea, porque la piedra tiene más termo masa que el aire. Durante la noche, el aire se enfría más rápido que la piedra. La pared comenzará a ceder calor al aire que la rodea cuando la temperatura de este último es más baja que el de la piedra.

- **ORIENTACION**

Este concepto es muy importante en la relación sol-ocupante. Sin embargo, a pesar de su simplicidad, es al que menos se le presta atención. Al norte del Ecuador, el lado más soleado es el sur. Al sur del Ecuador, es el lado norte.

- Una casa que tiene ventanales del lado más soleado, recibirá más energía solar que otra igual que mira hacia el lado opuesto.

Tanto al norte como al sur del Ecuador el sol alcanza su mayor altura sobre el horizonte durante el verano y la menor durante el invierno.

- En cualquier parte del mundo el sol sale del lado este y se pone en el oeste.

Si queremos que la energía solar sea nuestra aliada, nuestra casa deberá reducir la cantidad de energía solar durante el verano, e incrementarla en el invierno.

¿Cómo llevarlo a cabo?

Orientando la casa de manera tal que el alero⁶⁰ de la parte más soleada bloquee el sol alto del verano, pero deje pasar el sol bajo del invierno.

- Tanto al norte como al sur del Ecuador, durante el verano, la puesta del sol en el oeste es muy prolongada, calentando este lado en exceso durante el verano.

Para compensar esta situación se debe:

- Minimizar los ventanales del lado oeste.

Diseñar el alero con el mismo criterio que para el lado más soleado.

Usar vegetación de hojas caducas. Esta solución natural bloquea el sol del verano, pero deja pasar el sol del invierno.

Usar una malla tejida (o cualquier otro material regional) en el lado exterior de la ventana, para disminuir la transferencia de calor.

Recuerde que si la luz solar pasa por un vidrio el calor queda atrapado dentro del ambiente (efecto invernadero)

- La Tierra gira alrededor de un eje norte-sur, haciendo que los vientos predominantes soplen en la dirección este-oeste.

⁶⁰ Alero, Parte inferior del tejado, que sale fuera de la pared y sirve para desviar de ella las aguas llovedizas

Esta condición natural puede aprovecharse diseñando un corredor este-oeste dentro de la casa. Cuando se abran las ventanas de esos lados, se establecerá una corriente natural de aire. Este corredor puede crearse haciendo que las paredes transversales no lleguen hasta el techo, o creando un amplio ambiente, con el mínimo de paredes divisorias.

- **CASA SOLAR**

Si usamos el sentido común, con lo que hemos visto, una casa solar deberá:

- Tener aislación en toda su envoltura exterior (paredes exteriores, techo y suelo).
- Dejar pasar el sol en el invierno y bloquearlo durante el verano (aleros, posición de las ventanas respecto al piso, cortinados, vegetación).
- Estar orientada con la parte más larga en la dirección este-oeste.
- Permitir la ventilación natural (este-oeste).
- Tener más superficie de ventana del lado más soleado.

4.2. CASAS DE ADOBE⁶¹

La casa de adobe es una casa solar. ¿Porqué usar adobe, cuando este material es un conductor del calor?

Respuesta: para aumentar la masa térmica interna. La aislación externa neutraliza la conducción de calor desde el exterior (verano) o desde el interior (invierno). Usando estas paredes de gran masa se tendrá durante el verano (sol bloqueado) una enorme masa térmica que absorbe el calor del aire en el interior de la vivienda, y durante el invierno (sol no bloqueado) actúa como un acumulador del calor absorbido por las masas colectoras expuestas al lado más soleado. Puede pensarse que el adobe actúa como un reservorio, haciendo que las variaciones de la temperatura ambiente se suavicen durante todo el año.

⁶¹ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 3 y 4

Si se agrega a un hogar leña se debe fabricar con adobe. De esta manera la masa del hogar se calienta durante las horas de uso, devolviendo ese calor cuando está apagado. Es común que el hogar este construido con forma de cono truncado invertido, en la esquina donde se unen dos paredes.

Otro detalle es la construcción de un banco de adobe adyacente al hogar. Este detalle provee un lugar para sentarse, usando almohadones, y aumenta el total de la masa térmica.

El clima preponderante durante el año determina la selección de estos detalles, aunque pueden ser elegidos y usados ocasionalmente, cuando se presentan días muy fríos durante el invierno.

Si se descubre que la masa colectora es excesiva, siempre puede reducirse la acción colectora de los pisos mediante el uso de alfombras o interceptando parcialmente la luz solar que llega de las ventanas.

4.3. DETALLES DE CONSTRUCCIÓN

4.3.1. CIMIENTOS⁶²

➤ Cada abobe pesa alrededor de 17 kilos.

No es difícil imaginar que las paredes de una casa, aún las de un solo piso, pesarán toneladas.

El sentido común dicta que estas paredes se asienten sobre una base sólida, con un ancho suficientemente amplio como para reducir la presión, sobre todo en terrenos que pueden hundirse substancialmente.

Una regla práctica es que el pié tenga tres pulgadas (7,5 cm) más, de cada lado de la pared. Vea la Figura 4-1.

⁶² <http://www.epsea.org/Constryendo> con Adobe/Pág. 5

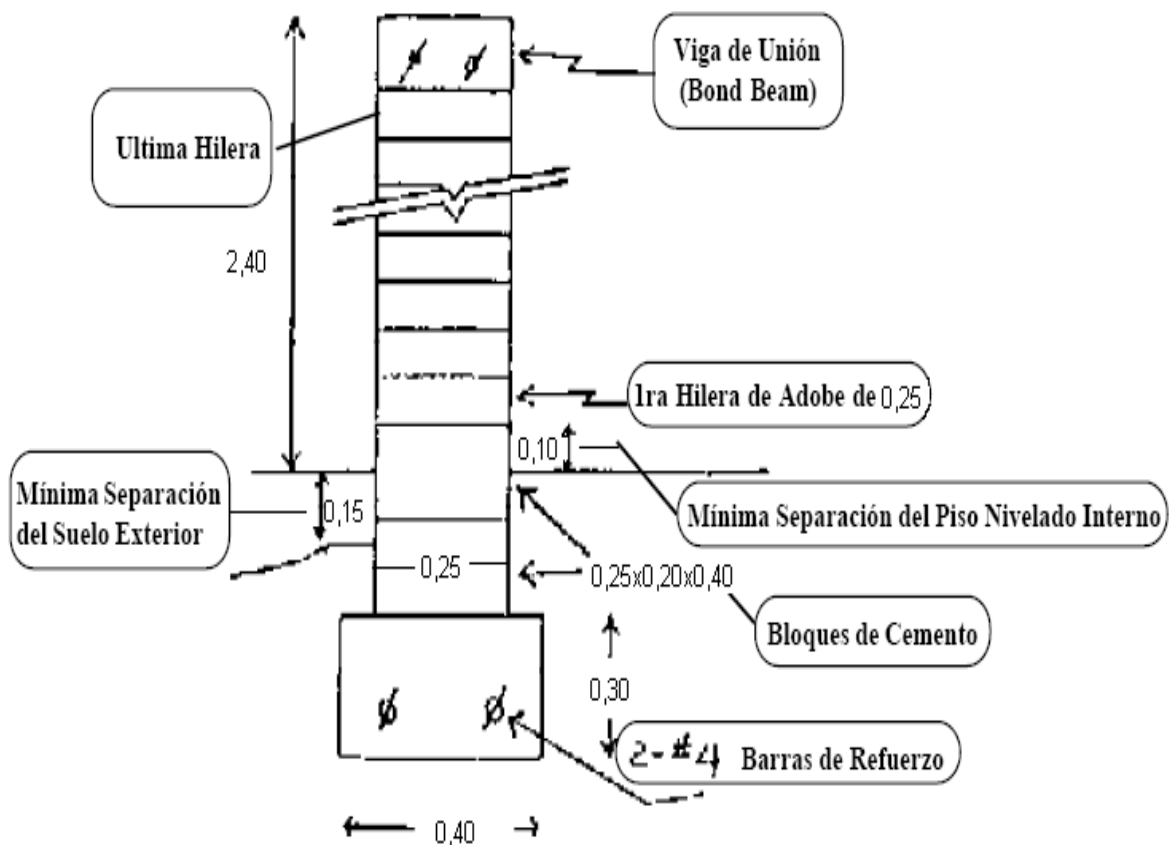


Figura 4-1 Detalle de los cimientos.

Se puede usar cemento o piedras. El uso de piedras debe ser hecho teniendo en cuenta posibles filtraciones de agua y el movimiento relativo de las mismas. El cemento permite el uso de barras metálicas que refuerzan su consistencia. Si la casa tiene más de un piso la base del cimiento debe ser aumentada. Las barras de refuerzo deben estar ubicadas de la mitad para abajo de la base de cemento.

Antes de colar el cemento puede utilizarse maderas transversales a lo largo de la forma, cada dos pies (60 cm) para colgar de ellas, con alambre, las barras de refuerzo, de manera que no se hundan. El encofrado debe tener muy buena rigidez para que no haya problemas al colar el cemento.

- El adobe es barro seco.

Si se moja, vuelve a ser barro. La pared de adobe debe comenzar 15cm sobre el nivel del suelo externo y no menos de 10cm del nivel del piso interno (Fig. 4-1).

Para satisfacer estas medidas se usan ladrillos en bloque de 25 x 20 x 40 cm. Evite que corrientes de agua lleguen a la base, ubicando la casa sobre un promontorio⁶³ de protección, si es necesario.

4.3.2. PAREDES⁶⁴

Guías para levantar las paredes.

Es extremadamente importante que la pared sea levantada a plomo. Si no lo está terminará como una “torre de Pissa” o un derrumbe nada placentero. Para levantar paredes a plomo deben usarse postes de madera (5 x 10 cm) en cada esquina. Estos postes deben ser perfectamente verticales y estar anclados al piso en forma muy segura, ya que los trabajadores chocarán con ellos con su cuerpo o con las carretillas cargadas con mezcla. Observe los detalles en la Figura 4-2.

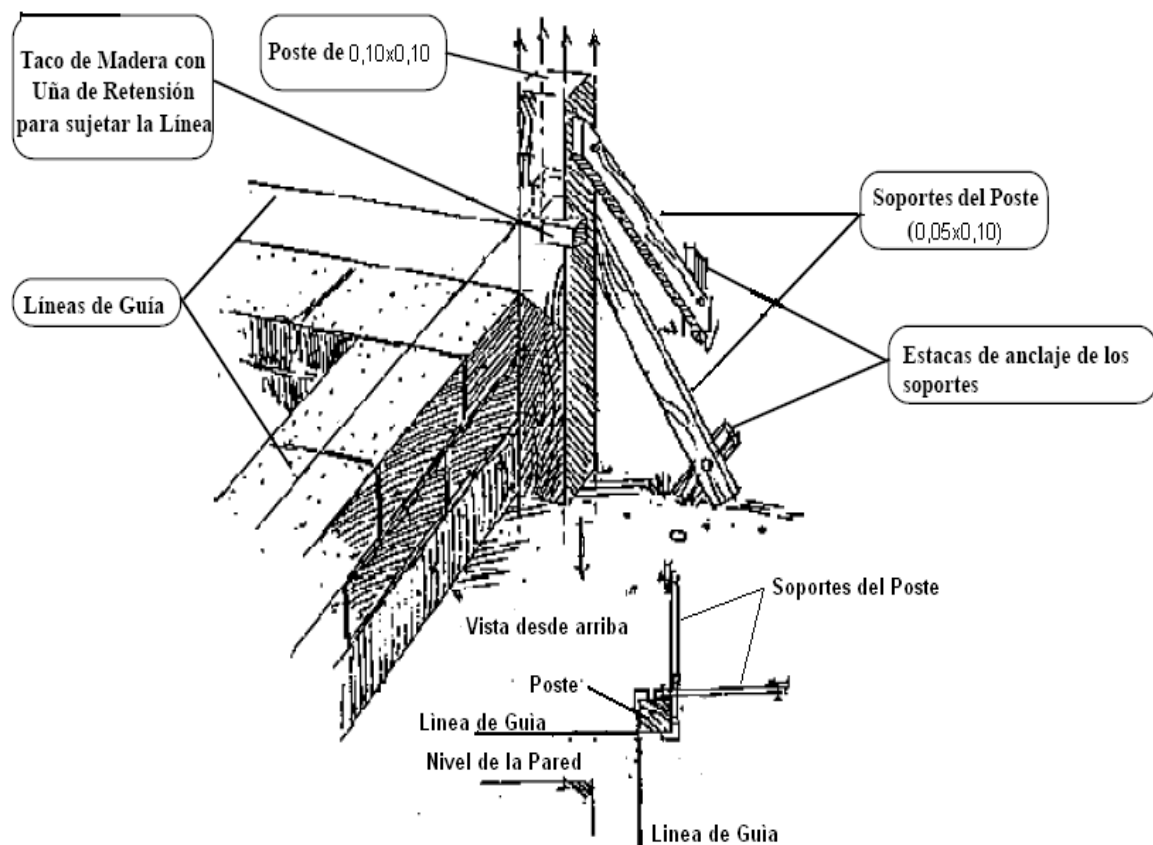


Figura 4-2 Anclaje de los Postes de Guía.

⁶³ Promontorio, altura muy considerable de tierra.

⁶⁴ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 5

4.3.2.1. LINEAS PARA LA COLOCACIÓN DE HILERAS⁶⁵

En la superficie de estos postes se marcan la posición que tomarán las hileras de ladrillos de adobe. Estas marcas deben ser hechas comenzando desde el nivel más alto que se va a alcanzar, hacia el suelo. La marca más alta estará dada por la viga de unión (bond beam, en inglés), la que se describe con posterioridad. El espaciado está dado por el alto de un ladrillo (aproximadamente 10 cm).

Cualquier discrepancia al llegar al piso de cemento puede ser absorbida aumentando la capa de barro en las primeras hileras. Para que estas marcas estén todas al mismo nivel la primera marca (la más alta) debe estar a la misma altura en todos los postes. El mejor nivel es el que aparece como el más primitivo. Se lo ilustra en la Figura 4-3.

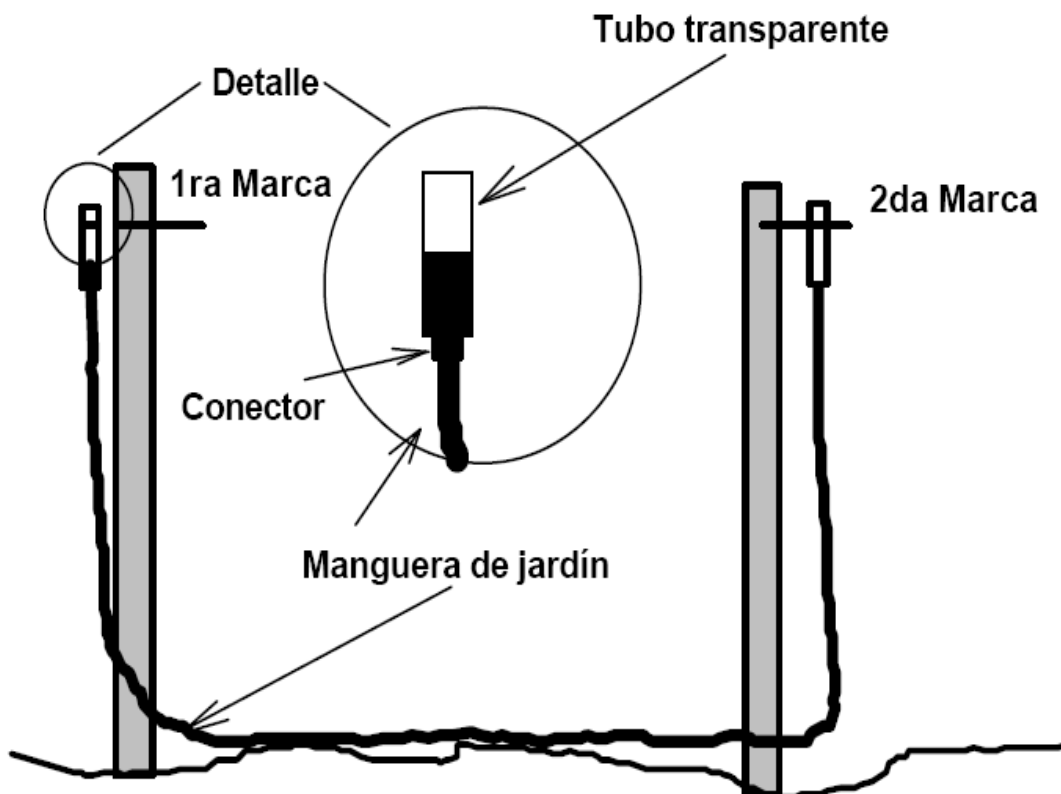


Figura 4-3 Nivel de agua.

⁶⁵ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 6

4.3.2.2. INTERCONECTANDO PAREDES EXTERNAS CON INTERNAS⁶⁶

El nivel consiste en una manguera de jardín, tan larga como sea necesario para cubrir la distancia entre esquinas. Después que se la llena de agua, asegurándose que salga todo el aire, se colocan dos terminaciones transparentes, una en cada extremo. Una persona hace la primera marca a la máxima altura de la pared en uno de los postes (digamos el izquierdo), y coloca el nivel de agua a ese nivel.

Otra persona, ubicada en el poste de la derecha, levanta o baja el nivel (muy lentamente para no agitar el agua) siguiendo las indicaciones de la persona en el poste izquierdo (para arriba, para abajo, ahí no más) hasta que vuelve a tener coincidencia entre la marca de agua y la marca en el poste.

Debe tenerse la precaución de esperar a que el agua se estabilice. Es entonces cuando la segunda persona, en el poste a la derecha, hace la marca en su poste. Si se hace con cuidado, la precisión de este método es fabulosa (0,15 cm en 9 o 12m de longitud de pared).

De poste a poste se utiliza un hilo, el que se ancla con un clavo de un lado y con un taco de retención del otro. Este retensor permite enrollar el hilo para permitir el tensado óptimo. Una ranura, hecho a lo largo del retén, permite que el hilo no interfiera con su asiento al poste.

Verifique que el hilo mantenga el nivel correcto a lo largo de la pared. La Figura 4-4 muestra alguno de estos detalles y la Figura 4-5 ilustra la distribución del trabajo.

⁶⁶ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 7

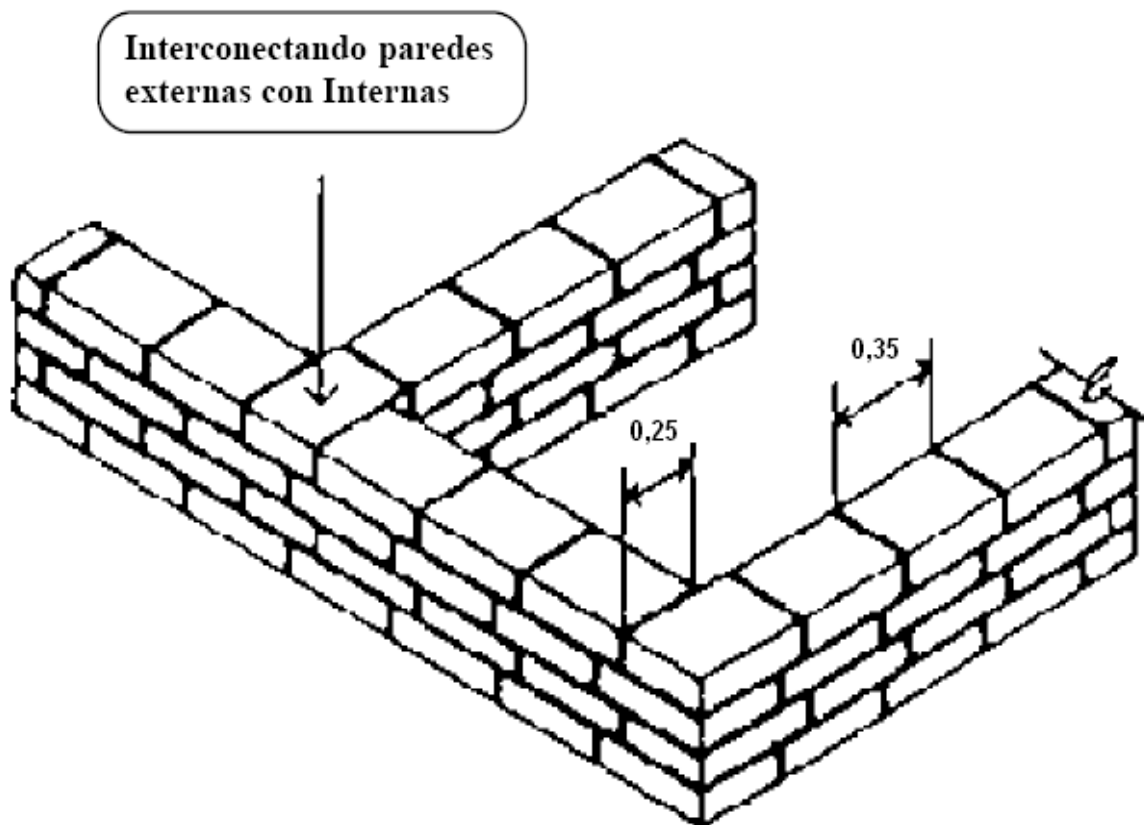


Figura 4-4 Paredes Externas e Internas.

- Los ladrillos de adobe en una hilera deben estar espaciados entre sí alrededor de 1,25 cm. El espacio entre ellos se rellena con barro.
- Deje siempre una pequeña distancia entre el hilo de guía y el borde del ladrillo, de manera que la línea conserve su integridad.
- Ponga más barro del que necesita entre el ladrillo con un ángulo de manera que arrastre barro contra el que ha colocado con anterioridad, a fin de rellenar, en forma parcial las juntas entre ellos.
- Cada ladrillo deberá ser asentado golpeando con el puño su parte superior. Nunca rote el ladrillo de un lado a otro al colocarlo. Si comete este error los ladrillos de la hilera de abajo tienden a rotar y la pared tendrá una muy pobre terminación.
- Coloque la parte cóncava del adobe (lado al sol durante el secado) para abajo, así le queda el lado liso para la próxima hilera.
- Acumule las pilas de ladrillos donde va a necesitarlos, así evitará moverlos largas distancias. Acumule una cantidad cercana a la que necesitará para

llegar al nivel de sus hombros, ya que luego necesitará andamiaje, para el que necesitará el lugar donde tenía los ladrillos.

- Si al llegar a una esquina le queda sólo un hueco que representa un “pedacito” de ladrillo, coloque el ladrillo de la esquina y reacomode los que colocó más recientemente para “emparchar”⁶⁷ la discrepancia.
- El mínimo ancho para la pared de adobe es 25 cm.
- La máxima altura es igual a 10 veces el ancho.
- El pié de los cimientos debe tener 15 cm más que el ancho de la pared (7,5 cm más de cada lado).
- Busque ayuda profesional para diseñar los cimientos si piensa construir un segundo piso.
- La primera hilera debe estar a un mínimo de 10 cm por arriba del piso interno nivelado y 15 cm del nivel del suelo exterior.

4.3.2.3. DETALLES PARA TENER EN CUENTA⁶⁸

- Levante las hileras como un tejido, alternando la dirección con la que comienza el trabajo. Una de derecha a izquierda, la siguiente en el sentido contrario.
- Cuide que las juntas de dos hileras consecutivas estén desfasadas unos 10 cm a 15 cm.
- La terminación del exceso de revoque es a "gusto del consumidor". A algunas personas les gustará la terminación rústica, a otras más lisa.
- Si va a plastificar el exterior con estuco⁶⁹, recomendable por lo simple de su aplicación, deje las juntas exteriores con vacíos para facilitar el agarre del recubrimiento externo.

⁶⁷ Emparchar, poner parches o encubrir algo.

⁶⁸ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 8 y 9

⁶⁹ Estuco, Masa de yeso blanco con agua de cola que sirve para los revestimientos.

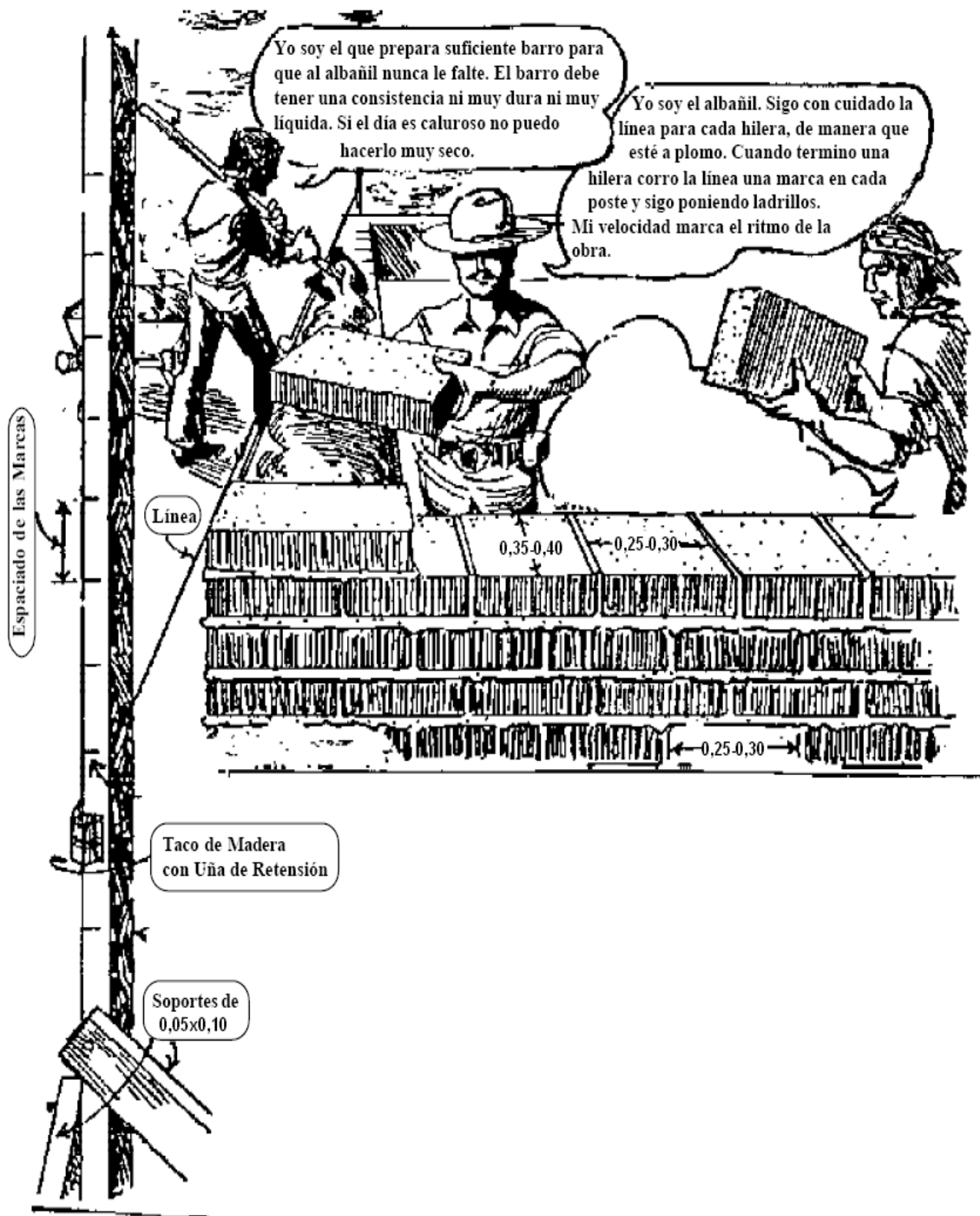


Figura 4-5 El lugar de Trabajo.

- Es importante observar que el material de aislación usado en la pared exterior y alrededor de los cimientos es distinto. En particular, el poli-estireno expandido no resiste la humedad. El extraído en cambio tiene esta propiedad.

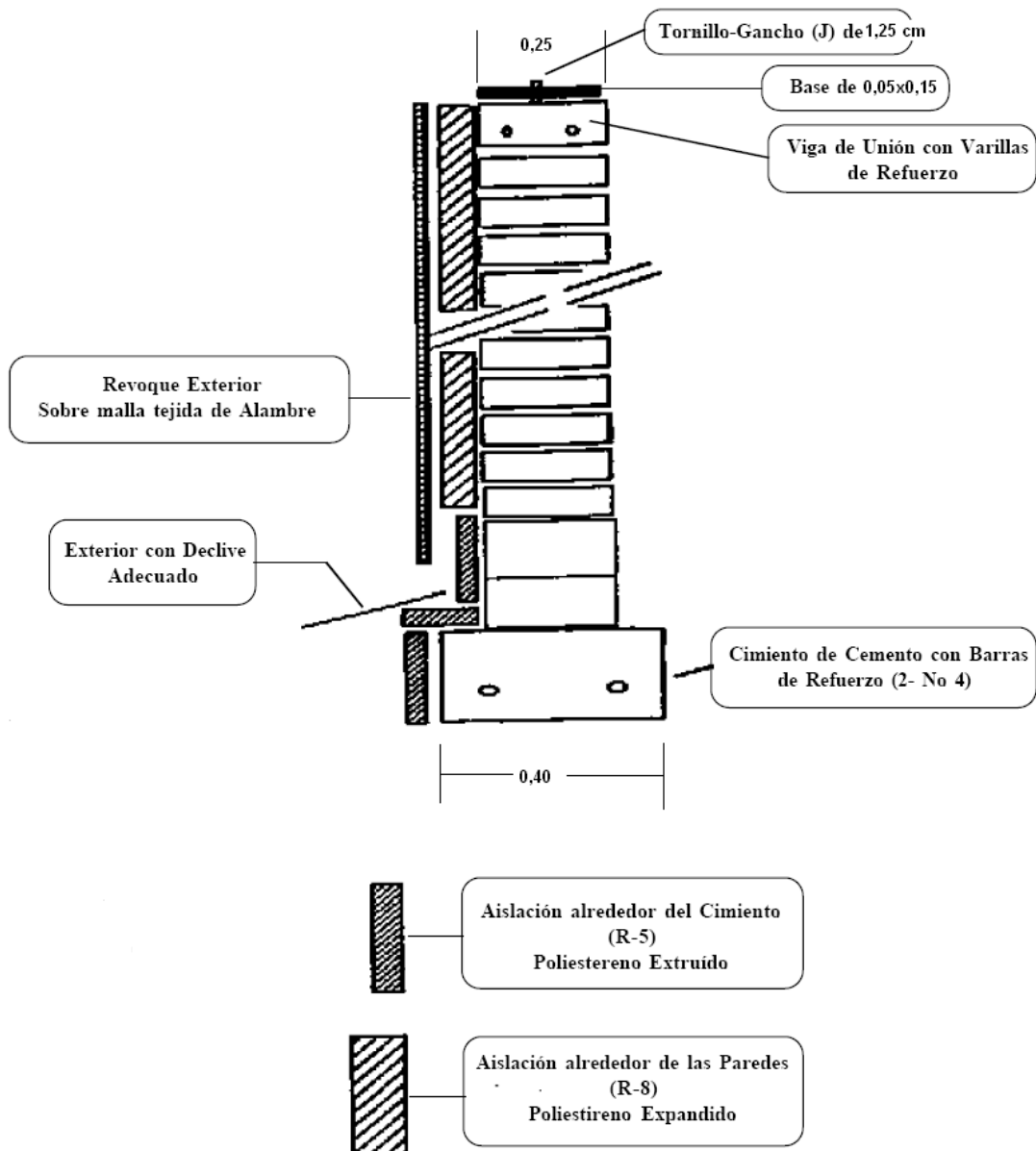


Figura 4-6 Detalle de una Pared Terminada.

4.3.3. VIGA DE UNION⁷⁰

Encima de la última hilera se debe colocar la viga de unión (bond beam), la que corre a lo largo del perímetro, proveyendo rigidez y permitiendo el anclaje del techo. Debe ser de 25 x 15 cm, no importa que tipo de material use para la misma.

⁷⁰ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 10

Si la hace de cemento, use varillas de refuerzo y cuelgue, cada 60 cm, un tornillo en forma de letra “J” de 1,25 cm de diámetro, el que tendrá la parte inferior dentro del cemento, procurando su parte superior (con rosca) de manera tal de poder anclar una plancha de madera de 15 x 5 cm de espesor, que le servirá para anclar el techo. Vea la Figura 4-6 y 4-7 al respecto.

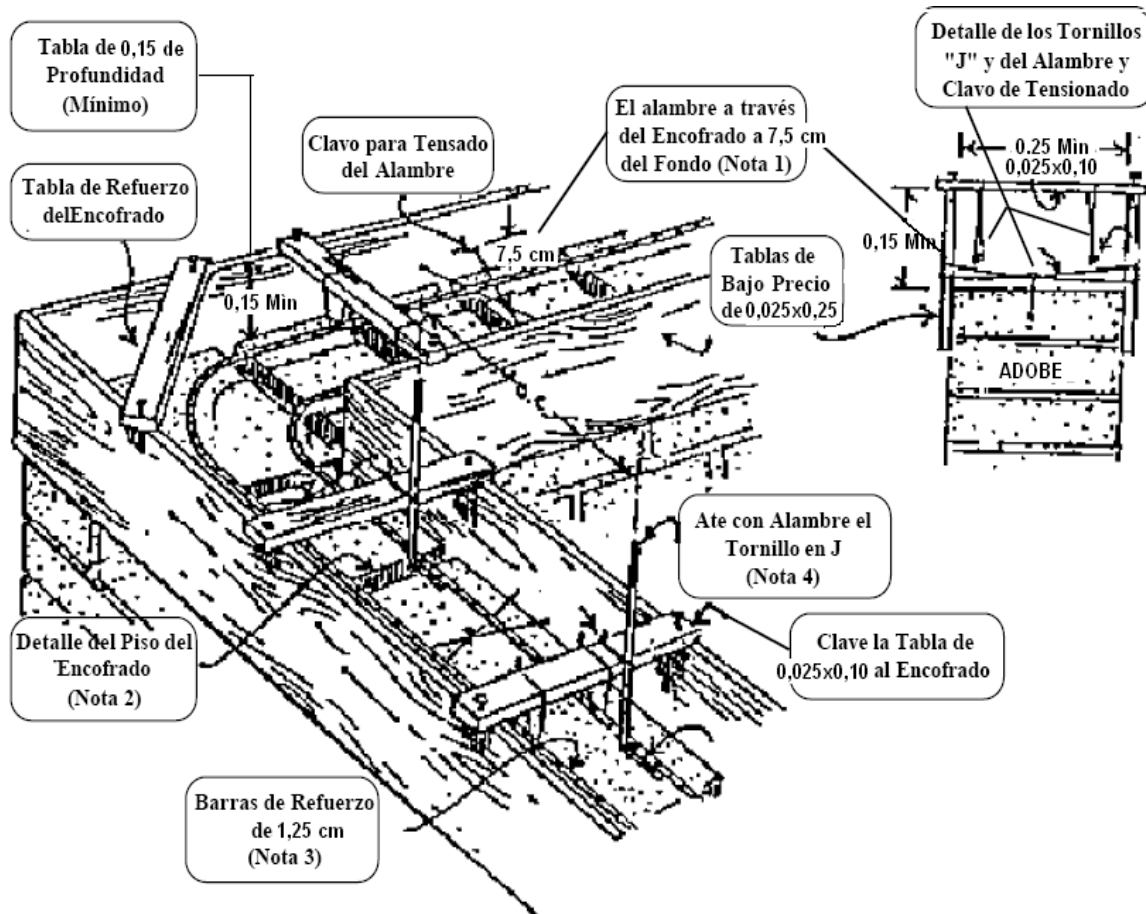


Figura 4-7 Detalle del Encofrado para la Viga de Unión.

Notas:

- El alambre está hecho de dos pedazos doblados y trenzados. Un clavo en el medio sirve para graduar la tensión, el que se clava en el adobe.
- No haga un piso continuo. Deje abiertas las juntas de adobe entre 5 y 7,5 cm en la última hilera. Esto provee una mejor unión entre la viga y la pared.
- Estas barras deben estar colocadas a lo largo de todo el perímetro, incluyendo las paredes interiores.

- Hay dos ataduras con alambre. Una a la tabla de 2,5 x 10 cm; la otra a la varilla de refuerzo. La altura que sobresale el tornillo debe permitir el atornillado de la plancha de 5 x 15 cm que va encima de la viga de unión.
- Si usa madera para la viga use una de 15 x 25 cm. Si necesita unir dos pedazos, las uniones deben tener un mínimo de 15 cm de superposición (Figura 4-8). Ninguna unión debe estar más cerca de 30 cm de una abertura de ventana o puerta, por razones de solidez.

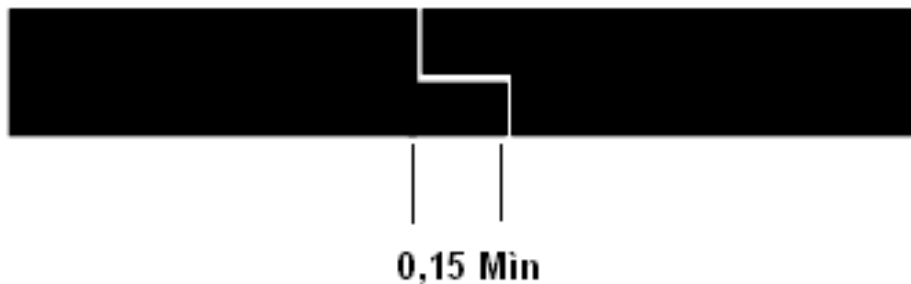


Figura 4-8 Unión de dos Secciones.

4.3.4. ABERTURAS: VENTANAS⁷¹

Es muy importante que el marco esté a plomo y que se lo sostenga firmemente en posición mediante el uso de tablas ancladas al piso. Para evitar la deformación lateral se usan listones transversales, los que preservan el marco en escuadra.

Cubra con papel impregnado en alquitrán los lados del marco que dan hacia los ladrillos para que la humedad no ataque la madera. Sobre esta protección clave, usando clavos galvanizados, las mallas metálicas de anclaje.

Si posiciona las ventanas al borde de la pared, o algo retiradas hacia adentro tiene mucho que ver con el sentido estético que quiera darle. Si decide retirarlas hacia adentro debe hacer un dintel con inclinación hacia afuera para protegerlas de la lluvia.

La posición vertical es parte de la “defensa solar”, junto con el largo del alero.

⁷¹ <http://www.epsea.org/Construyendo con Adobe/> Pág. 11

La Figura 4-9 muestra los detalles.

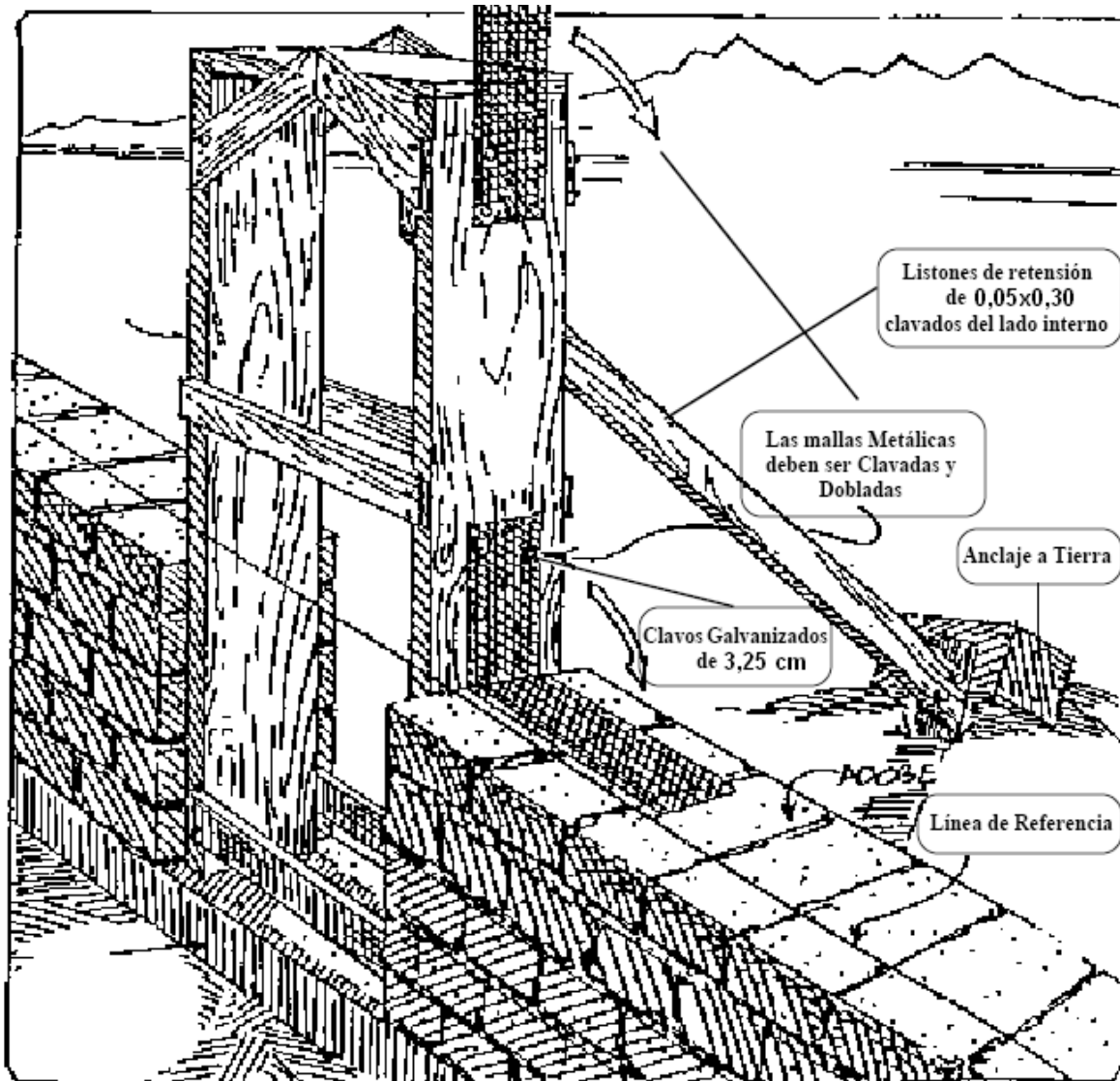


Figura 4-9 Colocación de Ventanas.

4.3.5. ABERTURAS: PUERTAS⁷²

El borde de la pared donde se coloca una puerta deberá tener varias cajas de amarre, llamadas "gringo blocks" en inglés. Estas cajas, que se colocan al ras de la pared, permitirán el atornillado del marco a todo su largo. La Figura 4-10a muestra el montaje de esta caja a la pared de adobe. Observe que debe utilizar mallas metálicas para su mejor soporte. La Figura 4-10b muestra los detalles de construcción de el "gringo block". El travesaño más corto queda encerrado por los

⁷² <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 12

dos largos. Al clavar el armazón entre los clavos como se indica en el dibujo. Esto ofrece un mejor anclaje de la caja si se tiene que desclavar el marco del "gringo block", ya que tendría que arrancarse toda caja de la pared.

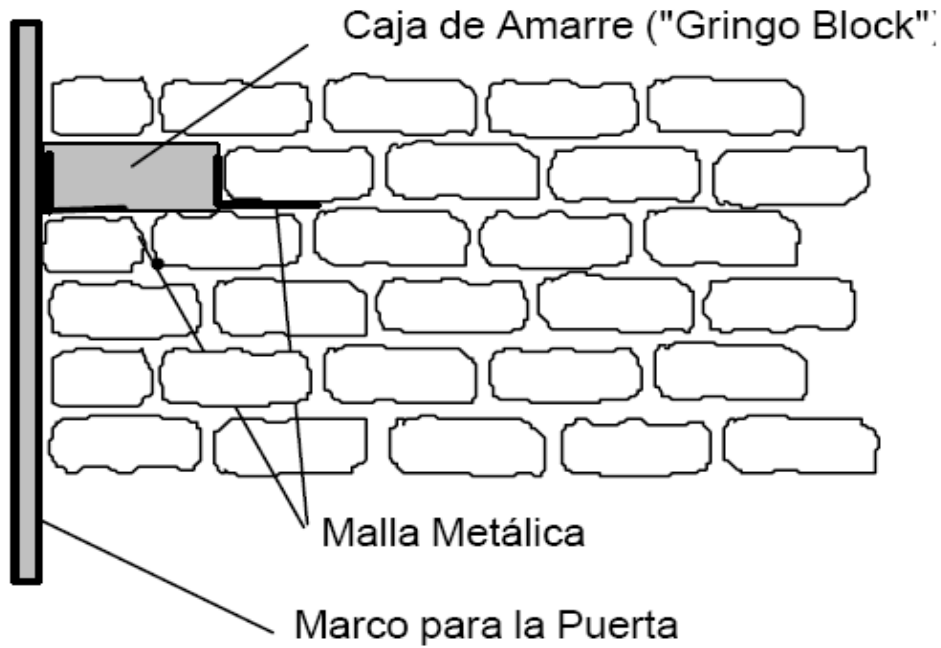


Figura 4-10a Montaje de la Caja de Amarre a la Pared de Adobe.

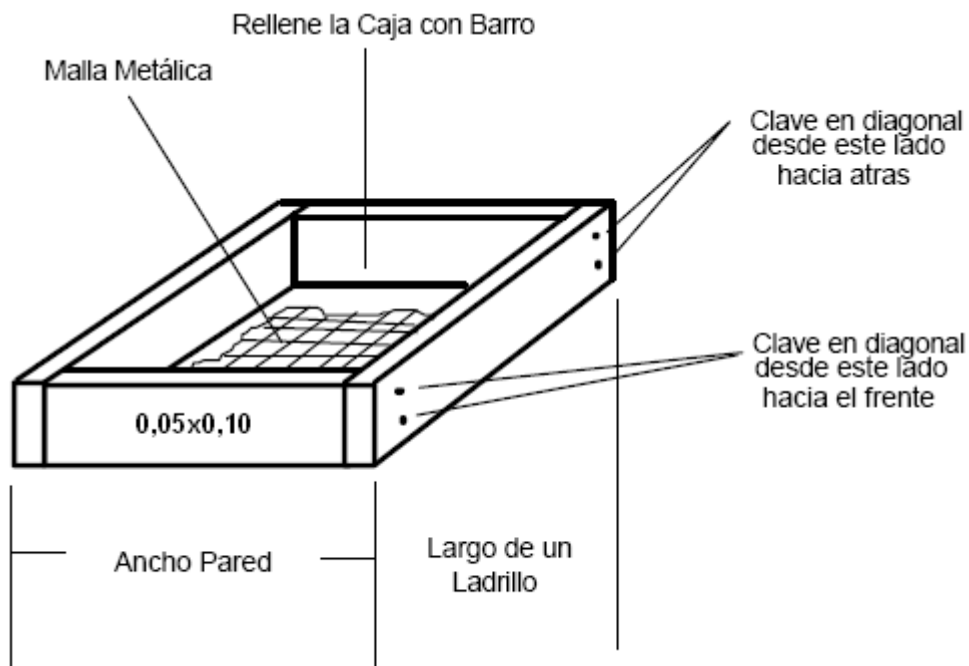


Figura 4-10b Detalles de Construcción del "Gringo Block".

Se debe colocar una de estas cajas cada 3 hileras de ladrillo. Observe su construcción, y en especial el listón que está clavado (o atornillado) a la parte más larga de la caja. Esta construcción evita que se afloje la caja al golpear la puerta.

Las cajas de anclaje quedan formando un sándwich entre dos hileras de adobes.

El mejor anclaje de la caja a la pared se obtiene usando una malla metálica, como se hizo con los marcos de ventana.

4.3.6. CABECERAS⁷³

Esta es la parte superior de la estructura ubicada sobre la abertura de puertas y ventanas. Dependiendo de la abertura (ver Figura 4-11) el espesor (d) deberá tener:

- 20 cm para aberturas de hasta 1,80m de ancho.
- 30 cm para aberturas de hasta 3m de ancho.

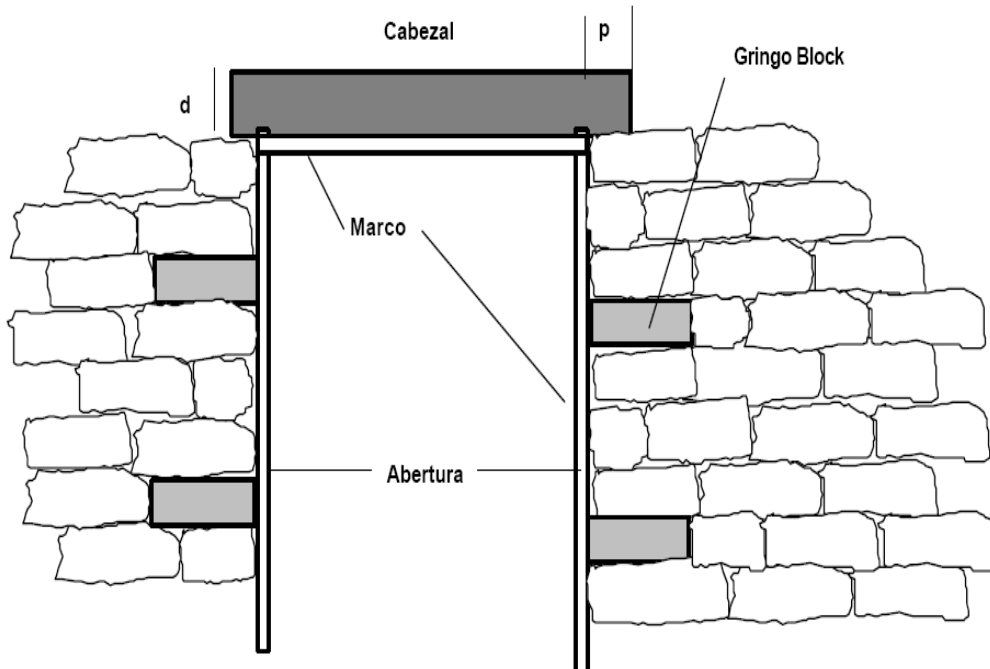


Figura 4-11 Medidas de la Cabecera.

⁷³ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 13

Para aberturas menores de 1,80m, use un mínimo de 15 cm para d, no importa que la cabecera sea de madera o de cemento. La distancia de penetración dentro de la pared (p) deberá tener 30 cm mínimo.

4.3.7. TECHO⁷⁴

La Figura 4-11a muestra el detalle para el anclado de las cabriadas, las que son clavadas (o atornilladas) a la base de madera de 5 x 15 cm. Pueden usarse como refuerzos ángulos de metal a los costados.

4.3.8. CABLES ELÉCTRICOS⁷⁵

En los EEUU se usa un tipo de conductor llamado UF (Underground Feeder) que permite ser enterrado sin problemas. Esto hace posible su uso en estructuras de adobe, simplemente colocándolo a lo largo de la hilera que tiene la altura ideal para instalar las cajas donde se montan los toma-corrientes.

Si no se consigue este tipo de conductor se puede utilizar un caño de PVC, el que se coloca entre dos hileras de ladrillos. Usando codos a 90° se obtienen las salidas para las cajas.

Los cables de suministro eléctrico pueden ser deslizados dentro de la cañería a posterior. Esto permite el reemplazo de los mismos, si se hiciera necesario. Las cajas para llaves interruptoras pueden anclarse a la pared de adobe, proveyendo una abertura adecuada, la que se termina con barro alrededor.

Si va a terminar la pared interior con revoque, recuerde que la caja debe estar al ras de ese nivel.

⁷⁴ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 14

⁷⁵ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 14

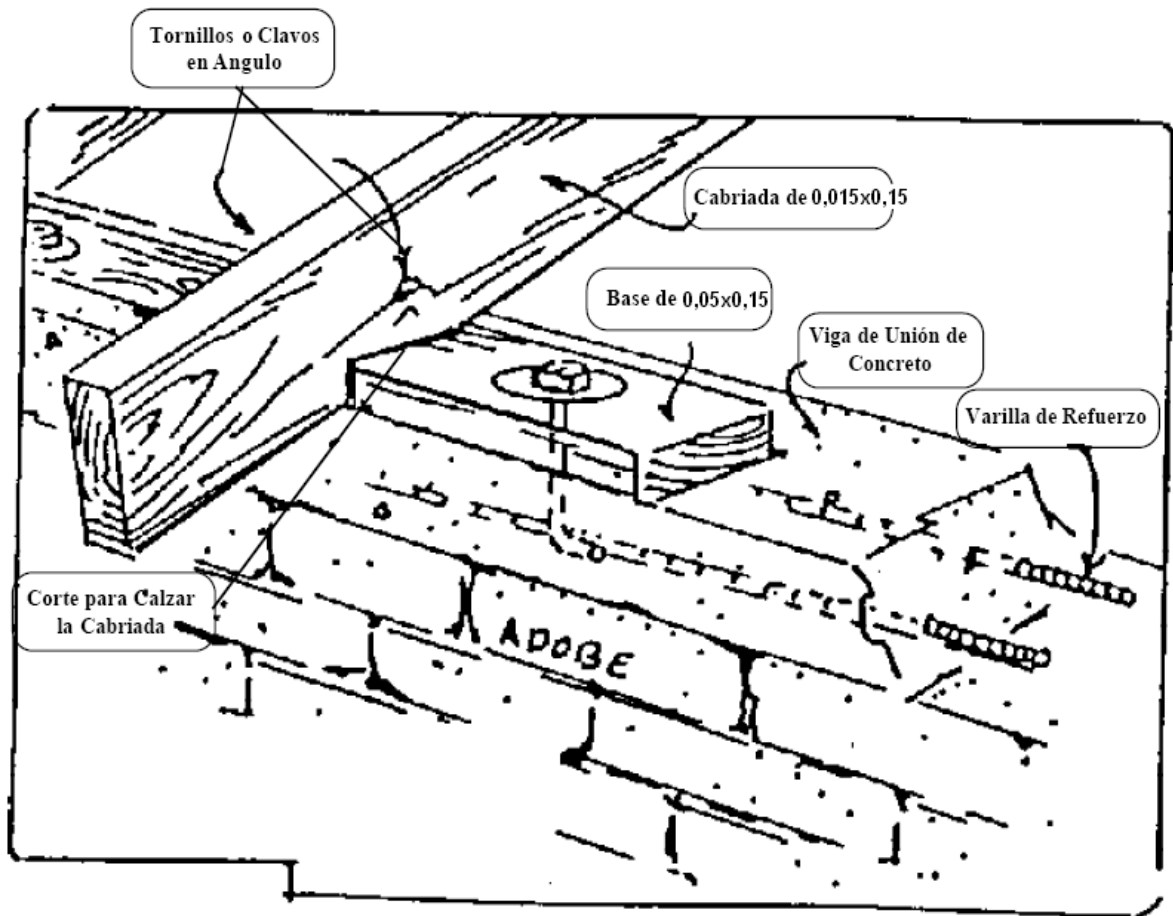


Figura 4-11a Anclado de las Cabriadas del Techo.

4.3.9. PLOMERÍA⁷⁶

En los EEUU la manera más conveniente es diseñar la casa concentrando la plomería en una zona de la casa. Esto permite la construcción de una pared hueca interna por donde afloran, a uno y otro lado, los caños de agua para los baños, lavadero de ropa y cocina. Debe tenerse presente que la cañería en este país es de cobre, la que se sujeta a los batientes de la pared hueca con abrazaderas clavadas o atornilladas a éstos. La cañería sanitaria (baja presión) está hecha con PVC. La pared se termina con placas de yeso y papel (dry-wall), las que pueden ser pintadas o recubiertas con otros materiales.

⁷⁶ <http://www.epsea.org/Construyendo> con Adobe/Pág. 14

4.4. TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS MEJORADAS

4.4.1. USO DE REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL⁷⁷

El reforzamiento puede hacerse con cualquier material dúctil, incluyendo: caña, bambú, junco, parra, sogá, madera, malla de gallinero, malla de púas o barras de acero. El refuerzo vertical ayuda a mantener la integridad del muro fijándolo a la cimentación y a la viga collar y restringe la flexión perpendicular al plano y el corte coplanar. El refuerzo horizontal ayuda a transmitir la flexión y las fuerzas de inercia en los muros transversales (perpendiculares al plano de la sollicitación) hacia los muros que resisten el cortante (coplanares con la sollicitación), también restringe los esfuerzos de corte entre muros adyacentes y minimiza la propagación de las fisuras verticales. El refuerzo vertical y horizontal debería estar unido entre sí y a los otros elementos estructurales (cimentación, viga collar, techo) por medio de hilo de nylon. Esta unión provee una matriz estable, que es de por sí más fuerte que sus componentes individuales. La colocación del refuerzo debe ser cuidadosamente planificada y las unidades deben ser fabricadas tomando provisiones especiales en cuanto a sus dimensiones. Una ilustración del refuerzo de caña para muros de adobe se muestra a continuación.

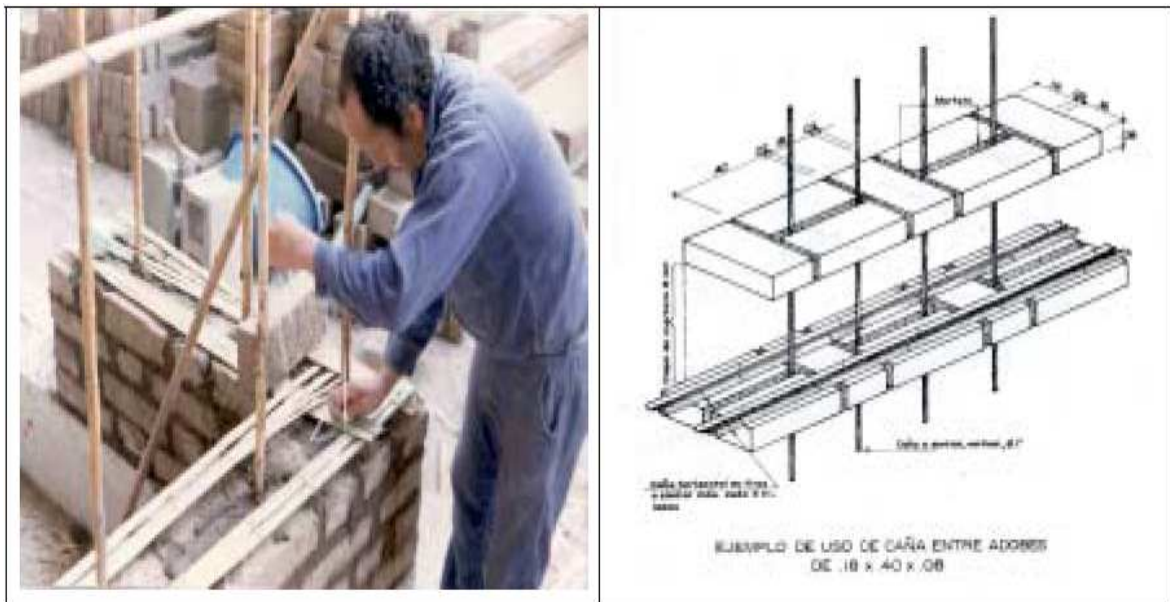


Figura 4-12 Colocación del Refuerzo de Caña en Perú

⁷⁷ <http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial4>.



Figura 4-13 Colocación del Refuerzo de Caña en El Salvador.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima, Perú, se han realizado múltiples investigaciones en edificaciones de adobe reforzadas con caña (Blondet y otros, 2002). El primer proyecto de investigación desarrollado en la PUCP en 1972 consistió en el estudio experimental de varias alternativas, con materiales disponibles en zonas rurales, para el refuerzo estructural de casas de adobe. Los modelos fueron construidos sobre una plataforma de concreto. El ensayo consistió en inclinar lentamente la plataforma y medir el ángulo de inclinación en el momento del colapso. La componente lateral del peso del modelo fue usada para cuantificar la máxima fuerza sísmica. La conclusión principal fue que un refuerzo interior logrado con caña vertical, combinado con caña horizontal aplastada colocada cada cuatro hiladas, aumentaba considerablemente la resistencia de los modelos.

En 1992, ocho modelos a escala natural de una edificación consistente en una habitación de un piso fueron ensayados en un simulador de sismos. Los resultados de estos ensayos han demostrado que el refuerzo horizontal y vertical de caña, combinado con una sólida viga collar, pueden prevenir la separación de los muros en las esquinas debido a un sismo severo y de esta manera pueden

mantener la integridad estructural aun después que los muros estén muy dañados. Se probó que el reforzamiento resultó muy efectivo en prevenir el colapso de las edificaciones durante los ensayos.



Espécimen sin refuerzo

Espécimen reforzado con caña

Figura 4-14 Comportamiento Sísmico de Edificación de Adobe Sin Refuerzo y Reforzada.

4.4.2. CONTRAFUERTES⁷⁸

El uso de contrafuertes y pilastras, en las partes críticas de una estructura, aumenta la estabilidad y el esfuerzo resistente. Los contrafuertes actúan como soportes que pueden prevenir el volteo del muro hacia adentro o hacia fuera. Los contrafuertes y las pilastras también mejoran la integración de los muros que convergen en las esquinas. Las secciones críticas incluyen:

- Esquinas, donde las pilastras toman la forma de muros cruzados y,
- Ubicaciones intermedias en muros largos, donde los contrafuertes toman la forma de muros perpendiculares de arriostre que son integrados a la estructura del muro.

El uso de contrafuertes y pilastras para la resistencia mejorada de construcciones de adobe ha sido reportado en El Salvador, como parte de un esfuerzo de educación de base y reconstrucción posterior a los terremotos del 2001 (Dowling 2002, Dowling en proceso).

⁷⁸ <http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial4>.

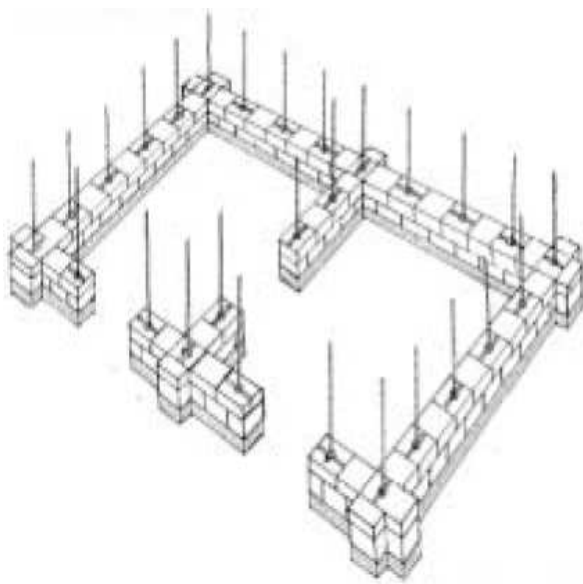
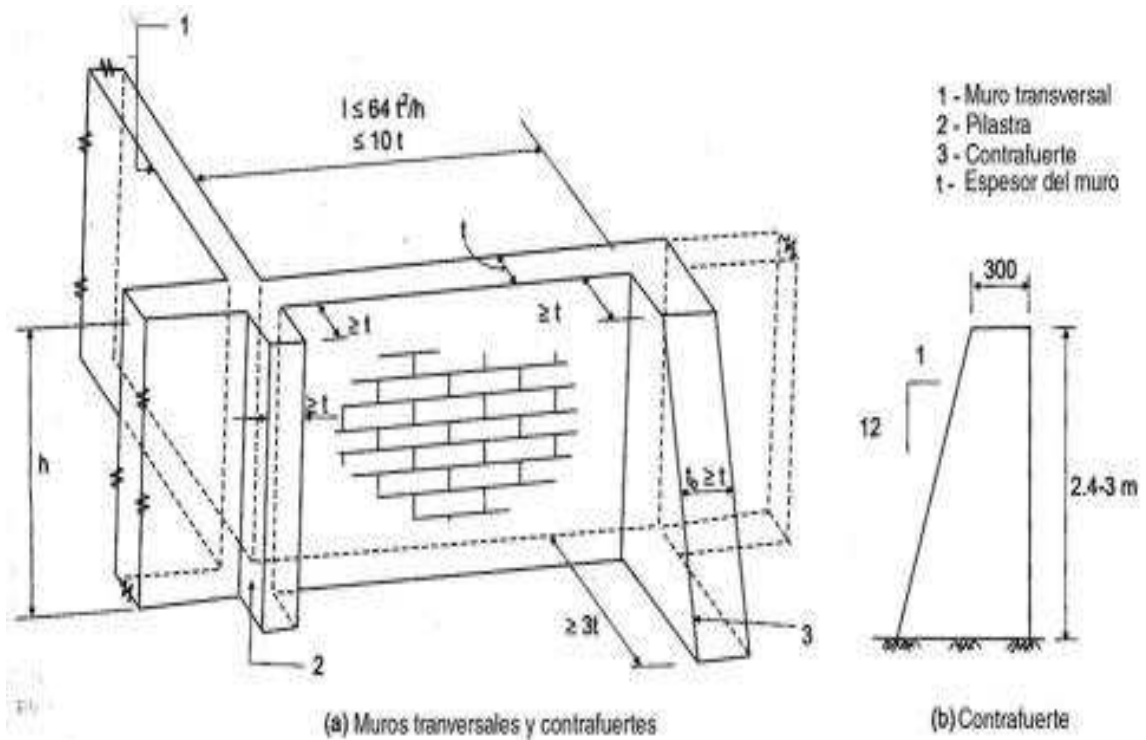


Figura 4-15 Edificación de Adobe con Contrafuertes y Pilastras en El Salvador.

Las recomendaciones acerca de las dimensiones de los contrafuertes y las pilastras se resumen en las figuras que siguen (IAEE 1986).



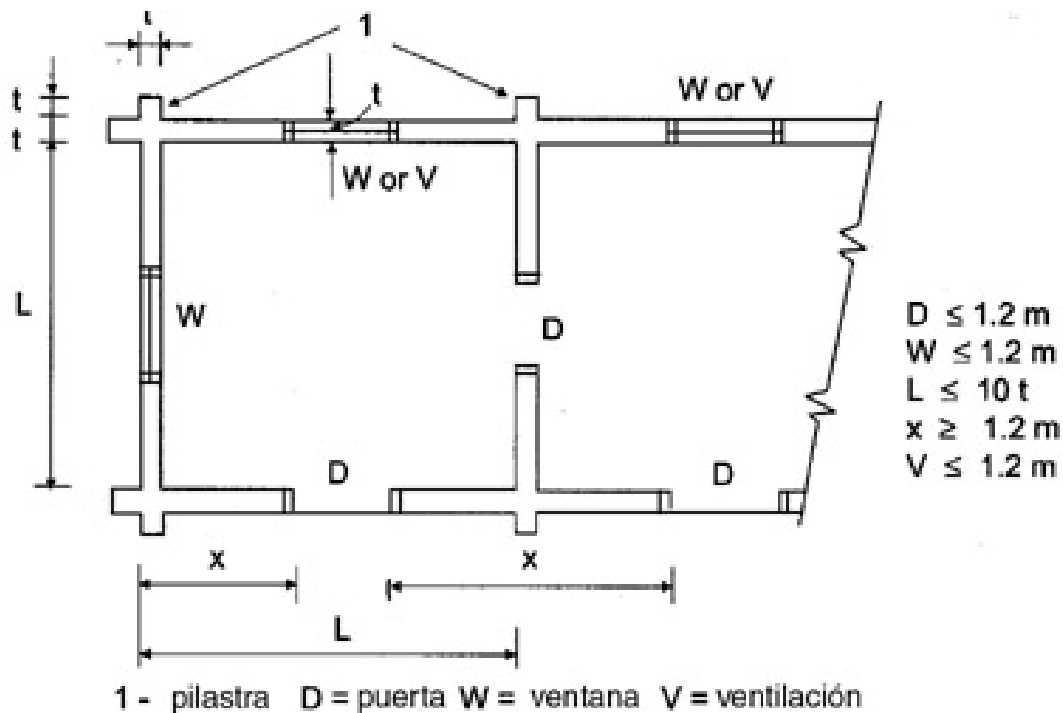


Figura 4-16 Guía para la Construcción de Muros con Contrafuertes y Pilastras.

4.4.3. VIGA COLLAR⁷⁹

Una viga collar (también conocida como viga corona, viga de amarre, viga anillo, viga solera o banda sísmica) que amarra los muros formando una estructura tipo caja es uno de los componentes esenciales para la resistencia ante terremotos de la construcción de albañilería portante.

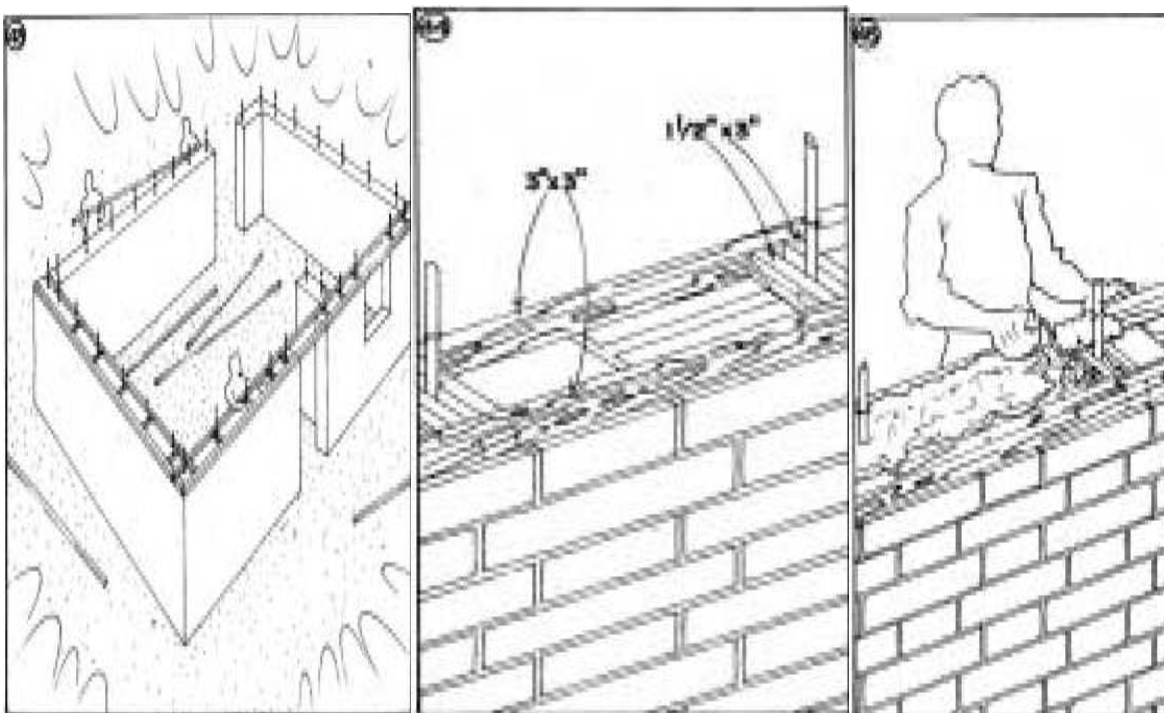
Para asegurar el buen comportamiento sísmico de una edificación de adobe, se debe colocar una viga collar continua como un cinturón.

La viga collar debe ser fuerte, continua y muy bien amarrada a los muros y debe recibir y soportar el techo. La viga collar puede ser construida de concreto o de madera.

⁷⁹ <http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial4>.



Figura 4-17 Guía para la Construcción de la Viga Collar de Concreto Reforzado en El Salvador.



Hacer la solera con vigas de madera unidas con travesaños, también de madera

Fijar las cañas verticales clavándolas a los travesaños

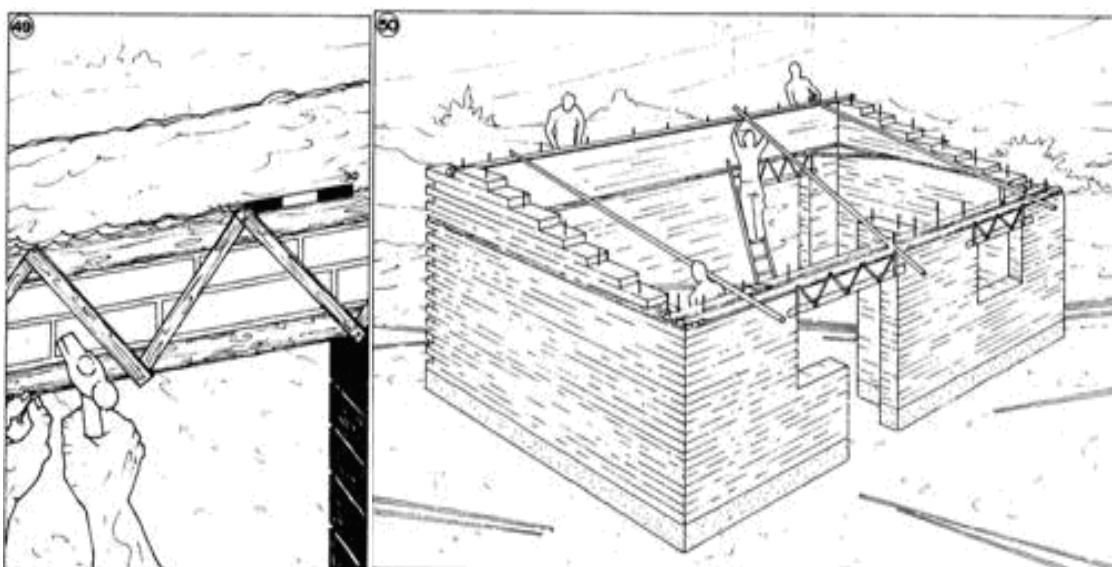
Rellenar con barro entre las vigas

Figura 4-18 Guía para la Construcción de la Viga Collar de Madera.

Además de la viga collar, el uso de conectores de madera tipo tijeral entre el dintel y la viga collar demostraron ser efectivos en los ensayos realizados en la PUCP, Peru (Blondet, 2002). El comportamiento de una edificación de adobe no reforzada y de un modelo con refuerzo horizontal y vertical de caña, viga collar y conectores tipo armadura se ilustra a continuación.



Figura 4-19 Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe sin Refuerzo (Izquierda) y de un Módulo de Adobe con Refuerzo Interior de Caña y Viga Collar (Derecha)



Clavar tiras de madera entre los dinteles y la solera cada 50 cm aproximadamente

Completar los muros altos y colocar el tronco de cumbrera y vigas de 10 cm cada 80 cm

Figura 4-20 Guía para la Construcción de los Conectores de Madera y la Viga Collar.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Las técnicas de construcción con adobe presentan una serie de ventajas frente a otro tipo de construcciones.

1) A nivel ecológico podemos distinguir las siguientes:

- No presentan residuos ni contaminación llamativa.
- Tanto el material terminado como la materia prima es altamente reciclable.
- El suelo adecuado para la construcción está al alcance de la mano en muchas zonas del mundo, lo cual mantiene en niveles bajos los impactos que puede provocar el transporte.
- Al implicar poca maquinaria esto también ayuda a que no exista contaminación producto de la industrialización ni la mecanización.

2) A nivel técnico podemos decir lo siguiente:

- La utilización del adobe implica el uso de poca maquinaria, lo cual resulta ventajoso en zonas poco desarrolladas.
- Los implementos de construcción son muy simples y de fácil obtención.
- La tecnología constructiva es accesible a la mayoría de la población, siempre y cuando aprendan a respetar las exigencias tecnológicas que presenta el material, que son muy sencillas pero son las que garantizan la durabilidad de la edificación.
- Se puede emplear para cualquier tipo de ubicación, tanto urbana como semi-rural o rural.

3) Por último, a nivel económico podemos afirmar lo siguiente:

- Al igual que el material, la tecnología constructiva del adobe resulta más económica que la mayoría de las tecnologías de construcción tradicionales.
- El transporte es prácticamente nulo debido a que la materia prima, la tierra, se obtiene en el mismo lugar donde se decide construir.
- Tanto el adobe como el resto de estas técnicas tradicionales implican poca maquinaria y mucha mano de obra, combinación que funciona bien en

países en vías de desarrollo donde existen pocos puestos de trabajo y escasea el capital.

- Los implementos de construcción son muy simples, por lo cual resultan muy baratos y de fácil obtención.
- Se ha realizado una comparación entre el costo del uso del adobe como material de construcción para muros con respecto al costo del uso del bloque de hormigón y el ladrillo cocido en la misma edificación. Esta comparación económica se ha realizado teniendo en cuenta sólo el precio de los materiales.

5.1.1. SIGNOS Y FUENTES DE DETERIORO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ADOBE

Entre otros:

Daño estructural originado por fundaciones insuficientes, mala calidad del material o efectos de fuerzas externas como viento, agua o movimientos sísmicos.

Problemas de humedad originados por exceso de humedad o lluvia o de agua en el subsuelo debido a causas naturales o a drenajes inapropiados.

Agrietamiento originado por incompatibilidades entre la variación de dilatación / contracción del friso existente con relación al de la pared de barro que recubre.

5.2. RECOMENDACIONES

Más específicamente refiriéndose a la humedad como la más frecuente y más agresiva causa de deterioro en las edificaciones de adobe se pueden formular varias recomendaciones:

Verificar y restringirla proximidad indeseable de **vegetación** a la construcción de adobe, dado que las raíces pueden penetrar la construcción conduciendo un exceso de humedad al interior de la misma.

Verificar el **drenaje del pavimento** inmediato a la construcción de adobe velando porque el mismo ofrezca pendientes adecuadas para evitar el emposamiento de aguas al pie de sus muros.

Considerar la posibilidad de crear **canales de drenaje** que contribuyan a aliviar la carga excesiva de agua sobre la edificación.

Reforzar frisos y revestimientos originales aplicando **películas protectoras** higroscópicas y/o impermeabilizantes.

Combatir **erosión del viento** en la parte superior de las paredes o incorporando en casos extremos una **cortina de vegetación** como rompevientos.

Combatir la penetración de **plagas, insectos y de roedores o aves** que contribuyan a acelerar el proceso de deterioro de la edificación.

Combatir el crecimiento de **vegetación parásita** que se aloje en los intersticios de los muros de la edificación.

5.1. RAZONES PARA LA DISMINUCION DE IMPORTANCIA EN EL USO DEL BARRO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION.

Existen un número de razones para la pérdida de popularización de las edificaciones de tecnología de barro en recientes décadas.

Entre ellas:

- Exigencias de mano de obra intensiva.
- Imagen de las obras de barro asociada en nuestras latitudes (por desinformación) con "pobreza". Irónicamente, en otras sociedades tecnológicamente más actualizadas y efluentes se le considera actualmente como símbolo de "status".
- Exigencias normativas de ordenanzas de construcción.
- Exigencias de mantenimiento cíclico.
- Imagen publicitaria. Las construcciones convencionales basadas en tecnologías más comercializables conllevan un ejército de publicistas:

escritores, constructores, propietarios de empresas de fabricación de materiales de fontanería, herrería, carpintería, transportistas y muchos más. Los constructores de estructuras de barro evidencian un muy bajo perfil publicitario.

Pero estas condiciones muestran signos de estar cambiando a la luz de recientes avances en el campo de la preservación de edificaciones y de los continuos adelantos en materia de recursos y de tecnología de construcción.

5.4. EJEMPLOS DE USO DE TECNOLOGIA DEL BARRO EN LATINOAMÉRICA

Sólo a modo de ilustración superficial, debido a la extensa gama de aplicaciones efectuadas en tiempos modernos en países latinoamericanos, mencionaremos:

- En Colombia

Desde hace al menos cuarenta años se utiliza en Colombia la tecnología de tierra apisonada conocida como CINVA-RAM en la construcción de edificaciones de bajo costo de uso popular. Este conocimiento tecnológico ha sido largamente divulgado por institutos de investigación a través de diversos tipos de publicaciones.

En la actualidad es importante destacar la existencia de un Subprograma para la Sistematización del Uso de la Tierra en Vivienda de Interés Social, Habiterra del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo que promueve entre otras actividades cursos de divulgación sobre la tecnología de uso de la tierra en construcción.

- En Costa Rica

El Museo de Cultura popular ha realizado cursos sobre la construcción utilizando bahareque.

- En la región sur de Honduras.

En la actualidad, nuevas escuelas de adobe han sido completadas en el sur de Honduras bajo auspicios del programa dirigido por el Departamento de Educación Hondureño con asistencia del US / AID vía seminarios educativos, maquinarias y gerencia. El programa, iniciado a comienzos de los 90 se basó en la gran diferencia de costos de construcción a favor del adobe (un 60 % menor que otras tecnologías de bloques). Los maestros han reportado en el uso inicial de estas nuevas instalaciones condiciones interiores más frescas durante épocas de calor riguroso, mejor cálida de sonido y mejor comportamiento de clases en comparación con otras escuelas existentes basadas en bloques de concreto.

Uno de los aportes claves a este proyecto fue la participación comunitaria de la población hondureña local en la construcción de las escuelas. Otro hito de importancia lo constituyó la adquisición del diseño y construcción de una maquinaria de bajo costo para la compresión de los bloques de adobe utilizados en el proyecto. Esto contribuyó a acelerar notablemente la producción de los bloques constructivos requeridos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Construcción con tierra para la vivienda en Cuba: Material didáctico para la formación de capacitadores. - Cuba: Editado por Hábitat - Cuba, sociedad para la vivienda y el urbanismo y por CRATERRE, school of Architecture of Grenoble, 1996.
- Otazzi Gianfranco, "Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillo y bloques de suelo-cemento" RED HABITERRA, Bolivia ,, 1995
- Gernot Minke, "Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra", Alemania, Noviembre, 2001

REFERENCIAS INTERNET

- CUANDO LA TIERRA SE MUEVE
http://www.getty.edu/gci/conservation/11_1sp/news_in_conservation/News1_1.html
- PRESERVACION DEL ADOBE
http://www.getty.edu/gci/conservation/10_3sp/feature2/feature2_4.html
- CONSTRUIRSE UNA CASA DE ADOBE EN PERU
<http://www.crdi.ca/books/reports/1996/38-01s.html>
- ADOBE PARA HACER CASAS (Tecnología Moderna)
<http://www.epsea.org/esp/adobe.html>
- TIERRA COMPRIMIDA ("Rammed earth")
<http://www.hahaha.com.au/rammed.earth/links.htm>
- LAS CASAS DE BARRO
<http://www.portal-uralde.com/adobe.htm> - 9k -
- LA CONSTRUCCION DE LA CASA DE TAPIAL
<http://webs.ono.com/Grullarios/vivienda.htm> - 28k
- PATRIMONIO ARQUITECTONICO DE BARRO
<http://www.arauzodemiel.org/textoadobe.htm> - 7k
- CARACTERISTICAS SISMICAS
<http://www.construcción.org.pe>

ANEXO A

A. APLICACIÓN TECNOLÓGICA DEL ADOBE ESTABILIZADO

A.1. INTRODUCCIÓN⁸⁰

A lo largo de la historia el adobe ha sido, y sigue siendo, uno de los principales materiales de construcción utilizados en nuestro planeta. Los primeros en darle un uso planificado fueron los egipcios, quienes lo usaban comúnmente en la construcción de sus edificaciones tanto religiosas como sociales.

Con el transcurrir del tiempo se fueron descubriendo nuevos materiales con mejores propiedades, más resistentes, duraderos y laborables, que poco a poco fueron sustituyendo al adobe. Sólo en algunos lugares donde las personas no han tenido acceso a estos nuevos materiales, ya sea por su ubicación geográfica, escasez, tradición cultural o baja economía, se continuó usando el adobe, y gracias a esto ha llegado hasta nuestros días.

A.2 EL ADOBE: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS⁸¹

Como es sabido, el adobe no es más que una mezcla a base de suelo con un contenido balanceado de materiales finos (fundamentalmente arcilla) y de materiales gruesos (fundamentalmente arena), así como material orgánico y agua, siendo secados preferentemente a la sombra. A este adobe lo llamamos adobe simple. Si además le añadimos un material estabilizante para hacerlo más resistente a la humedad, entonces lo llamamos adobe estabilizado.

Una de las variables que más influye en las propiedades del adobe es la relación arcilla/arena. Si no hay suficiente arcilla la mezcla del suelo con el resto de los componentes, incluyendo el agua, no será suficientemente fuerte como para lograr la consistencia necesaria que debe presentar el adobe para soportar las

⁸⁰ CRATERRE, school of Architecture of Grenoble/1996/Construcción con tierra para la vivienda en Cuba/Editado por Hábitat/Pág 1 y 2

⁸¹ CRATERRE, school of Architecture of Grenoble/1996/Construcción con tierra para la vivienda en Cuba/Editado por Hábitat/Pág 1 y 2

acciones a las que estará sometido. Si por el contrario no hay suficiente arena, el ladrillo se fisura por retracción durante el proceso de secado. Se ha comprobado durante la investigación realizada que la arena aumentaba la resistencia del adobe. La arcilla, actúa como aglomerante manteniendo unida la masa, mientras que la arena sirve de esqueleto interno de la masa, además de ser la que le da resistencia, la dureza al adobe. Es por esto que la combinación óptima entre ambos constituyentes influye en un mejor comportamiento del adobe como material. El material orgánico tiene como función limitar las variaciones que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado, es decir, evitar que el ladrillo se fisure durante esta etapa. Además, el material orgánico le concede ligereza a la pieza, lo cual resulta muy ventajoso para su manipulación, ya que debido a su gran tamaño estos ladrillos suelen ser muy pesados.

Otras funciones de las fibras son facilitar la aceleración del secado a través de un drenaje de la humedad hacia el exterior por los canales de la fibra, aumentar la resistencia a la tracción (éste es uno de los principales objetivos con que se utiliza la fibra) además de aumentar la resistencia a compresión.

La mayoría de las fibras orgánicas cuentan con una desventaja, y es que deben ser picadas en trozos pequeños para poder ser mezcladas en la masa de adobe. La longitud de estos trozos debe ser aproximadamente de 5 cm.

En el desarrollo de esta investigación se han definido dos tipos de suelos apropiados para la elaboración de los adobes, que hemos dado en llamar Tipo I y Tipo II.

El **Suelo Tipo I** debe contener entre un 15 y un 40 % de arcilla y entre un 50 y un 70 % de arena.

El **Suelo Tipo II** puede contener limo, pero siempre y cuando el contenido de arcilla más limo esté comprendido entre el 25 y el 40 % (siendo el porcentaje de arcilla mayor del 10 %) y arena entre el 60 y el 70 %.

Podemos decir que lo más importante es que se cumpla el porcentaje de finos, no importando tanto que no se cumpla el de gruesos, pues éstos pueden añadirse posteriormente, lo que permite que el margen de suelos que se pueden utilizar para la elaboración de adobes sea más amplio. En los suelos donde es necesario adicionar arena se considera ésta, como un componente más.

El suelo o tierra apropiada para la fabricación de adobe debe encontrarse en el mismo lugar donde se va a construir tanto el taller para elaborar los ladrillos de adobe como la propia edificación. En esto se basa fundamentalmente su bajo costo.

Para comprobar si el suelo sirve o no para la elaboración de adobes, se utilizan dos métodos: el método de campo y el método de laboratorio.

➤ Al Método de Campo se le denomina así porque se realiza en el terreno y consiste en un grupo de ensayos de campo que arrojan como resultado si el suelo sirve o no. De estos ensayos el más rápido, sencillo y óptimo es el de las bolitas. Este experimento se realiza con cinco bolitas de barro, las cuales se hacen y se ponen a secar al sol.

Posteriormente, cuando las bolitas están ya secas se tratan de romper con los dedos comprimiéndolas. Si se rompen es que el suelo no sirve para el adobe. Si por el contrario las bolitas no se rompen significa que el porcentaje de arcilla que contiene ese suelo es suficiente para la elaboración de estos ladrillos.

➤ El Método de Laboratorio consiste en un análisis más profundo del suelo mediante los ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico, hidrómetro, goteo, absorción capilar y compresión, siguiendo las normativas vigentes en el país.

A.3. EL ADOBE ESTABILIZADO⁸²

En el caso del adobe estabilizado el material estabilizador disminuye el problema técnico fundamental que presenta el adobe simple, esto es, su baja resistencia a la humedad. Estabilizar el suelo es modificar las propiedades de un sistema tierra-agua-aire para que se obtengan propiedades que le hagan compatible con su aplicación. En la estabilización intervienen numerosos parámetros, por lo que es necesario tener un conocimiento de factores tales como las propiedades del suelo que se quiere estabilizar, las propiedades que se requieren, la economía del proyecto, las técnicas para utilizar el suelo seleccionado en el proyecto así como el sistema constructivo y el costo de conservación.

Durante la investigación llevada a cabo se ha estudiado la materia prima de la zona, así como un grupo de posibles estabilizadores a utilizar. Los estabilizadores seleccionados fueron: Cal, Miel de caña, Asfalto RC-2, Asfalto AVE-200 y la combinación Cal-Miel de caña.

Para la elaboración del adobe estabilizado se partió de un adobe simple con tres relaciones diferentes de suelo/material orgánico. Estas relaciones fueron de 4, 2 y 1, respectivamente.

En el proceso de preparación de los ensayos a ejecutar se realizó, como es lógico, un diseño experimental para organizar el trabajo a cometer, teniendo en cuenta las mismas dosificaciones iniciales anteriores. Se han estudiado 9 dosificaciones para cada uno de los cinco estabilizadores considerados, estudiando un total de 45 composiciones distintas.

En la tabla 1 se pueden apreciar los porcentajes utilizados para cada relación suelo/materia orgánica.

⁸² CRATERRE, school of Architecture of Grenoble/1996/Construcción con tierra para la vivienda en Cuba/Editado por Hábitat/Pág 4,5 y 6

Tabla 1.- Estabilizadores y proporciones utilizadas

Relación Suelo/Materia. Orgánica.	Asfalto AVE 200 ; RC-2	Miel	Cal	Miel y Cal
4	2%	3%	5%	3%-2%
4	4%	5%	8%	5%-2%
4	6%	7%	12%	7%-2%
2	2%	3%	5%	3%-2%
2	4%	5%	8%	5%-2%
2	6%	7%	12%	7%-2%
1	2%	3%	5%	3%-2%
1	4%	5%	8%	5%-2%
1	6%	7%	12%	7%-2%

Se realizó un análisis comparativo entre los resultados de las mejores dosificaciones de cada estabilizador y el adobe simple, tomando los valores resistentes a los 45 días.

Al realizar esta comprobación de los dos materiales (adobe simple y estabilizado) elaborados con el mismo suelo, se pudo comprobar de forma muy clara, que el adobe simple cumple bien con los requisitos de resistencia a compresión para estos materiales, pero su resistencia al goteo es mala y ante la absorción su comportamiento está en el límite permitido para este material.

En el caso del adobe estabilizado su resistencia a compresión era adecuada en todos los tipos de probetas ensayadas, excepto las de cal. La mayoría estaba casi igual o por encima del adobe simple y las que estaban por debajo de éste, seguían cumpliendo con los requisitos técnicos mínimos establecidos para el adobe.

La absorción capilar y la humedad eran mucho más bajas que en el adobe simple, excepto en las probetas con cal. Las probetas con asfalto y sobre todo las de AVE 200, presentaron un comportamiento excelente al respecto, sobre todo ante el ensayo del goteo donde no se apreció ningún tipo de huella transcurridas 24 horas.

Por todo lo anterior se concluyó que, en nuestro caso, con las condiciones y materiales empleados el adobe estabilizado presentaba mejor comportamiento que el simple, resultando muy ventajosa la estabilización.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el proceso de investigación, se seleccionó el estabilizador de mejor comportamiento y la dosificación más apropiada para elaborar adobes a partir de las materias primas estudiadas. Se pudo comprobar que la mejor dosificación de las estudiadas fue la de 2% de asfalto AVE 200 con una relación suelo/materia orgánica de 4.

En la foto 1 se pueden observar los adobes elaborados para la construcción durante su proceso de secado en el taller.



Foto 1.- Secado de adobes

A.4 TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA⁸³

Entendemos por tecnología el conocimiento de las técnicas que nos ayudan a producir un bien. Las técnicas para hacer cimientos, adobes, techos, todas juntas nos dan la tecnología para poder construir una casa. Tecnología significa saber cómo hacer.

⁸³ CRATERRE, school of Architecture of Grenoble/1996/Construcción con tierra para la vivienda en Cuba/Editado por Hábitat/Pág 6, 7, 8 y 9

Ninguna tecnología resulta o no apropiada, sino que puede llegar a serlo luego de haberse aplicado.

Una tecnología puede llamarse apropiada sólo si después de ser utilizada, otras personas la emplean con resultados satisfactorios. Al mismo tiempo, puede que lo que sea apropiado para un determinado lugar no lo sea para otro.

Una tecnología resulta más apropiada cuanto mejor uso de los recursos locales que estén disponibles, esté al alcance económico de la mayoría, no contamine el medio ambiente, responda al clima de la zona y favorezca el desarrollo de nuevas ideas que puedan ser aplicadas en un futuro.

Los pasos recomendados de acuerdo a la tecnología constructiva que proponemos para la construcción de una vivienda de adobe, y los que se han seguido para la construcción de la escuela infantil en Cuba, son los siguientes:

- a. Ejecución del cimiento y sobrecimiento.
- b. Levantamiento de los muros.
- c. Ejecución del cerramiento.
- d. Colocación de cubierta.
- e. Revestimientos.
- f. Otras terminaciones.

a) La cimentación para las edificaciones de adobe debe ser en base a zapatas corridas. Esta zapata constará fundamentalmente de dos partes.

- En primer lugar se realiza lo que llamamos desbanque de la cimentación, que no es otra cosa que la excavación de una zanja a la cota de apoyo conveniente, pero unos 20 cm más ancha que los bloques de adobe utilizado.
- Posteriormente esta zanja la rellenamos con grava u hormigón ciclópeo, en función de las posibilidades del lugar.
- A continuación, y sobre esta zanja rellena de este material, se coloca el cimiento resistente, que puede ser de diferentes materiales, como bloques

de hormigón, ladrillo cocido, bloques de hormigón comprimido, también en función de las posibilidades del lugar.

- Las características de esta parte superior del cimiento son que debe ser resistente a la humedad y tener un ancho similar al de los bloques de adobe que constituirán los muros.
- La parte inferior y la posterior del cimiento deben estar unidas con mortero de cemento.

En el caso de la construcción de la escuela infantil en Santa Clara (Cuba), se han utilizado adobes de 20 cm de ancho, por lo que la excavación se ha dispuesto con 40 cm, y la parte superior del cimiento con bloques de hormigón de 20 cm.

En la foto 2 se presenta la cimentación de la escuela construida.



Foto 2.- Cimentación de la escuela

b) La construcción de los muros de adobe es una de las etapas más importantes en la construcción de una vivienda de este tipo. Los pasos a seguir para la ejecución de los muros los resumimos en los siguientes:

- En la parte inferior se colocan 40 cm de pared de cualquier otro material que no sea adobe y que sea resistente a la humedad, como por ejemplo bloque de hormigón, ladrillo de suelo-cemento, ladrillo cocido, etc. Esto se

hace para evitar que suba la humedad por capilaridad hasta las paredes de adobe y evitar que se salpique la pared de adobe cuando llueva.

- Estas primeras hiladas deben tener el mismo ancho que los adobes, que en nuestro caso son de 20cm.
- El mortero de unión entre la cimentación y estas primeras hiladas debe ser mortero de cemento.
- A continuación se realiza la unión de estas primeras hiladas con el adobe utilizando el mortero. Este mortero se prepara mezclando una parte de cal viva con tres partes de arena.
- Ahora ya se está en condiciones de comenzar a levantar las paredes de adobe, aconsejando no sobrepasar los a 1,20 m al día. Esto se debe a que el endurecimiento de la mezcla de unión es muy lento. Los muros de la vivienda de adobe deben levantarse de forma uniforme en todo el perímetro de la construcción, debido a que pueden producirse asentamientos en puntos aislados y esto puede provocar fisuras en los muros.
- Para obtener la dosificación idónea del mortero de unión entre las hiladas de adobe, se preparan 8 parejas de adobe con una relación arcilla/arena de 4,2; 4/3, 1; 4/5, 2/3; 4/7 y 1/2. Luego se dejan descansar las parejas 24 horas.
- A continuación se separan los adobes y la pareja donde el mortero tenga menos fisuras será la proporción a utilizar.

En la foto 3 se presenta un estado intermedio del levantamiento de los muros.



Foto 3.- Levantamiento de los muros de adobe

- c) **El cerramiento** es también una de las partes más importantes de una vivienda de adobe debido a que dicho cierre es el que garantiza la seguridad de la construcción. El cerramiento debe presentar un ancho similar al espesor del muro (20 cm en nuestro caso) y de 15 a 20 cm de altura.

El cerramiento de hormigón armado es el más recomendado por su rigidez en el plano horizontal, mejorando la conexión entre los muros y logrando un mejor comportamiento de la edificación. Será una viga continua de 15 cm de altura como mínimo, y ancho igual al del muro. La armadura longitudinal no será inferior a cuatro varillas de 10 mm de diámetro con un refuerzo transversal constituido por cercos de 6 mm de diámetro, espaciados a no más de 30 cm. La viga de hormigón armado deberá anclarse firmemente a los muros.

- d) **Para la cubierta** es especialmente importante especificar las pendientes de los techos y la longitud de los aleros de acuerdo con las condiciones climatológicas de cada lugar. En zonas lluviosas se recomienda que los aleros de los techos sobresalgan no menos de medio metro para proteger la parte superior de los muros de la lluvia.

El diseño de la cubierta para una vivienda de adobe debe ser ligera, tener pendiente grande para las rápidas evacuaciones del agua y aleros suficientemente largos para evitar que el agua llegue a las paredes, siendo conveniente disponer de portales grandes.

- e) **El revestimiento** es indispensable para limitar los efectos de la intemperie y evitar que la humedad afecte a la resistencia de las construcciones de adobe. Por esta razón deberá estudiarse la posibilidad de proteger los muros mediante enlucidos resistentes a la acción de la erosión y al intemperismo. Estos enlucidos pueden ser también de suelo estabilizado.

El revestimiento en el caso de la escuela construida en Santa Clara (Cuba) ha consistido en dos capas fundamentales: enlucido grueso y enlucido fino.

De manera general se recomienda para el revestimiento seguir el siguiente procedimiento:

- Preparación de la superficie para que quede rugosa. Esto garantiza que no se despegue el enlucido.
- Esperar al menos 4 semanas después de levantados los muros para aplicar los revestimientos, ya que es necesario que se produzca el asentamiento de la estructura para que estos movimientos no ocasionen grietas en las terminaciones.
- Se debe mojar el muro por ambas caras hasta que sea visible que ha absorbido el agua hasta el centro del mismo, enluciendo ambas caras al mismo tiempo. Si esto no se ejecuta de esta forma, la parte del muro que no se humedece absorbe el agua de la que ya se ha humedecido y ésta a su vez absorbe rápidamente el agua del mortero de revestimiento, por lo que el mismo se fisura y se desprende del muro.
- Aplicar la primera capa de enlucido, la cual debe tener entre 3 y 5 mm de espesor, usando la misma dosificación que se utiliza para hacer los ladrillos pero con cal apagada y sin fibra. El uso de la cal en la primera capa de los

exteriores, mejora considerablemente las propiedades de la mezcla como son la laborabilidad, la adherencia con el muro, la impermeabilidad y el aspecto estético.

- Al concluir la primera capa se debe pasar un cepillo de alambre sobre el mortero fresco o hacer con un pedazo de madera una especie de raspado para permitir la adherencia de la segunda capa y disminuir la fisuración de la primera, producto de la retracción del proceso de secado.
- Se debe esperar como mínimo 7 días entre la aplicación de una capa y otra, pues es necesario que la primera se fisure para que esto no se produzca en la segunda capa.
- Se aplica la segunda capa, que es un revestimiento con dosificación 1:3, es decir, 1 de cal viva (óxido de cal) y 3 de arena. Esta proporción se mezcla bien en seco y posteriormente se pone a remojar con una semana de antelación antes de aplicarla. La mezcla debe estar húmeda todo el tiempo, luego en las dos caras exteriores se le puede adicionar 1/8 de cemento como material estabilizador con el fin de proporcionarle mayor impermeabilidad y terminación al revestimiento de la pared. Si el porcentaje que se le adiciona es demasiado alto se puede fisurar todo el enlucido debido a que la pared no tiene por donde respirar, es decir, la pared no puede expulsar el agua que absorbe durante un día de lluvia. Esta segunda capa tiene el objetivo de darle estética y terminación al muro y debe tener un espesor entre 2 y 7 mm. A este enlucido fino se le debe dejar descansar varios días para su secado total, antes de comenzar a pintar las paredes.

f) Posterior al revestimiento se realizan **el resto de las actividades de terminación** en la vivienda, es decir, colocación de puertas y ventanas, terminación del baño, colocación del piso, terminación de la mesa de la cocina, pintura de paredes, carpintería y colocación de accesorios eléctricos.

Estas actividades se realizarán de igual modo que en cualquier otro tipo de vivienda, respetando siempre la calidad en la ejecución de las terminaciones.



Foto 4.- Escuela finalizada

ANEXO B

B. MUROS ANTISÍSMICOS DE TAPIAL (TIERRA APISONADA)

B.1. GENERALIDADES⁸⁴

La técnica del tapial consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón.

El encofrado está compuesto por dos tablonces paralelos separados, unidos por un travesaño, ver Fig. B-1. En francés esta técnica se denomina pisé de terre o terre pisé, en inglés **rammed earth**.

En comparación con técnicas en las que el barro se utiliza en un estado más húmedo, la técnica del tapial brinda una retracción mucho más baja y una mayor resistencia. La ventaja en relación a las técnicas de construcción con adobe, es que las construcciones de tapial son monolíticas y por lo tanto poseen una mayor estabilidad.

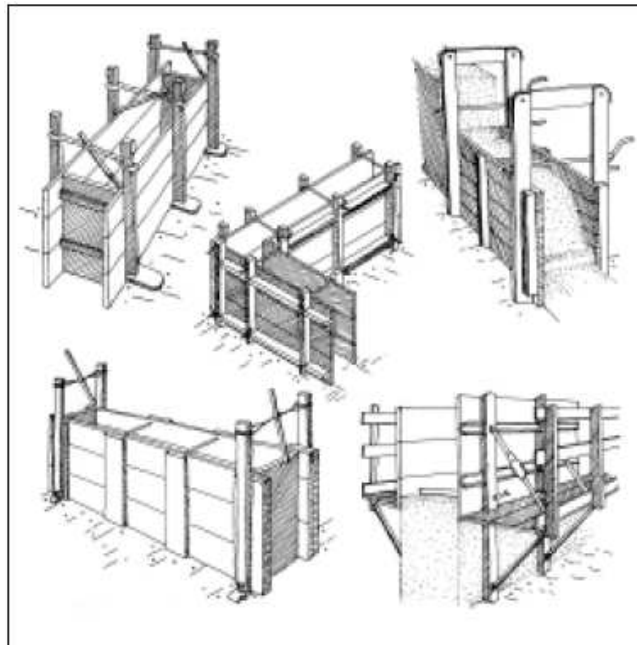


Figura B-1 Encofrados para tapial.

⁸⁴ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 14 y 15

En los encofrados tradicionales, los tablonos paralelos separados se unen por medio de travesaños (de un espesor considerable) que atraviesan el muro, ver Fig. B-1 estos al desmoldar el elemento dejan espacios vacíos que posteriormente deben ser rellenados. Para evitar un encofrado que requiera tener la altura de un piso y para evitar los travesaños se desarrolló en el Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales (FEB) de la Universidad de Kassel, un encofrado trepador, utilizando solo un travesaño de espesor mínimo en la base (4 x 6 mm), ver Fig. B-2.

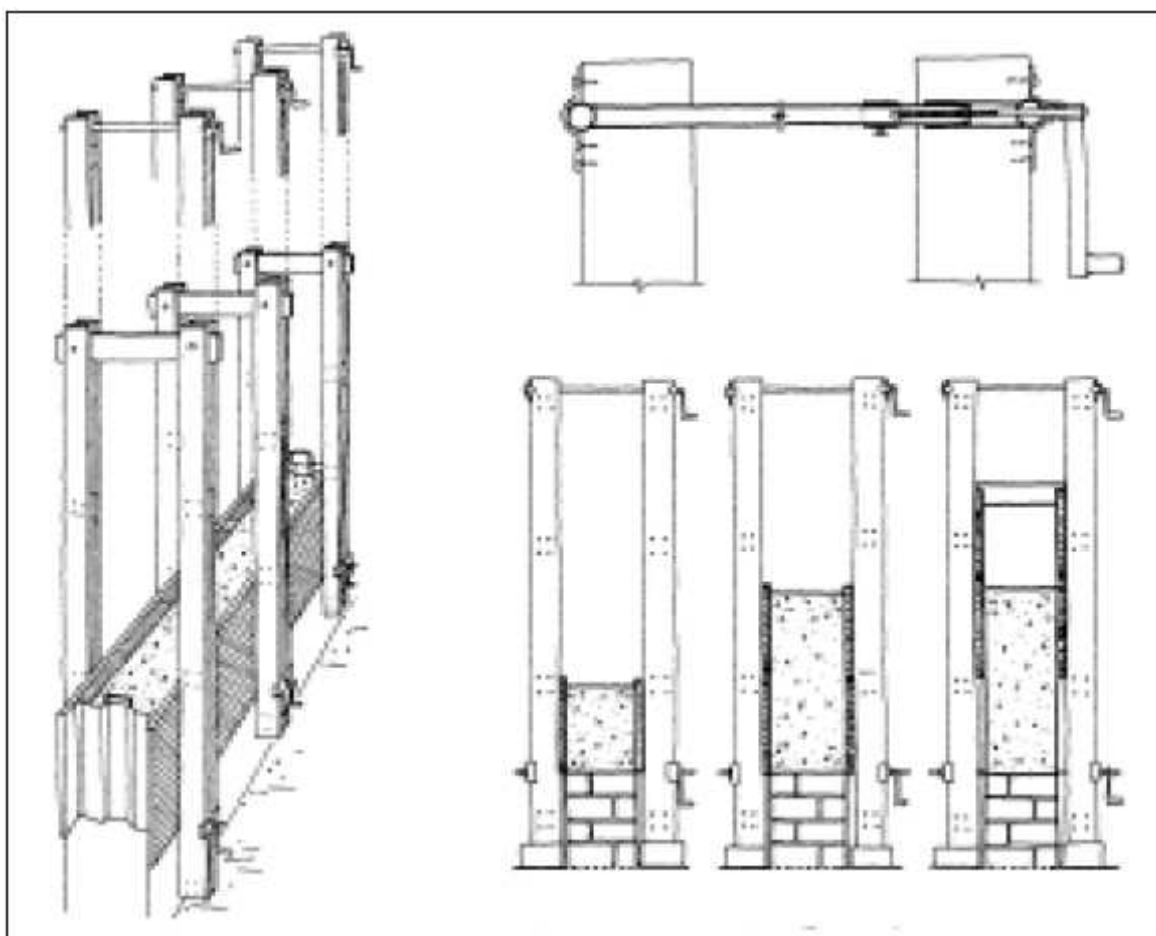


Figura B-2 Encofrado trepador para paneles de tapial.

Antiguamente el barro se compactaba con herramientas manuales utilizando pisones de base cónica, en forma de cuña o de base plana, ver Fig. B-3.

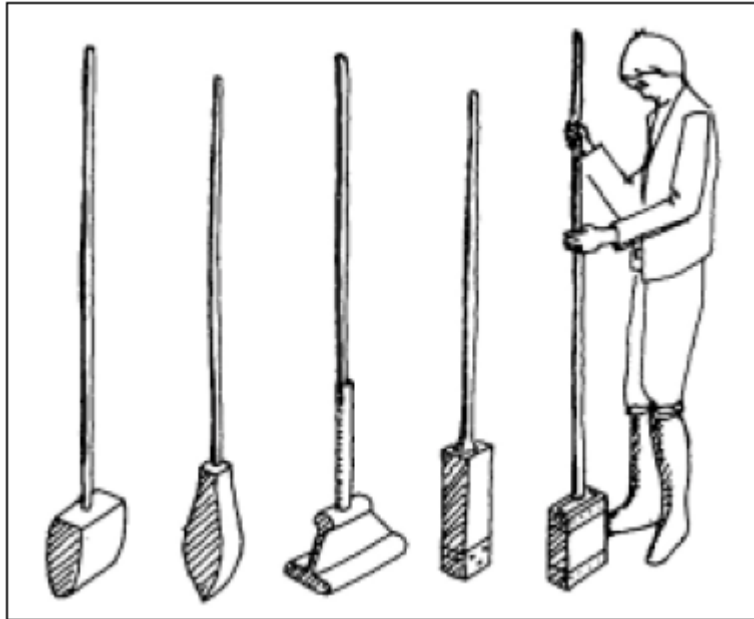


Figura B-3 Pisones utilizados para compactación manual.

Al utilizar pisones de base cónica y aquellos que tienen forma de cuña, las capas del barro se mezclan mejor y se obtiene una mayor cohesión si se provee a la mezcla una humedad suficiente.

No obstante el apisonado con este tipo de pisones requiere de un mayor tiempo que aquel ejecutado con pisones de base plana.

Los muros apisonados con pisones de base plana, muestran uniones laterales débiles y por ello deben recibir solamente cargas verticales.

Es preferible utilizar un pisón de dos cabezas con una cabeza redondeada en un lado y en el otro una cuadrada.

Esto permite que se pueda utilizar el pisón del lado cuadrado para compactar las esquinas con efectividad y del lado redondeado para el resto. Tales pisones son utilizados aún hoy en día en el Ecuador, ver Fig. B-4.



Figura B-4 Pisón de dos cabezas empleado en Ecuador.

A mediados del siglo XX se utilizaron en Alemania, Francia y Australia compactadores eléctricos y neumáticos.

En casi todas las técnicas tradicionales de barro apisonado, el encofrado se desmonta y se vuelve a montar horizontalmente paso a paso.

Esto significa que la tierra es apisonada en capas de 50 a 80 cm de altura, la capa superior de un muro de tapial siempre es más húmeda que la inferior parcialmente ya seca, por ello hay una retracción más alta en la capa superior. Lo que conlleva a la aparición de fisuras en la junta de las mismas.

Esto puede ser peligroso ya que el agua capilar puede filtrarse hacia estas juntas y quedarse allí, provocando humedecimiento y desintegración. Como se puede ver en la misma figura, también pueden aparecer fisuras verticales en estos muros. Para evitar las fisuras horizontales de retracción se deben ejecutar los muros verticalmente y para ello se puede emplear el encofrado trepador.

B.1.1. ESTABILIZACIÓN POR LA MASA⁸⁵

Cuando los impactos horizontales del sismo alcanzan el muro perpendicularmente este tiende a colapsar. Solamente los muros de gran espesor, tienen la capacidad de resistir estas cargas laterales sin requerir elementos de estabilización adicionales.

Se sabe de la existencia de residencias de dos plantas en Mendoza, Argentina, de más de 150 años de antigüedad que resistieron todos los sismos, mientras que varias construcciones modernas vecinas con muros de menor espesor colapsaron a pesar de que muchas fueron construidas con ladrillos y reforzadas con elementos de hormigón.

Hoy en día viviendas de este tipo ya no se construyen debido al tiempo de ejecución requerido para construir muros de 60 a 100 cm de espesor. Por ello, es necesario buscar nuevas soluciones.

B.1.2. ESTABILIZACIÓN POR LA FORMA⁸⁶

Debido a que los muros delgados son débiles a los impactos horizontales perpendiculares y ya que los refuerzos de hormigón armado son costosos, se propone una solución simple de estabilización mediante la forma angular, es decir

⁸⁵ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 15

⁸⁶ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 16, 17 y 18

elementos de muro en forma de L, T, U, X, Y o Z que solo por su forma proveen resistencia al volcamiento y al colapso.

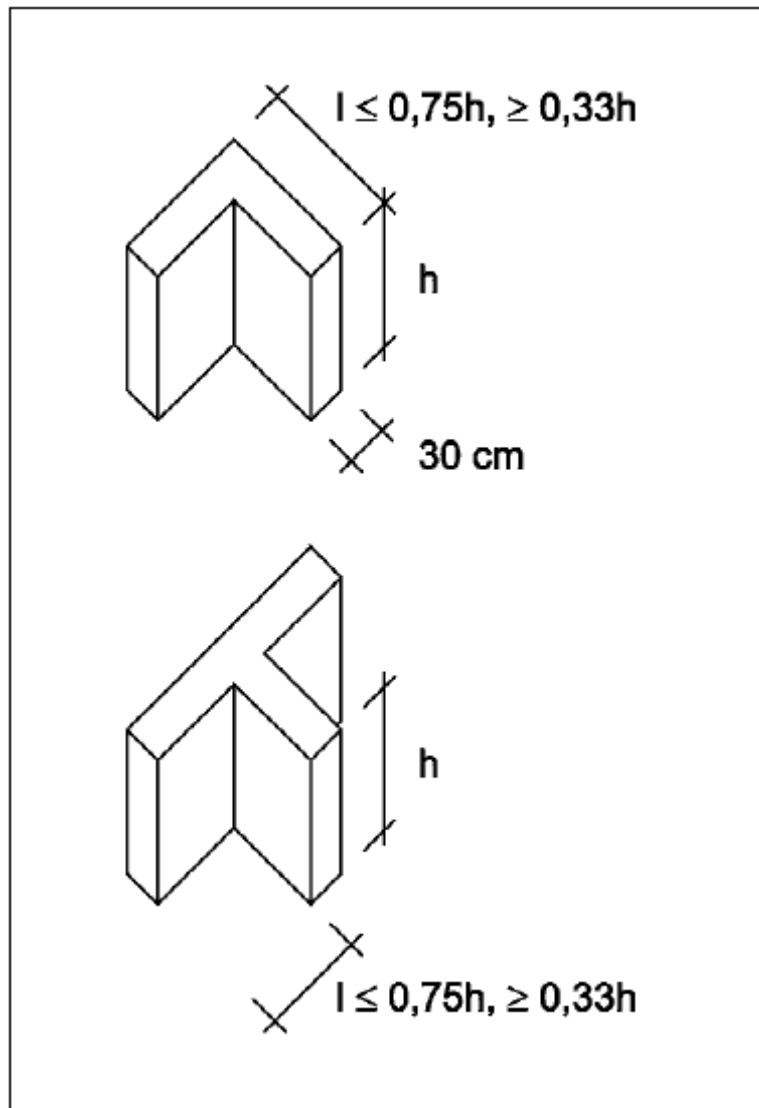


Figura B-5 Proporciones aconsejadas para el diseño de elementos.

Existe una regla para el diseño de los extremos libres de estos elementos. Si el muro tiene un espesor de 30 cm, el extremo debe ser de no más de 3/4 de la altura y no menos de 1/3 de la altura, ver Fig. B-5.

Esta longitud mínima es necesaria para transmitir las fuerzas diagonalmente a los cimientos.

Con longitudes mayores los extremos libres deben ser estabilizados, mediante otros angulares o columnas.

Cuando el muro está anclado abajo con el cemento y fijado arriba con el encadenado, es posible utilizar elementos de mayor altura o menor espesor. Sin embargo, la altura del muro no debe ser mayor a 8 veces el espesor (Fig. B-6).

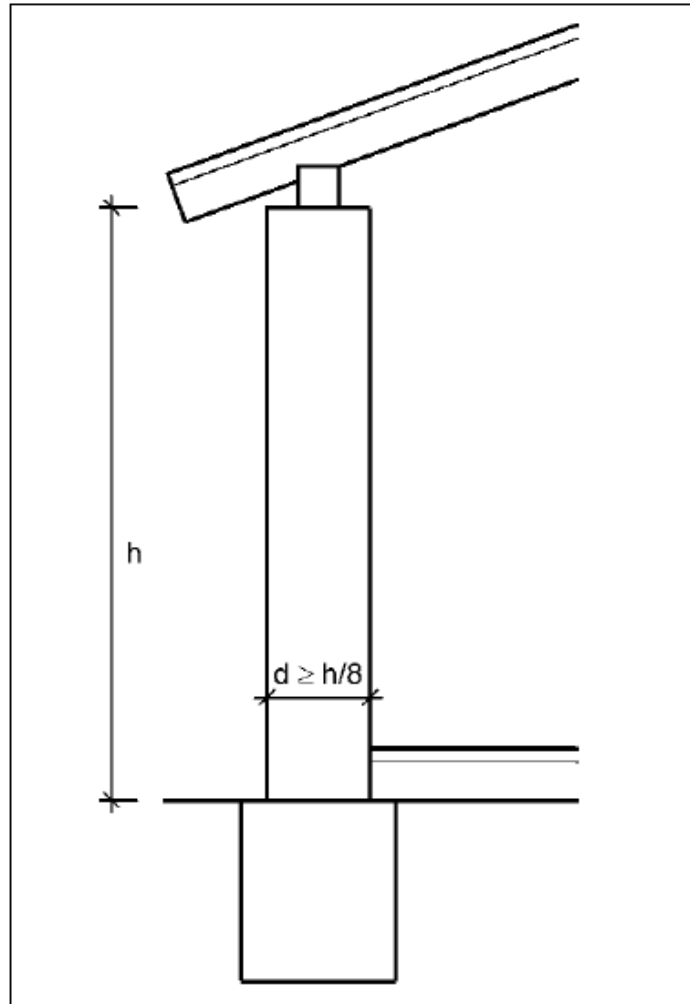


Figura B-6 Relación aconsejable para muros de tapial.

Las fuerzas perpendiculares al muro se transfieren a la sección del muro paralela a las mismas. Debido a que las fuerzas se concentran en la esquina del ángulo, este tiende a abrirse, por ello es recomendable diseñarlas con un espesor mayor a la del resto del elemento evitando el ángulo recto, como se puede ver en las figuras B-7 y B-8. Esta es una solución sencilla especialmente para la técnica del tapial.

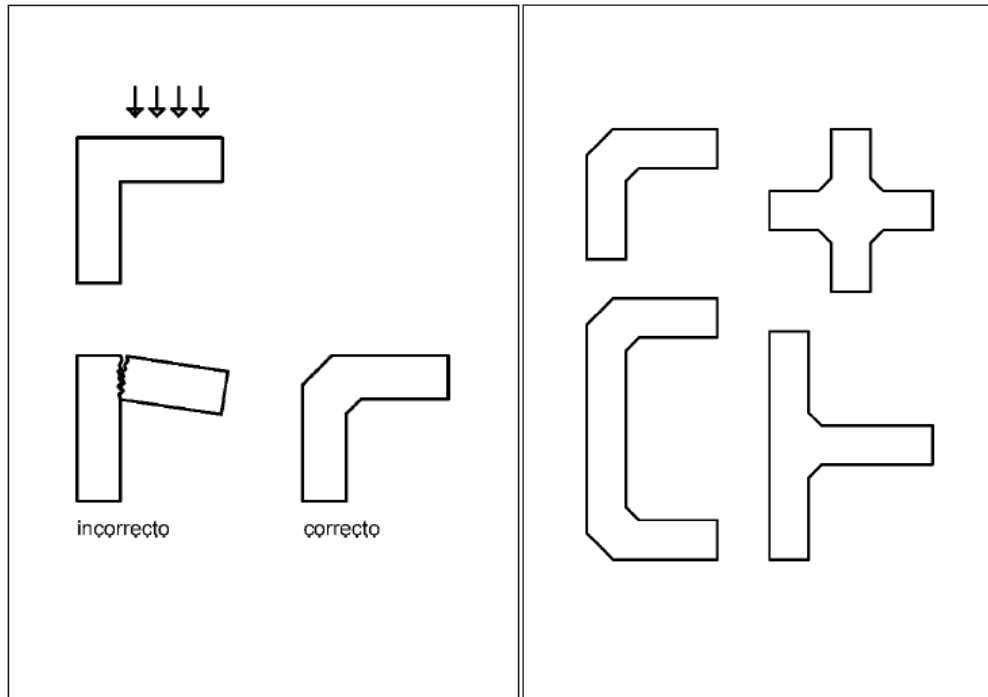


Figura B-7 Forma de un ángulo peligroso y de uno mejorado y Figura B-8 Diseño de esquinas de elementos de tapial.

La Fig. B-9 muestra distintas propuestas para plantas utilizando estos elementos angulares.

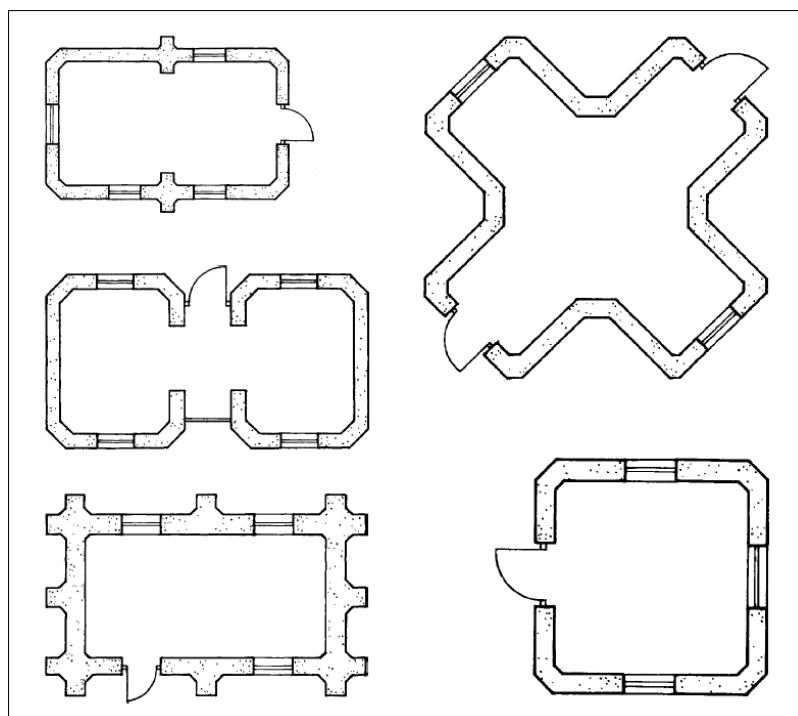


Figura B-9 Propuestas de plantas diseñadas con elementos angulares.

Para obtener una estabilización lateral, se recomienda que la junta de dos elementos de muro sea machihembrada como se puede ver en la Fig. B-10.

Para obtener una estructura más flexible se pueden emplear elementos de pequeña longitud y hacer una junta sin machihembrado si los elementos están anclados arriba y abajo, ver Fig. B-11.

Durante un movimiento sísmico esta unión puede abrirse sin colapsar debido a que cada elemento tiene un movimiento independiente.

Este es un sistema semiflexible que absorbe los choques del sismo.

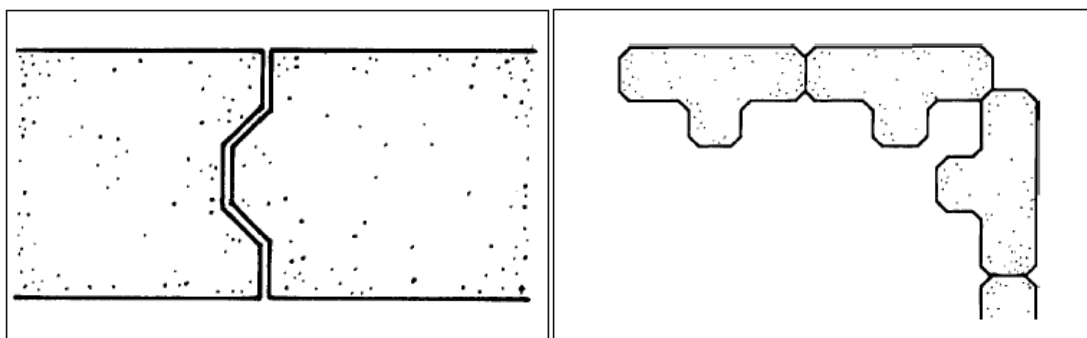


Figura B-10 Estabilización lateral mediante una unión machihembrada y Figura B-11.

B.1.3. REFUERZOS INTERNOS⁸⁷

Una solución para estabilizar muros de barro contra los impactos horizontales del sismo es utilizar elementos verticales de madera o bambú dentro del muro, anclados con el sobrecimiento y fijados al encadenado, ver Fig. B-12.

⁸⁷ Gernot Minke/Manual de Construcción para viviendas antisísmicas de Tierra/Noviembre 2001/
Pág. 19, 20 y 21

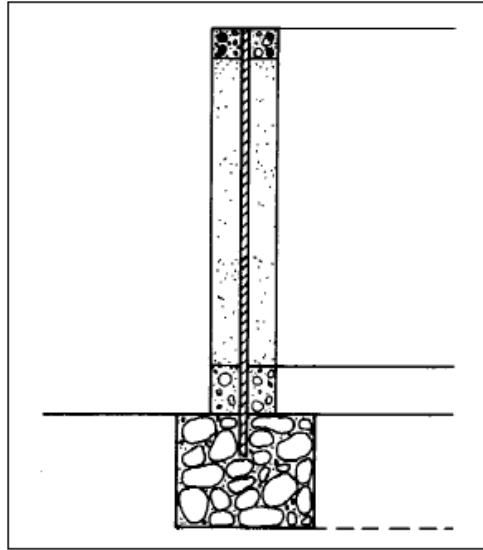


Figura B-12

Los elementos de refuerzo horizontal son poco efectivos e incluso pueden ser peligrosos, debido a que no se puede apisonar bien la tierra debajo de los mismos y ya que el elemento de refuerzo no tiene un anclaje con la tierra se debilita la sección en estos puntos y pueden aparecer quiebres horizontales durante el sismo.

Un sistema de paneles de tapial reforzados con bambú se desarrolló en 1978 como parte de un proyecto de investigación en el FEB, y se implementó exitosamente en Guatemala con la Universidad de Francisco Marroquín (UFM) y el Centro de Tecnología Apropriada (CEMAT), ver Fig. B-13.

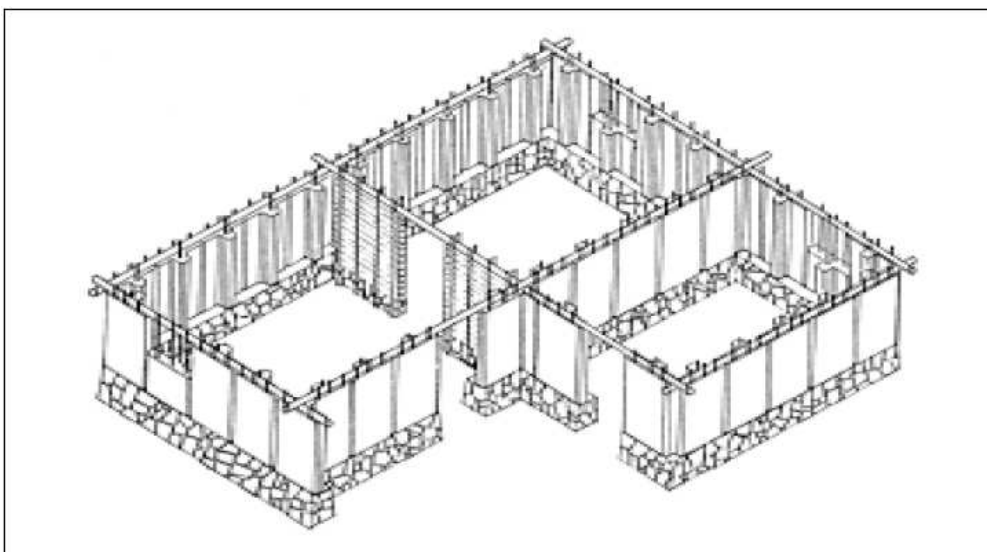


Figura B-13

En este proyecto se construyeron elementos de 80 cm de largo y de un piso de altura, de tapial reforzado con bambú utilizando un encofrado de metal en forma de T de 80 cm de largo, 40 cm de altura y 14 a 30 cm de espesor, ver Fig. B-14 y Fig. B-15.

La estabilidad de los elementos se obtuvo con 4 varillas de bambú de 2 a 3 cm de espesor y la sección T.

Estos elementos se fijaron en la base a un encadenado de bambú dentro de un zócalo de mampostería de piedra (hormigón ciclópeo) y en la parte superior a un encadenado de bambú rectangular.

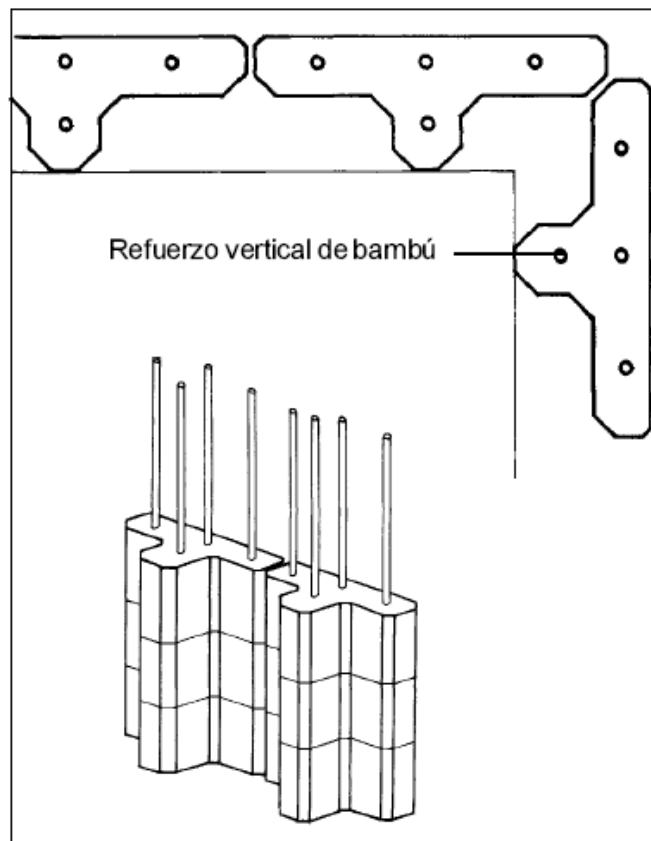


Figura B-14

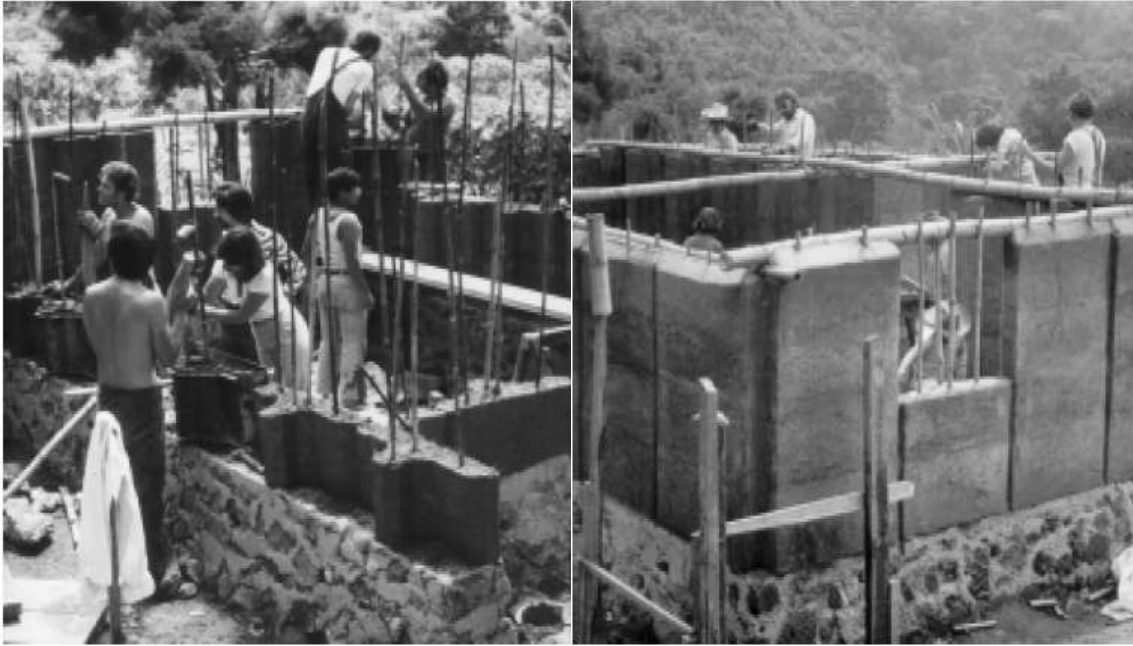


Figura B-15

Debido a la nervadura integrada al elemento, este tiene aproximadamente cuatro veces más resistencia a los impactos horizontales que un muro de 14 cm de espesor.

Luego del secado aparecieron grietas verticales de 2 cm de espesor entre los elementos, estas se rellenaron posteriormente con barro y actúan como juntas de fallo prediseñadas permitiendo un movimiento independiente a cada elemento durante el sismo. Esto significa que estas juntas pueden abrirse y que toda la estructura se deforma (disipando la energía cinética sísmica) sin que la unidad del muro se quiebre o colapse.

Las columnas sobre las que descansa la cubierta se ubicaron a 50 cm del muro hacia el interior, ver Fig. B-16 de manera tal que la estructura de la cubierta fuera independiente del sistema de muros.

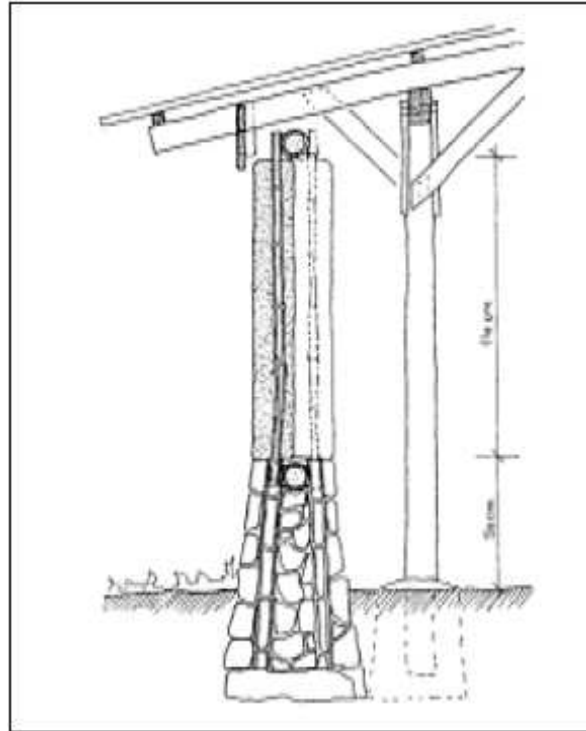


Figura B-16

En 1998 el FEB y científicos de la Universidad de Santiago de Chile elaboraron otro proyecto de investigación para una vivienda antisísmica de tapial reforzado. La vivienda se construyó en el 2001 y tiene 55 m² de superficie útil, ver Fig. B-17.

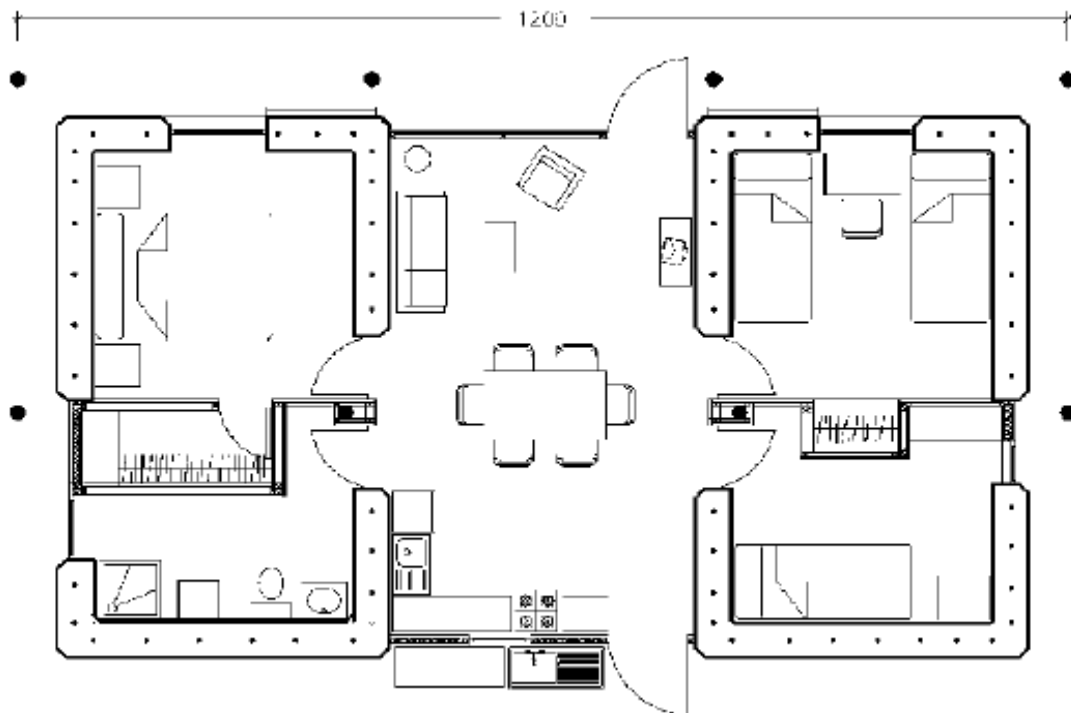


Figura B-17 Vivienda antisísmica de tapial reforzado en Alhué, Chile 2001.

El diseño está regido por la idea de separar la estructura de la cubierta de la de los muros.

- La cubierta descansa sobre columnas independientes de los muros macizos de tapial, haciendo que ambos elementos se muevan de acuerdo a su propia frecuencia en caso de un sismo.
- Los muros de tapial de 40 cm tienen forma de L y U. El ángulo recto que se forma en estos elementos se sustituye por un ángulo de 45 grados para rigidizar la esquina.
- El muro de tapial descansa sobre un sobrecimiento de hormigón ciclópeo de 50 cm de espesor.
- Los refuerzos verticales del tapial los constituyen cañas de coligüe (bambú chileno) de 2.5 a 5 cm de espesor, fijados al encadenado superior y anclados en el cimiento, ver Fig. B-18.
- El encadenado está constituido por dos rollizos de álamo en forma de escalera sobre los muros.
- Las ventanas y puertas son de piso a techo y no tienen segmentos de muro macizo sobre los vanos.
- Asimismo el tímpano de la fachada este y oeste se ejecutó con un tabique estructuralmente aislado para evitar el peligro de la caída de materiales macizos durante el sismo.

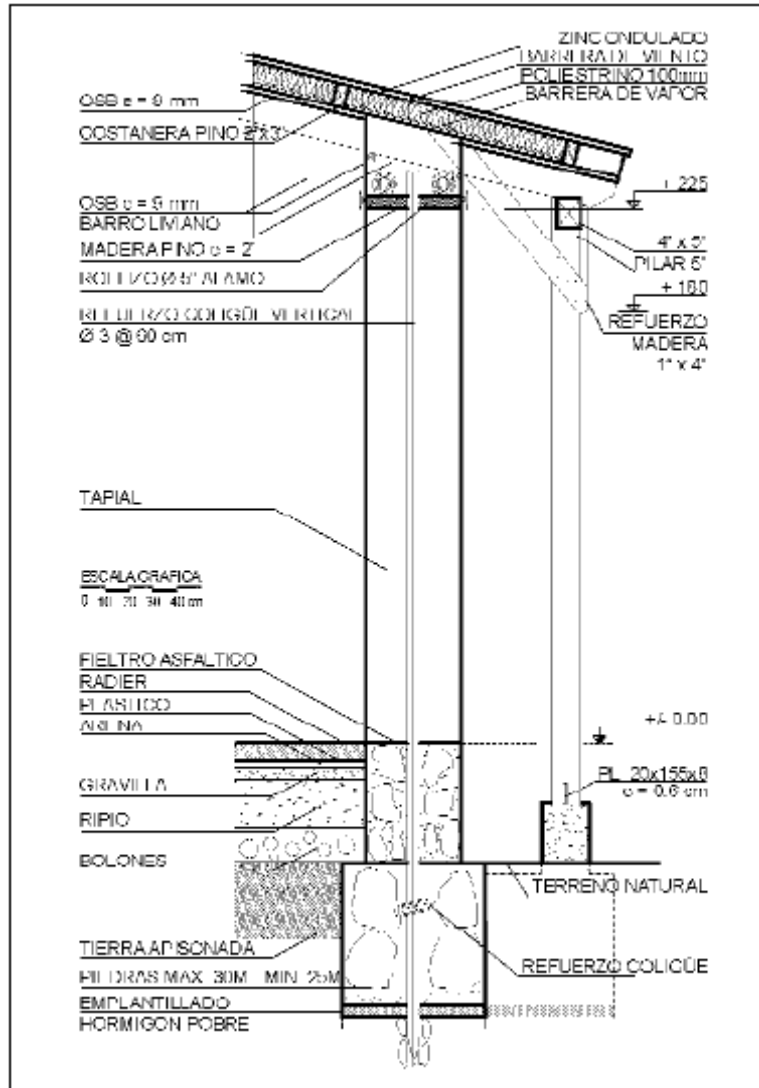


Figura B-18