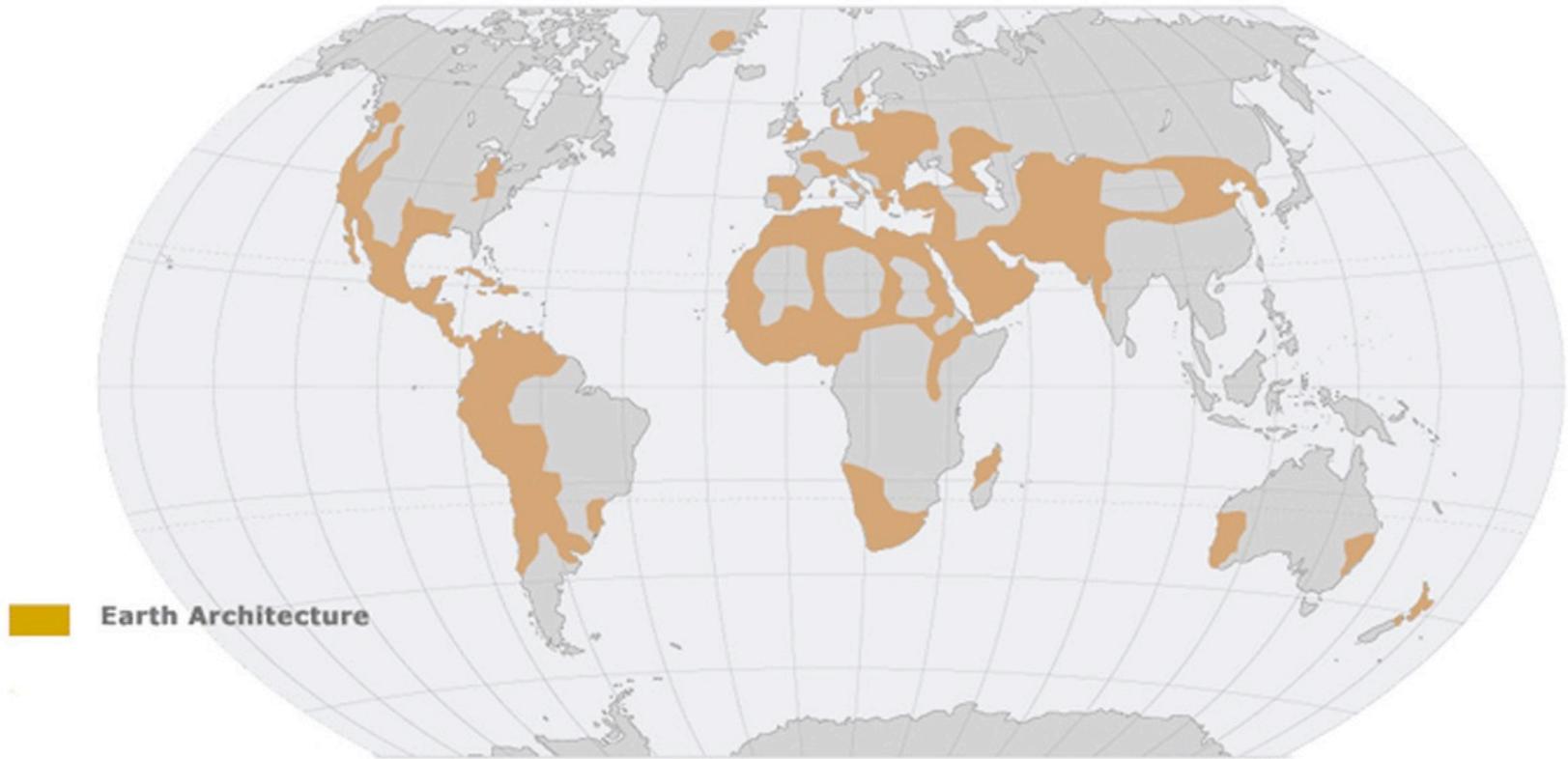




Tapial en suelo-cemento post tensado

Una innovación tecnológica
que apunta a la seguridad sísmica

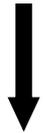
Expositores: Pablo Barros
Felipe Imhoff



Distribución Mundial de Arquitectura en tierra (De Sensi, 2003)

Conceptos...

ADOBE



Técnica constructiva

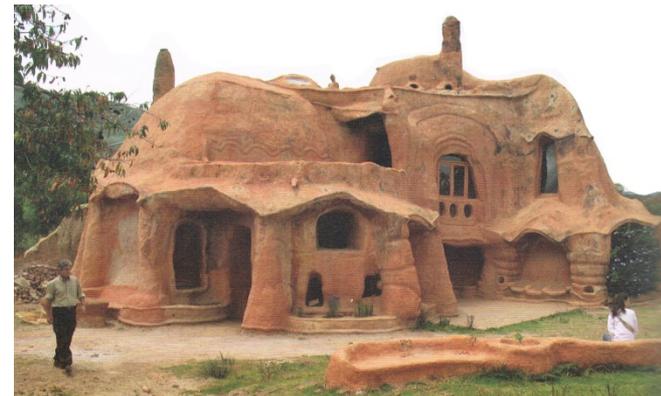


≠

**CONSTRUCCIÓN
CON TIERRA**



Material



≠

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

- **Adobe**
- **Quincha**
- **Tapial**
- **Balloon frame**



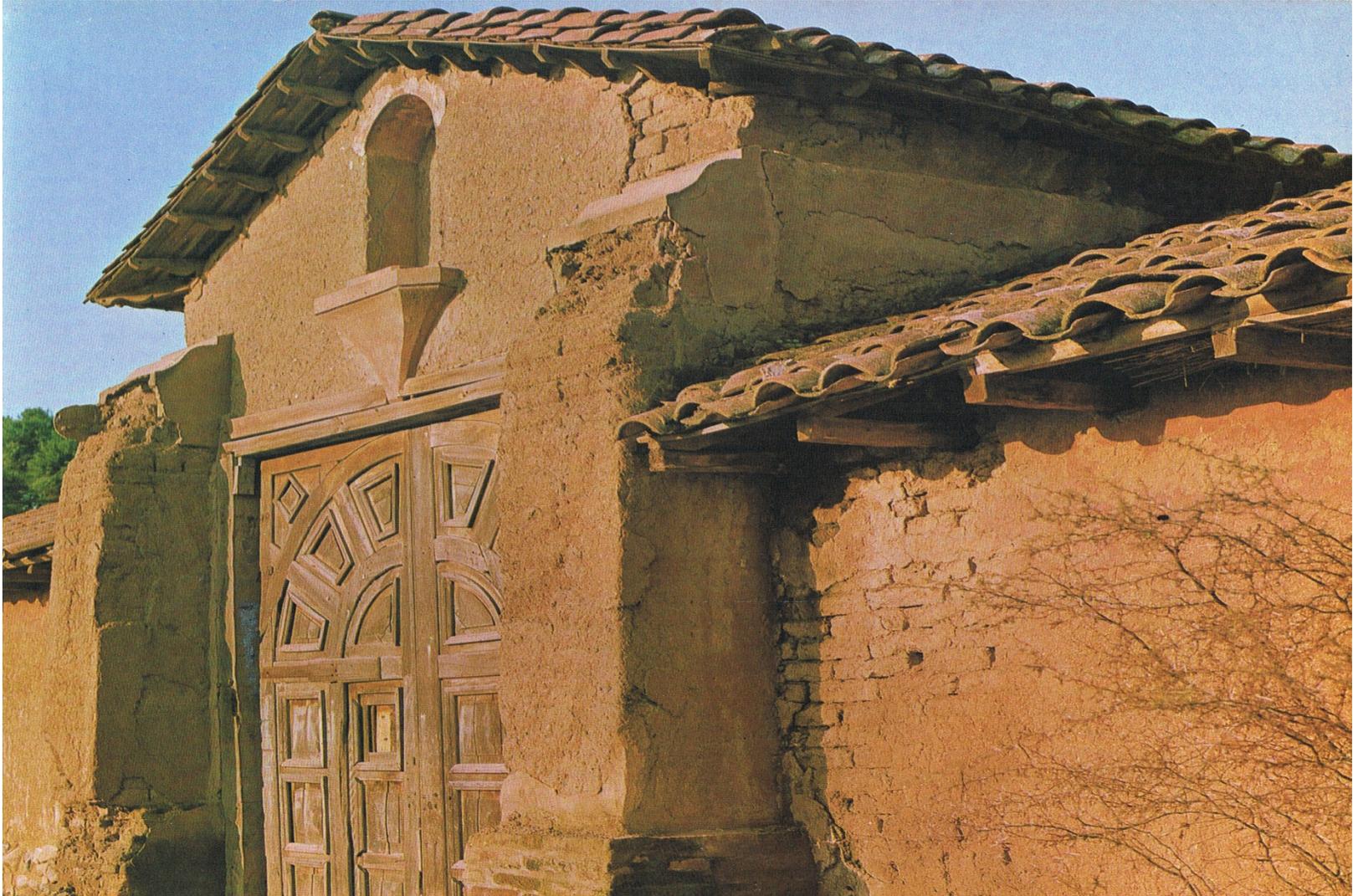
ADOBE

Proceso constructivo:

- Extraer la tierra del lugar
- Remojar la tierra
- Pisar y mezclar con paja
- Moldear los adobes
- Secado de los adobes
- Apilamiento
- Traslado a la obra para la fabricación del muro.



Construcción en adobe

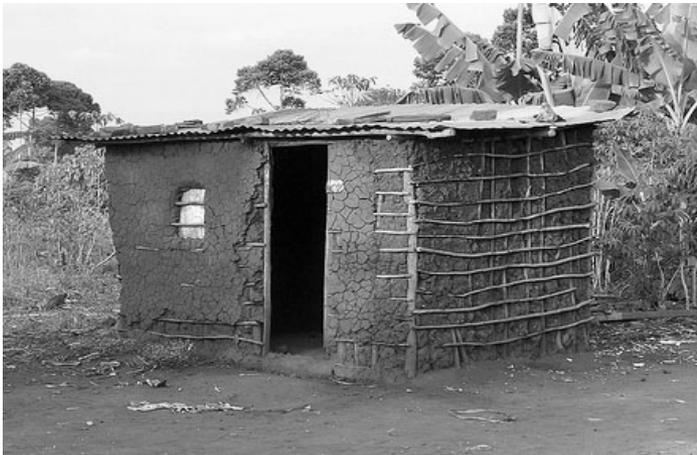


ADOBE

Tierra con entramado - quincha

Proceso constructivo:

- Realización de una estructura de pies derechos
- Empotrar a la cimentación o al suelo natural
- Fijar travesaños de menor sección
- Incorporar el tejido de varas, cañas, o bambúes
- Entramar el tejido longitudinalmente
- Revestir la estructura por ambas caras con barro



Tierra con entramado - quincha



Tierra apisonada - tapial

La técnica de la tapia consiste en rellenar un moldaje con capas de tierra húmeda de 10 a 15cm compactando cada una de ellas con un pisón, e ir de este modo formando las paredes de la construcción.

Proceso constructivo:

- Extraer el suelo o la tierra del lugar
- Humedecerla con muy poca agua
- Fijar los moldajes
- Compactar con pisones manuales o neumáticos
- Desmontar moldajes





Tierra apisonada - tapial



Balloon frame (relleno)

Proceso constructivo:

- Realización de una estructura de pies derechos (madera)
- Empotrar a la cimentación
- Clavar listones horizontales, generando un entramado
- Incorporar barro o adobe entre las maderas (relleno)
- Espera de secado
- Revestir la estructura por ambas caras



Balloon frame (relleno)



BALLOON-FRAME

Técnicas constructivas con tierra cruda...

Adobe



Quincha



Tapial



Balloon frame



Adobe

Tapial

Sistemas estructurales



Adobe

- Resistencia a la compresión
Adobe: 20kg/cm²
- Mayor retracción → grietas
- Poca resistencia a la tracción

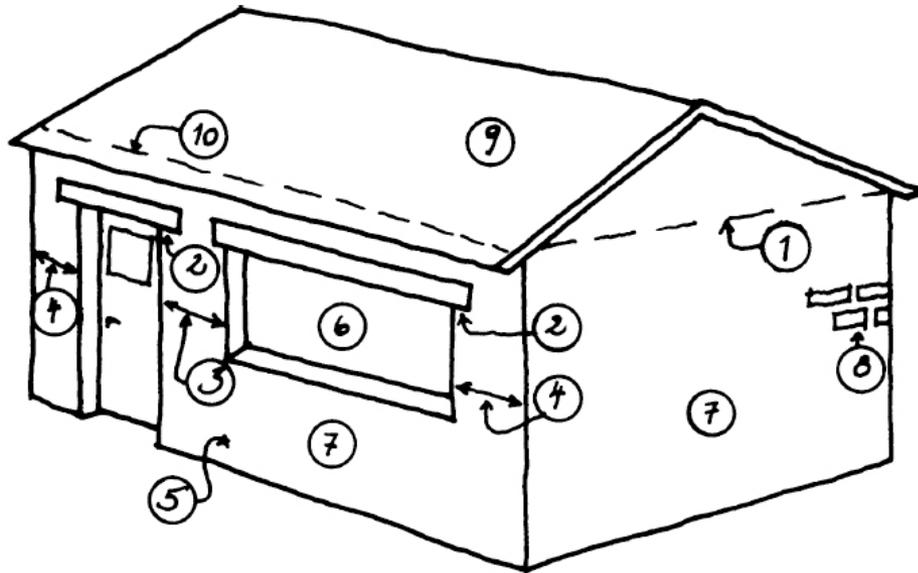
v/s

Tapial

- Resistencia a la compresión
Adobe: 25 - 30kg/cm²
- Retracción es mucho más baja.
- Muros monolíticos → mayor estabilidad

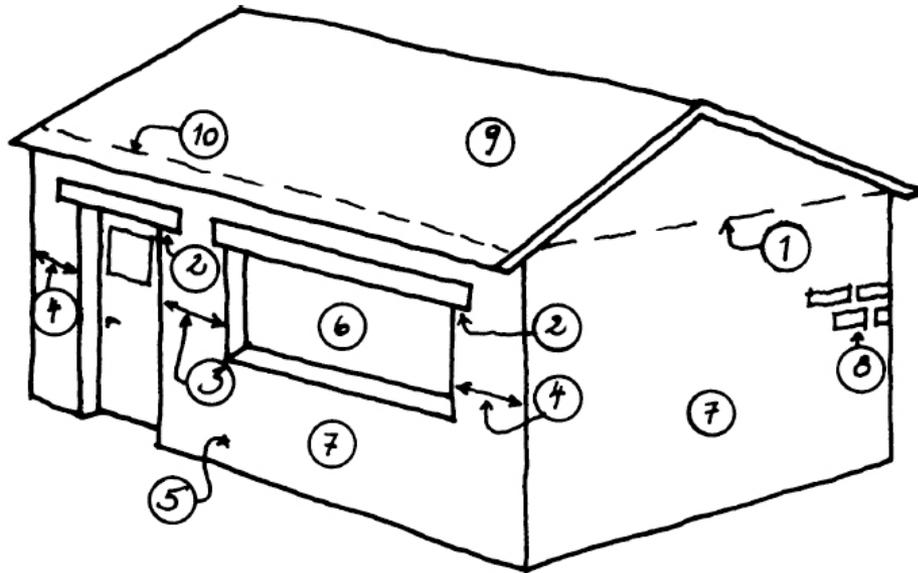
Las construcciones de ***adobe***, a nivel de componentes, presentan mayores ***problemas estructurales y de estabilidad*** a consecuencia de la fragilidad en la unión de los bloques y la poca resistencia a los esfuerzos de flexión en el plano del muro

Errores estructurales típicos 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 ventana y puerta es demasiado angosto.
4. El ancho entre los vanos de ventana y puerta en relación a las esquinas es demasiado angosto.
5. Ausencia de un sobrecimiento (zócalo).

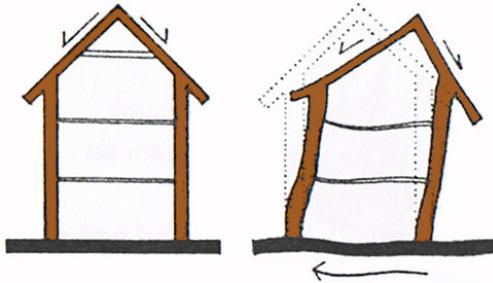
Errores estructurales típicos que provocan riesgos de derrumbe durante un sismo



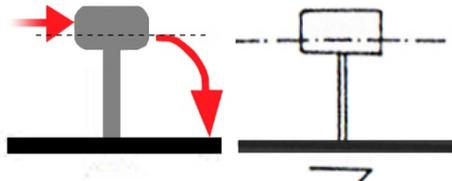
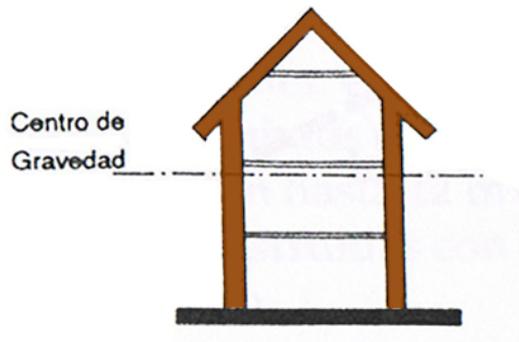
6. El vano (ventana) es demasiado ancho.
7. El muro es muy largo y delgado sin tener elementos de estabilización
8. La calidad de la mezcla del mortero es pobre, las uniones verticales no están completamente rellenas y las uniones horizontales son demasiado gruesas (más de 1,5 cm).
9. La cubierta es demasiado pesada
10. La cubierta tiene un arriostramiento débil con el muro.

Estructura pesada

(mayor deformación)

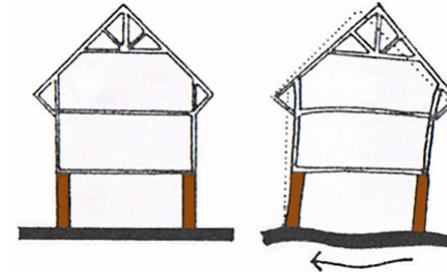


(menor equilibrio)

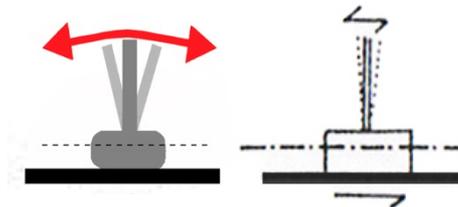
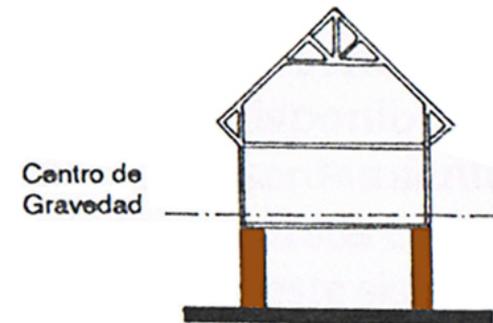


Estructura liviana

(menor deformación)



(mayor equilibrio)



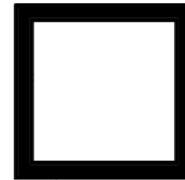
CENTRO DE GRAVEDAD

Recomendaciones

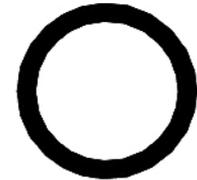
- Forma en planta



malo



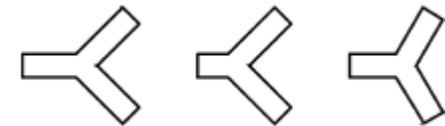
mejor



óptimo

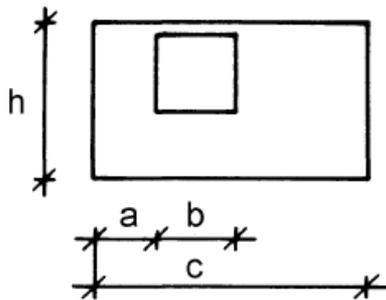
- Estabilización por forma

Elementos autoportantes L, T, U, X, Y o Z



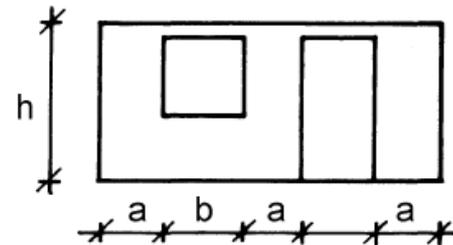
Recomendaciones

- Vanos



$$a \geq h/3 \geq 100\text{cm}$$
$$b \leq c/3 \leq 120\text{cm}$$

Los vanos para ventanas no deben tener una longitud mayor a 1.20 m, ni más de 1/3 de la longitud de la fachada.

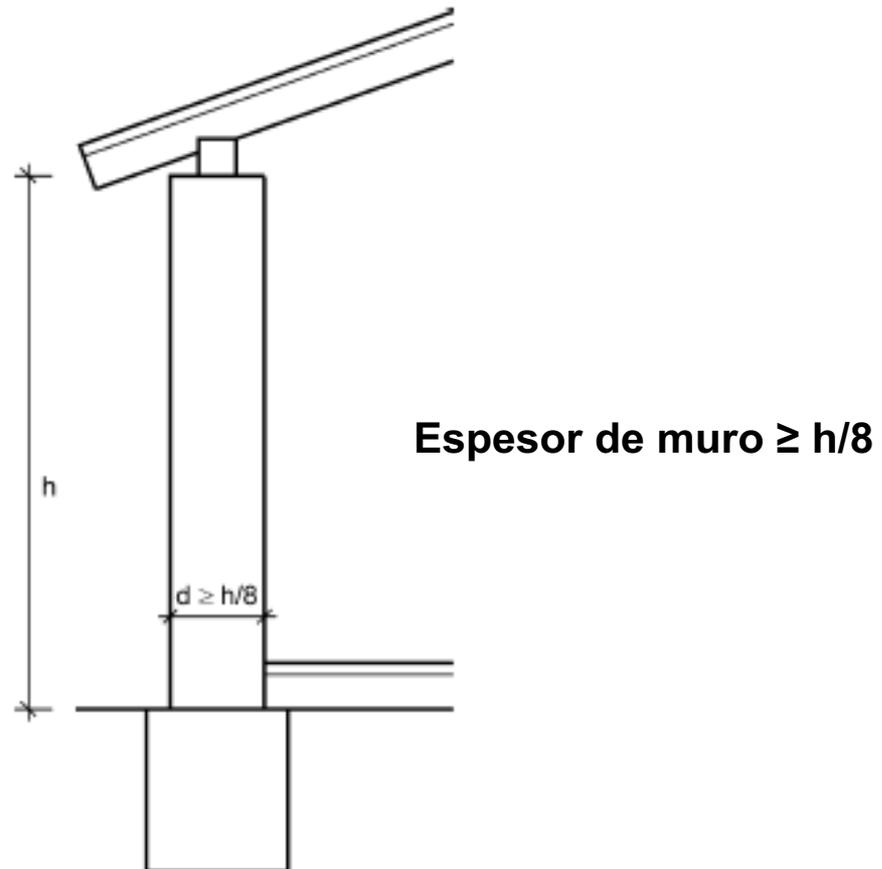


$$a \geq h/3 \geq 100\text{cm}$$
$$b \leq h/2 \leq 120\text{cm}$$

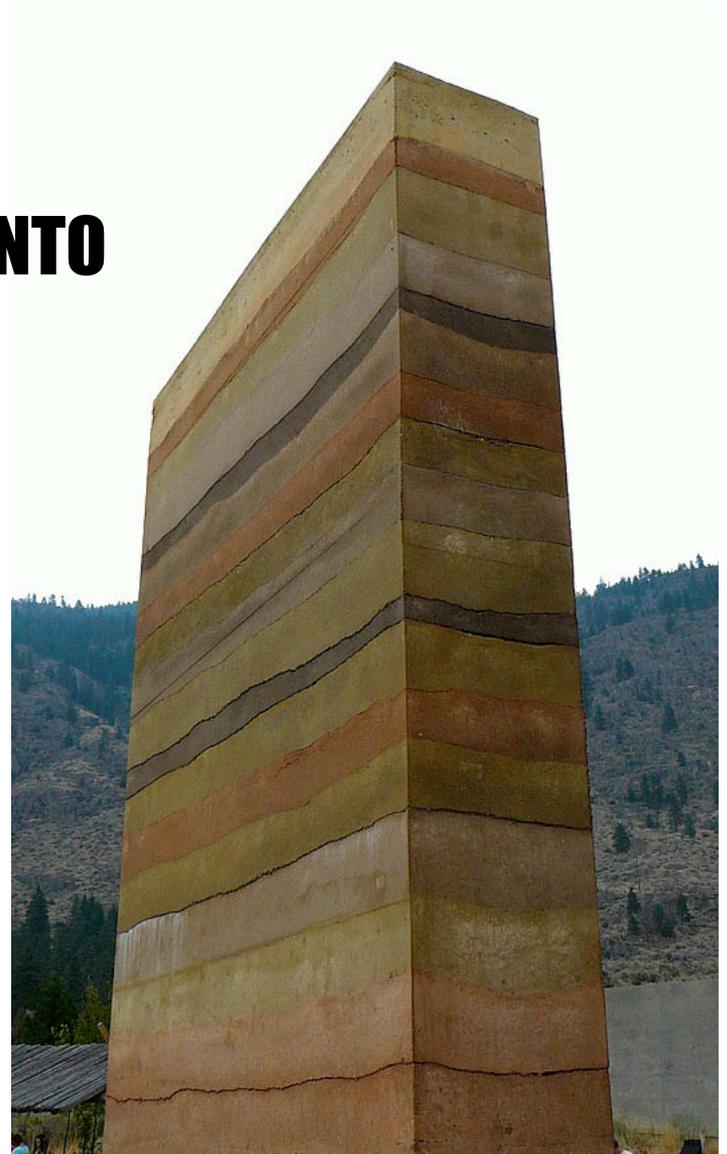
La longitud del muro entre los vanos y el borde de los muros debe ser de mínimo 1/3 de la altura del muro, pero no menor a 1 m.

Recomendaciones

-Relación aconsejable para muros de tapial



SUELO-CEMENTO





Suelo-cemento

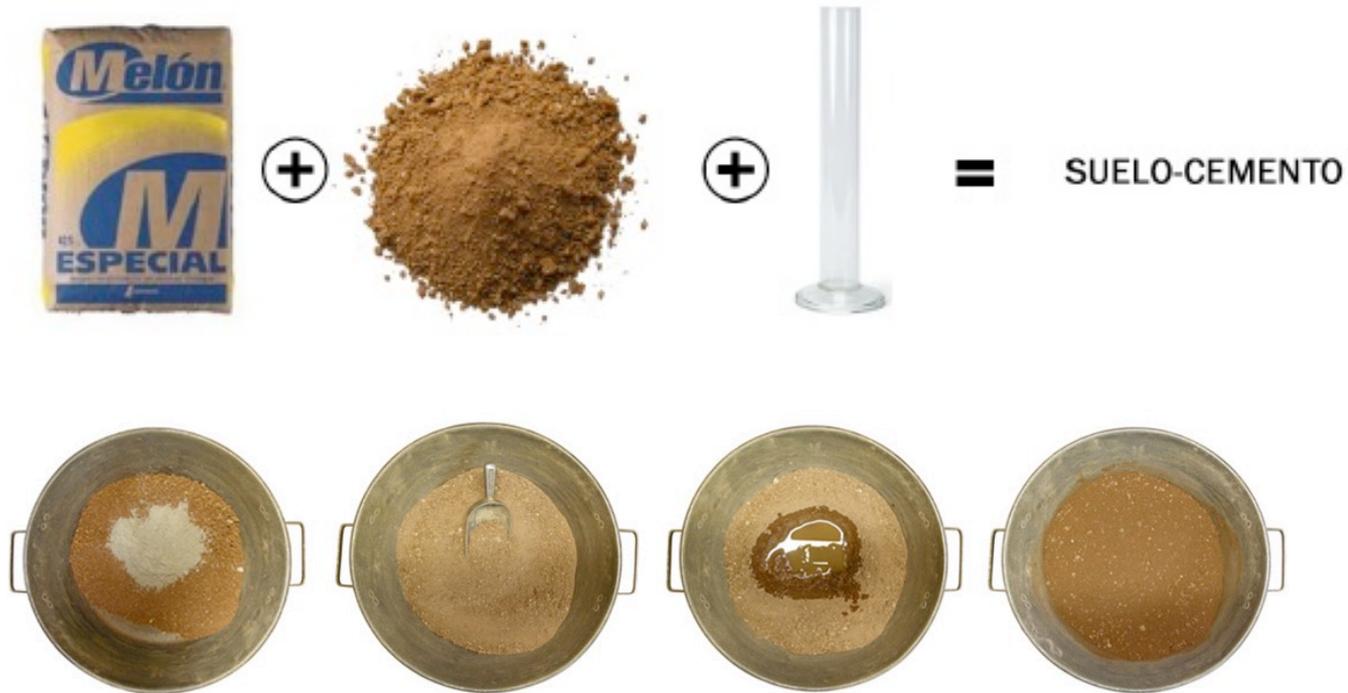
La tierra a pesar de sus buenas características aislantes y resistentes, presenta limitaciones en su aplicación, ya que su **resistencia mecánica es reducida**, es **vulnerable a la humedad** y se **erosiona** por acción de los agentes externos.

Sin embargo puede ser sometido al tratamiento denominado “**estabilización**”. La adición de un agente estabilizante, como es el cemento portland, a la vez que permite aprovechar sus **mejores cualidades**, le da otras propiedades que por sí solo no posee.

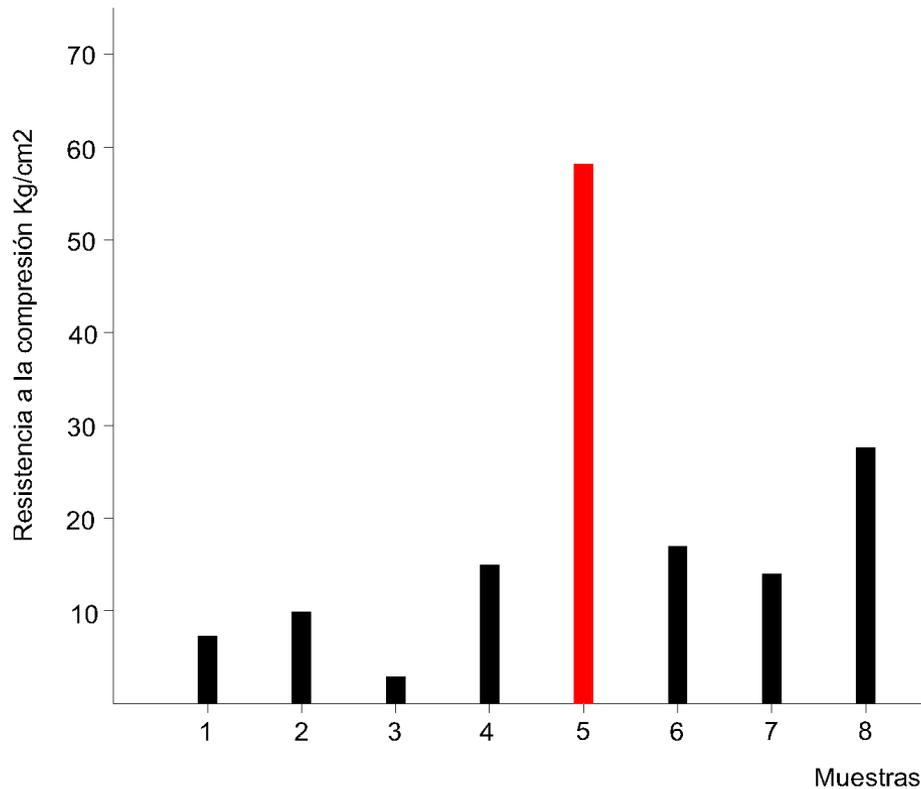
El material **soportara cargas de trabajo muy superiores** a las que podría soportar el suelo sin cemento, obteniéndose además, una **buena durabilidad ante la acción de los agentes atmosféricos**.

...“es el conjunto de suelo o tierra, cemento y agua, debidamente dosificados y compactados”.

El **efecto del cemento** sobre el suelo produce reacciones físico-químicas, que modifican el comportamiento de sus partículas y **mejoran su estabilidad**, transformando la masa resultante en una estructura difícil de alterar, y de mayor resistencia.



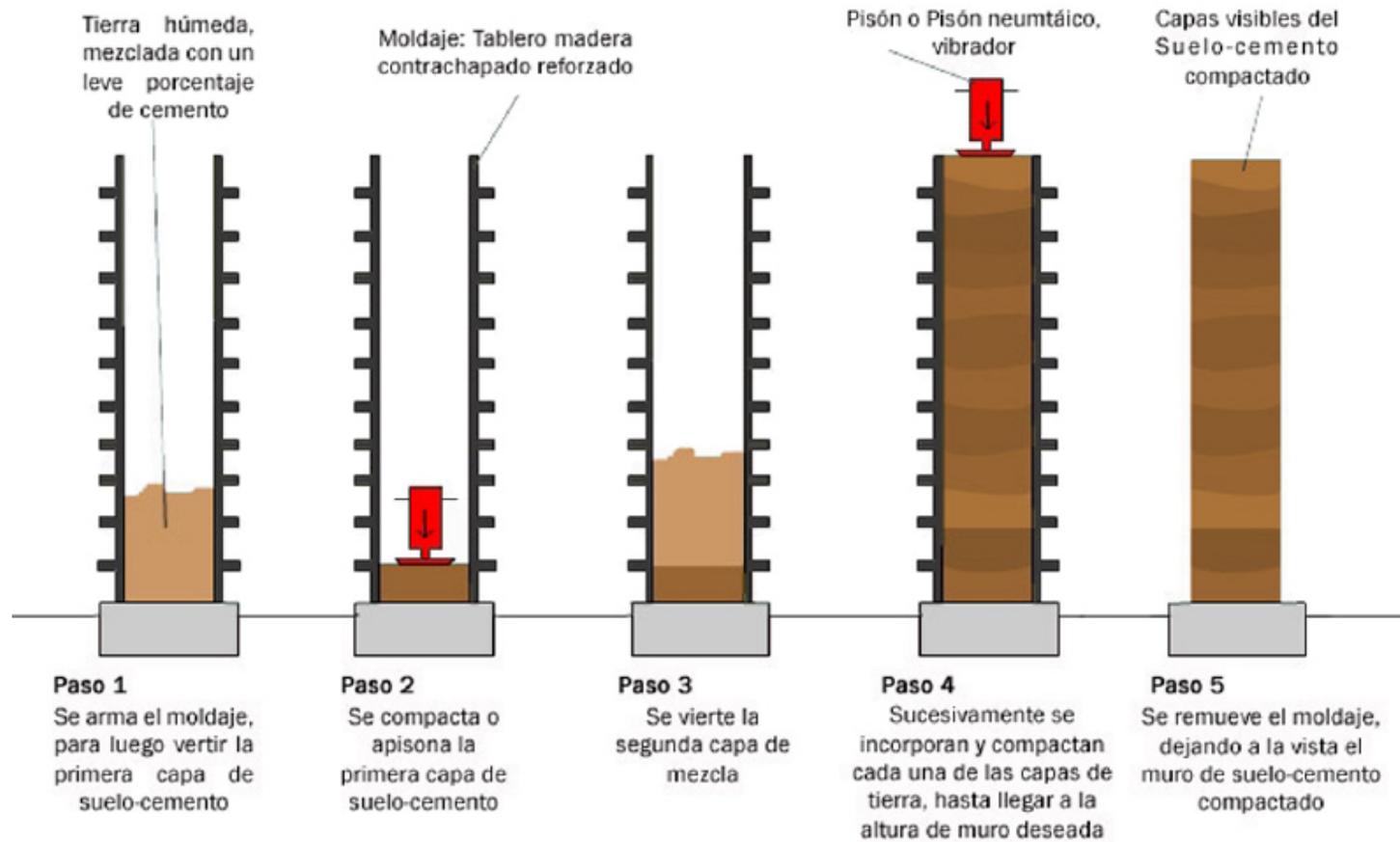
Pruebas de compresión



Materiales	Resistencia a la compresión [Kg/cm ²]
Suelo - paja (adobe-tradic.)	12.25
Suelo - cal (4% camara húmeda)	9.85
Suelo - cal (4% expuesto al sol)	2.9
Suelo - asfalto	14.92
Suelo - cemento	60
Suelo - yeso	16.9
Proctor (4% de agua)	13.5
Proctor (8% de agua)	29.6

SUELO - CEMENTO

Proceso constructivo



Ejemplo







Innovaciones tecnológicas actuales

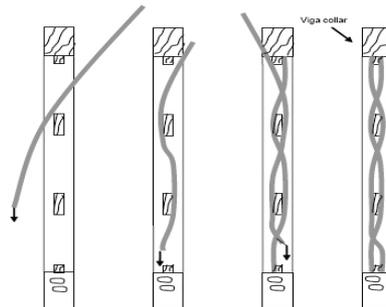
Adobe reforzado con geomallas

Ref. Julio Vargas Neumann



Quincha mejorada

Ref. M.E. Lacarra Córdova



Tekno – Barro

Quincha metálica

Ref. Marcelo Cortés

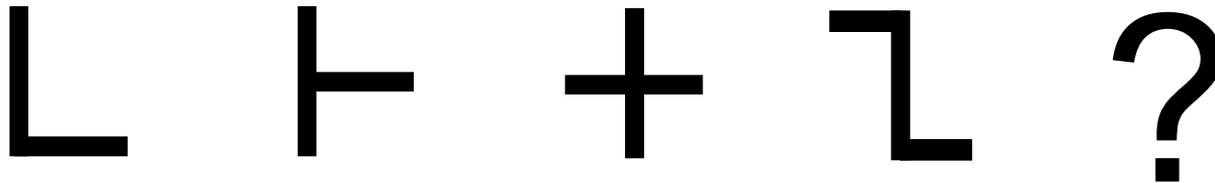


Investigación



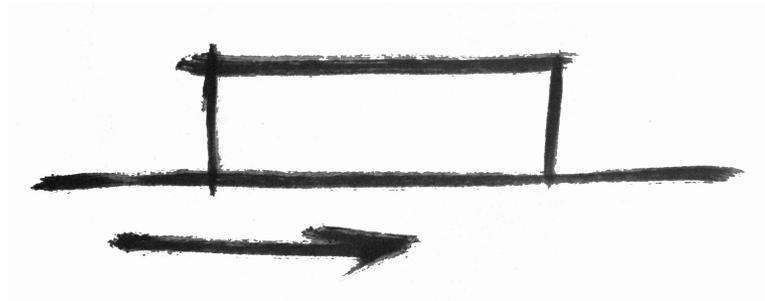
¿Qué es?

Es un sistema o unidad constructiva estructural a base de suelo-cemento compactado (armado), que resiste sismo, o que ofrezca seguridad sísmica dentro de un rango aceptable (08g).



¿Para que?

*Para la vivienda económica (horizontal - 1 piso) que debe resolver su diseño particular para tener un comportamiento aceptable frente al **sismo**. Esta **unidad constructiva alternativa** pretende ser una opción real para la construcción de elementos portantes y de cerramientos de una vivienda del **mundo rural**.*



¿Por que?

*...por qué la tierra sigue siendo el material de construcción con **menor huella ecológica** y puede manipularse sin una capacitación sofisticada de la mano de obra, lo que implica una vasta aplicación para la solución de viviendas económicas en nuestro país.*





Metodología de Trabajo

Investigación Marco Teórico

El suelo o la tierra como material de construcción

Sistemas constructivos:
Tierra apisonada
Tierra con entramado
Albañilería

Elaboración del Suelo-cemento

Investigación Práctica

Análisis de Suelos

Reconocimiento de los suelos y obtención de muestras

Ensayos:

LAB. Mecánica de Suelos

- Análisis Granulométrico
- Límites de Consistencia
- Gravedad Específica
- Proctor Normal

Dosificación (% de cemento en peso)

**E
T
A
P
A

1**



Metodología de Trabajo

Investigación Marco Teórico

El suelo o la tierra como material de construcción

Sistemas constructivos:
Tierra apisonada
Tierra con entramado
Albañilería

Elaboración del Suelo-cemento

Investigación Práctica

Análisis de Suelos

Reconocimiento de los suelos y obtención de muestras

Ensayos:

LAB. Mecánica de Suelos

- Análisis Granulométrico
- Límites de Consistencia
- Gravedad Específica
- Proctor Normal

Dosificación (% de cemento en peso)

**E
T
A
P
A
1**

Casos de estudio de construcción con tierra antisísmicas

Investigación de patrones o soluciones geométricos en planta, que sean resistentes al sismo.

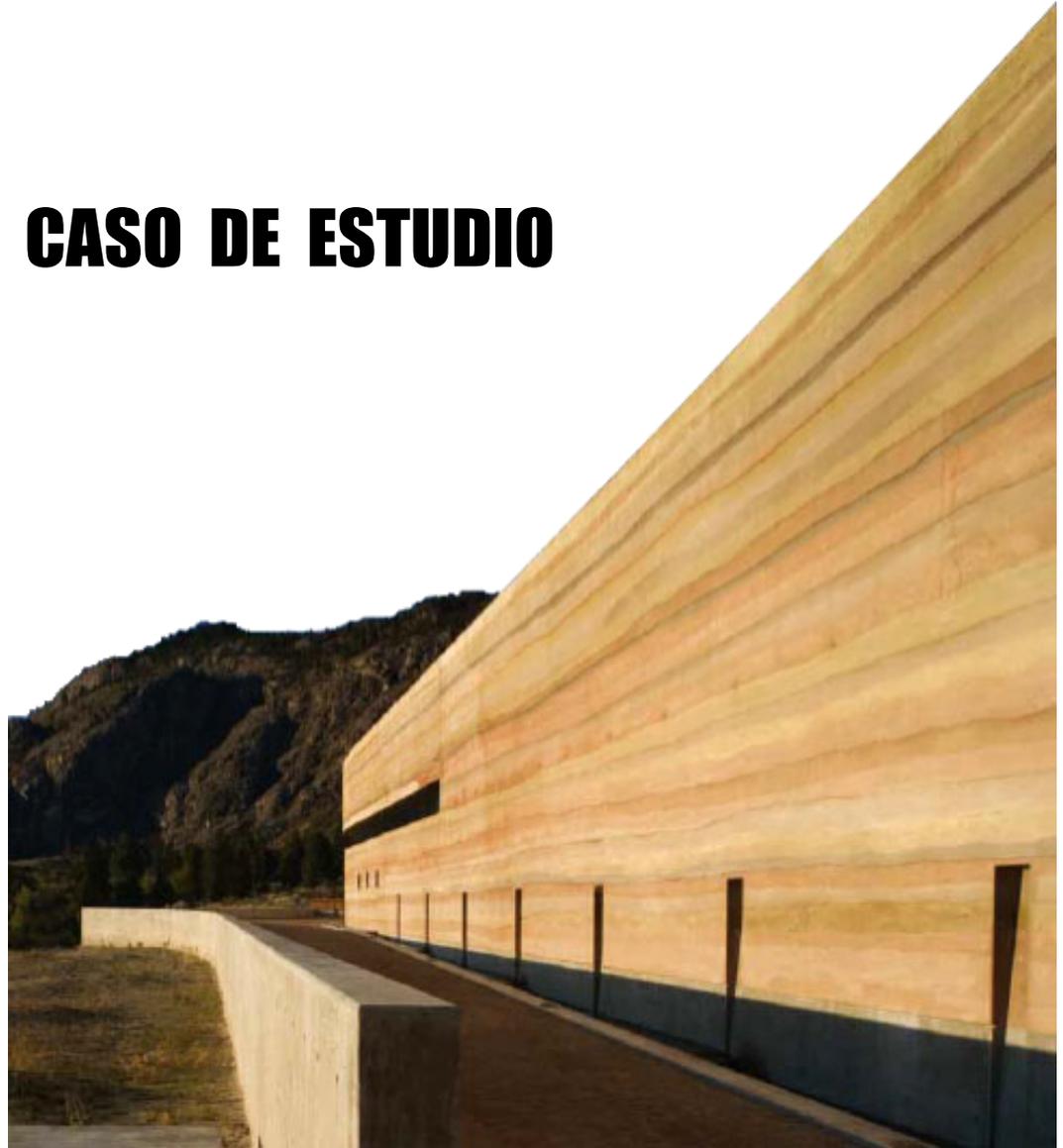
Análisis Sísmico

Modelación de maquetas a escala reducida de suelo-cemento compactado, para ser sometidas a ensayos sísmicos en la mesa de simulación de terremotos

**E
T
A
P
A
2**

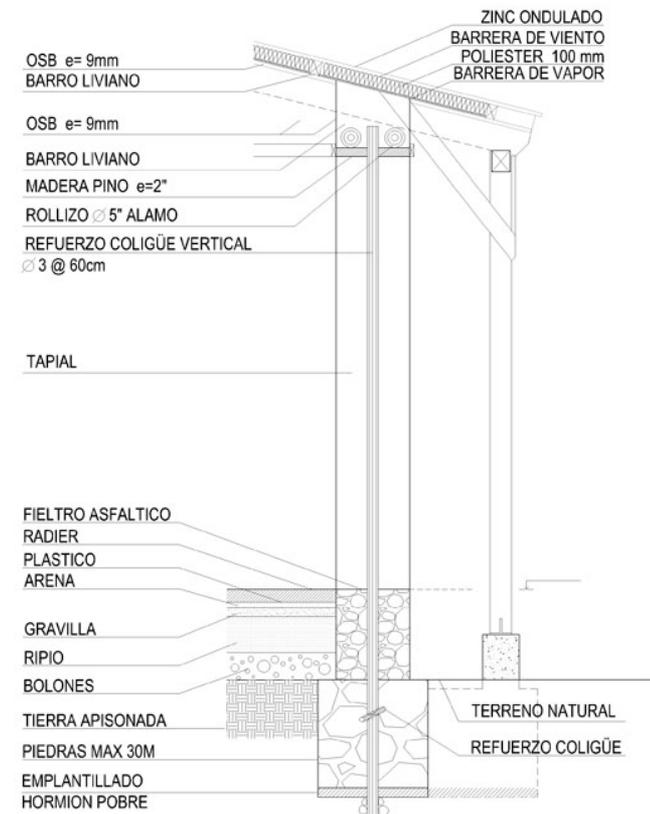
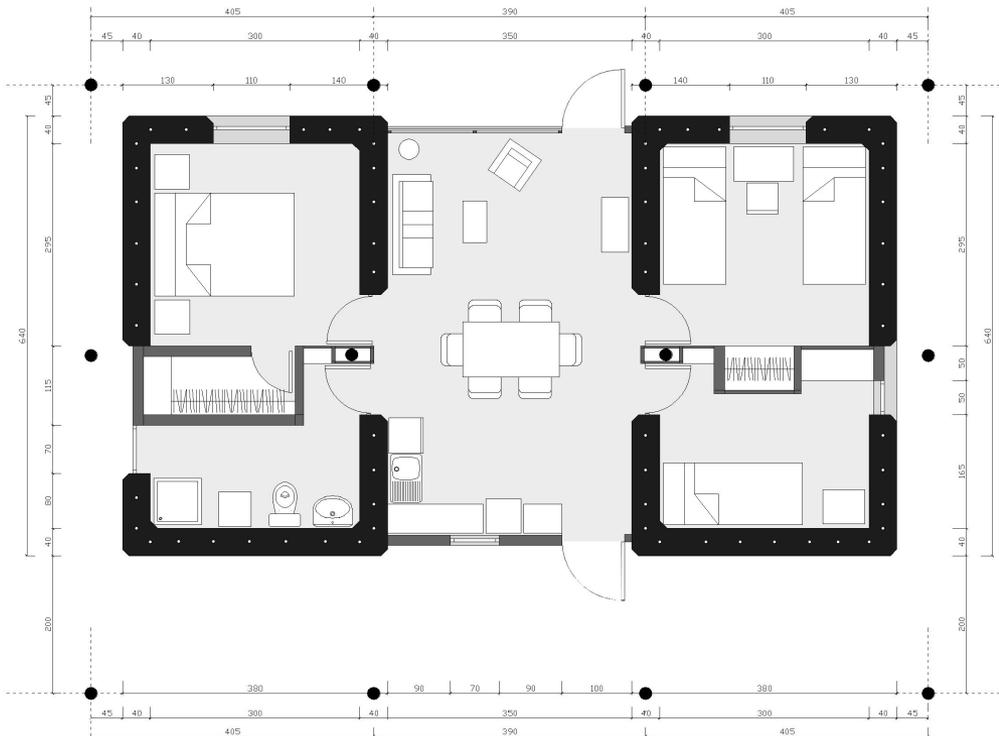


CASO DE ESTUDIO



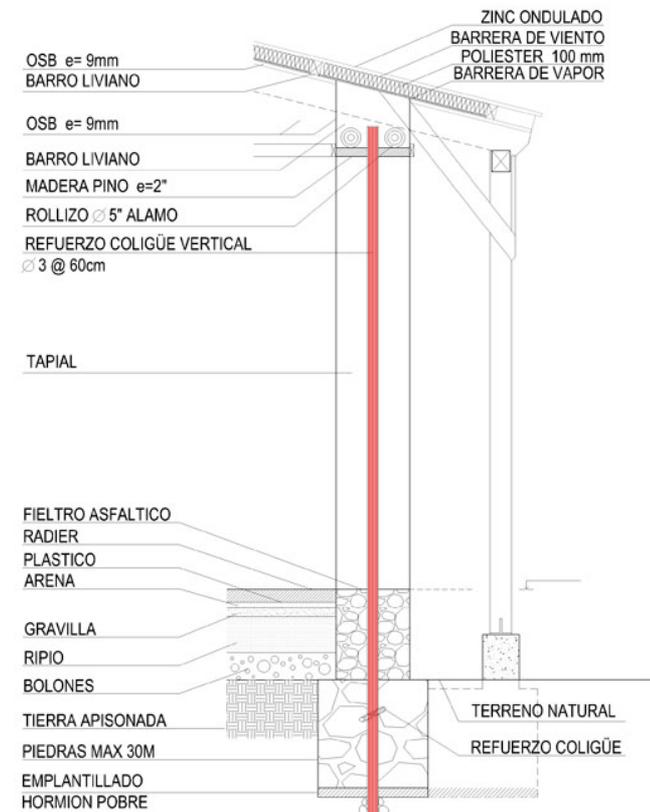
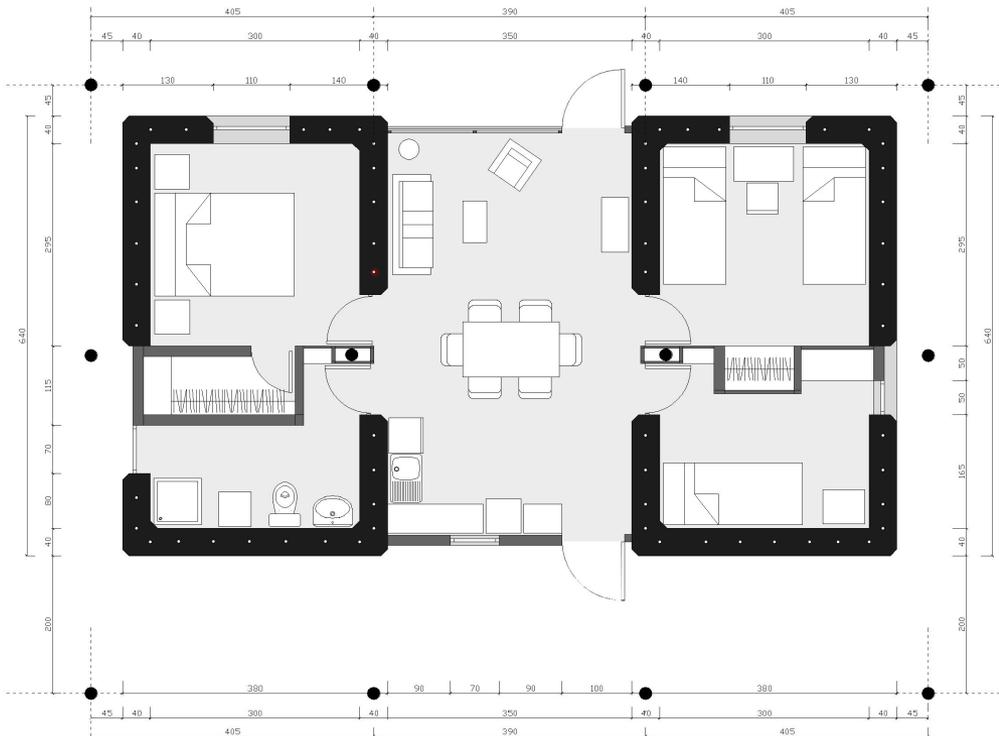
Vivienda prototipo, Alhué, Chile

- Estabilización por la forma (muros L y U)
- Refuerzos verticales de coligüe
- Idea de separar la estructura de la cubierta de la de los muros.



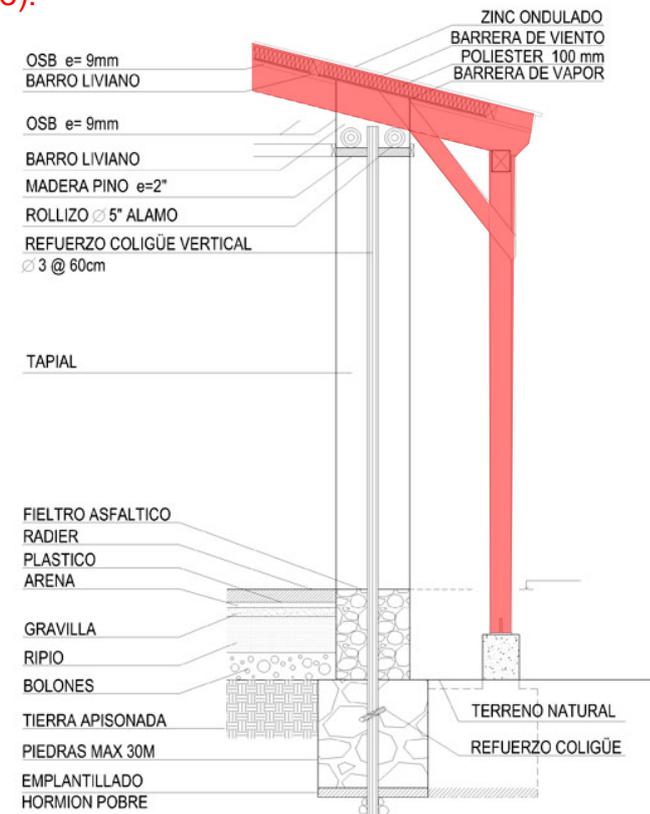
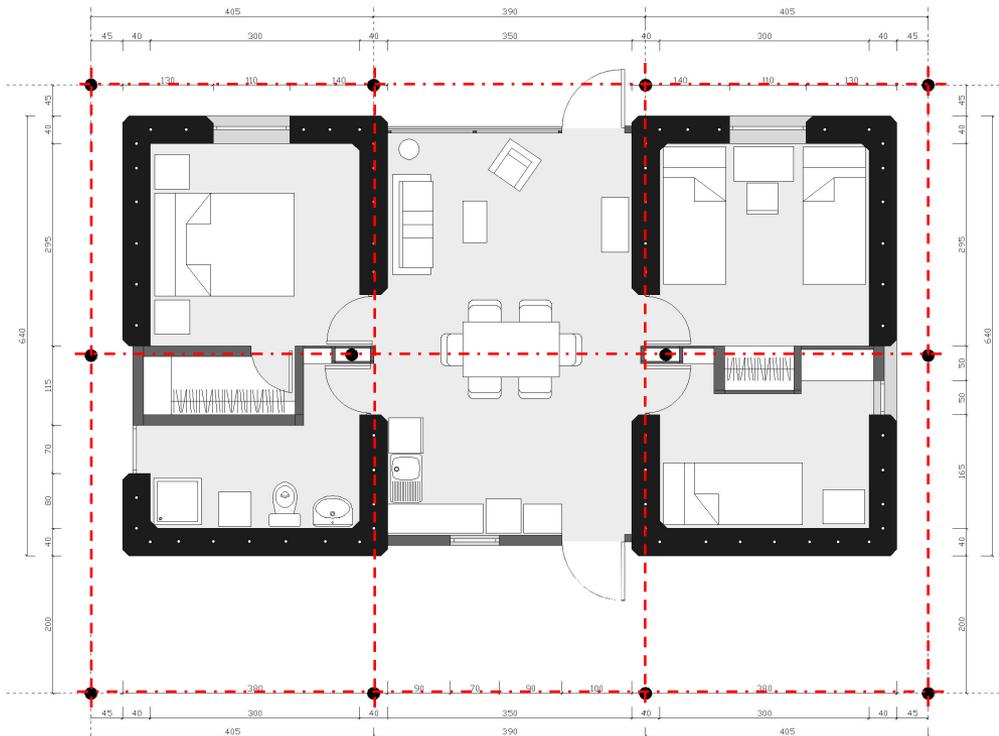
Vivienda prototipo, Alhué, Chile

- Estabilización por la forma (muros L y U)
- Refuerzos verticales de coligüe
- Idea de separar la estructura de la cubierta de la de los muros.



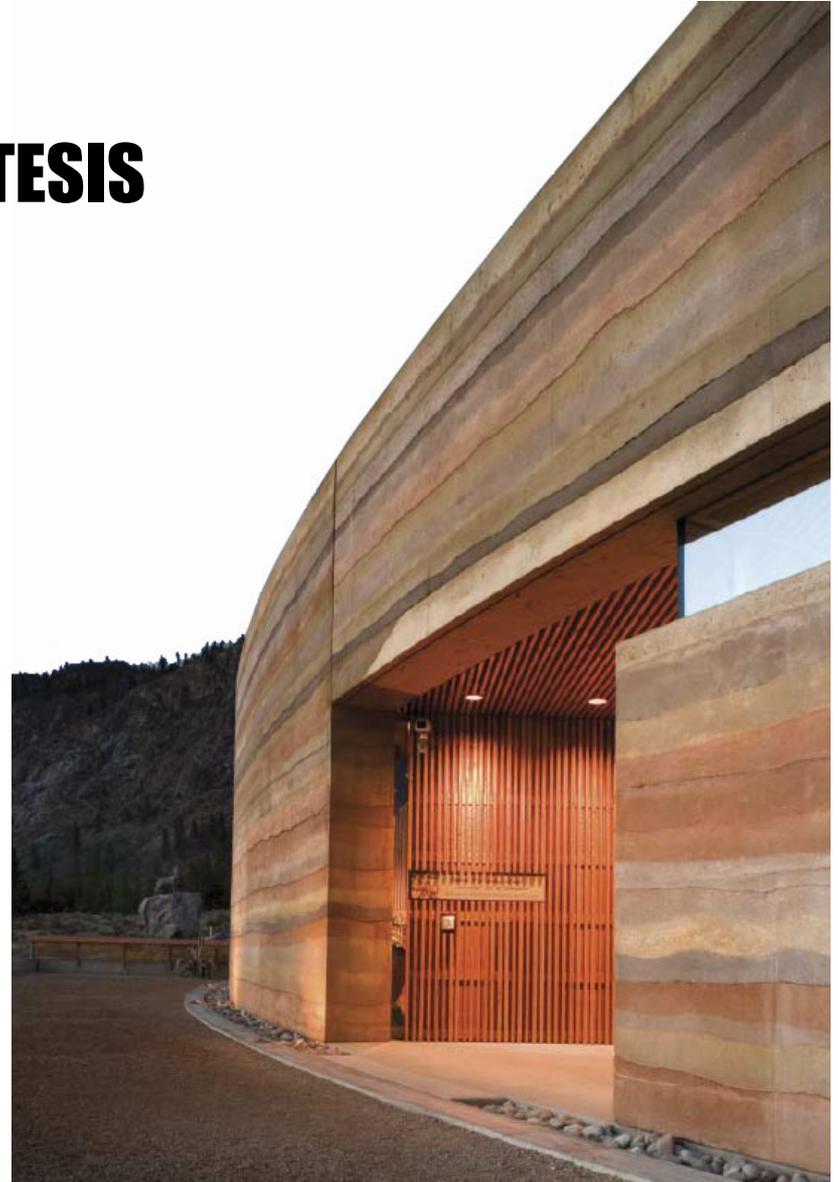
Vivienda prototipo, Alhué, Chile

- Estabilización por la forma (muros L y U)
- Refuerzos verticales de coligüe
- Idea de separar la estructura de la cubierta de la de los muros.
(ambos elementos se muevan de acuerdo a su propia frec. en caso de sismo).



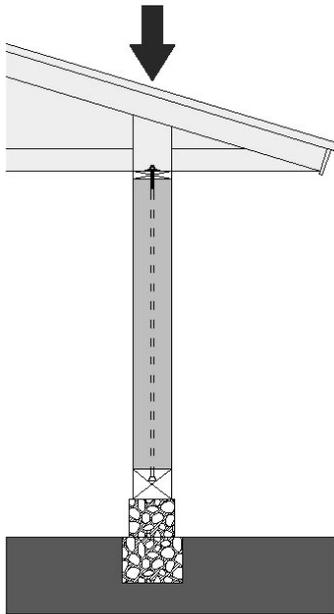


HIPÓTESIS



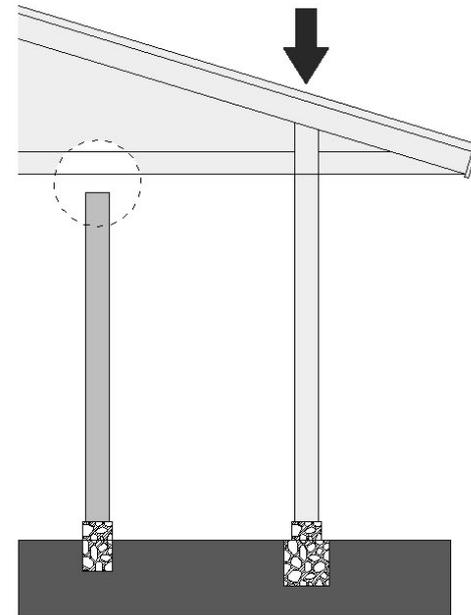
IN SITU

- Estructura portante y cerramiento
- Post tensado
- Sobrecimiento + cadena

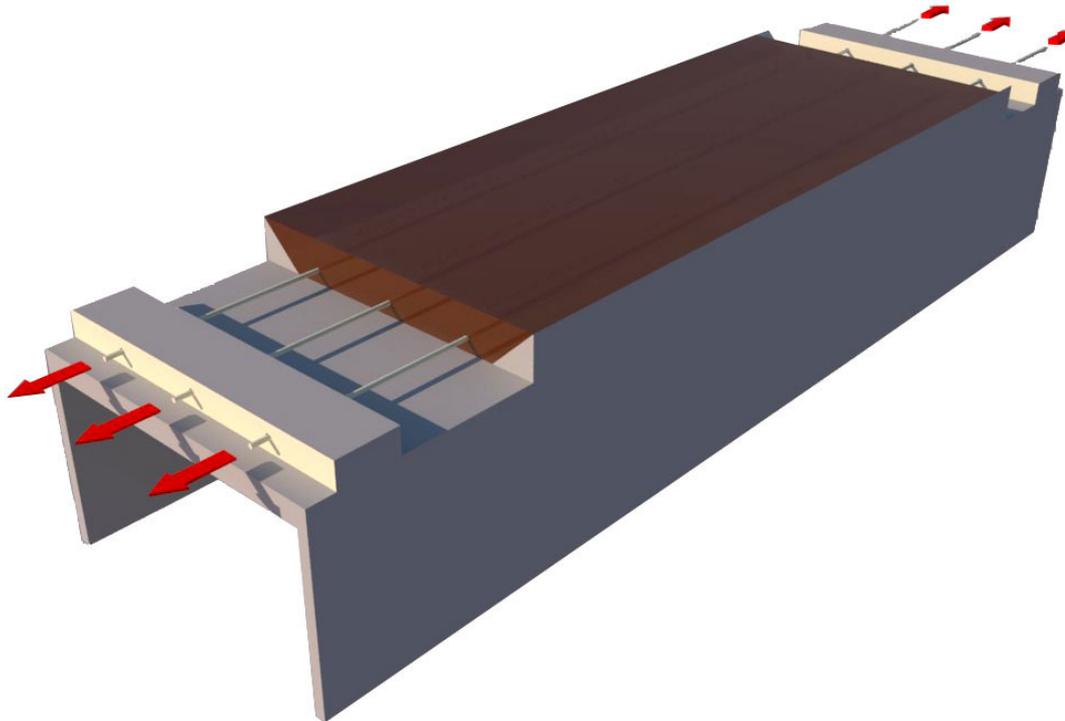
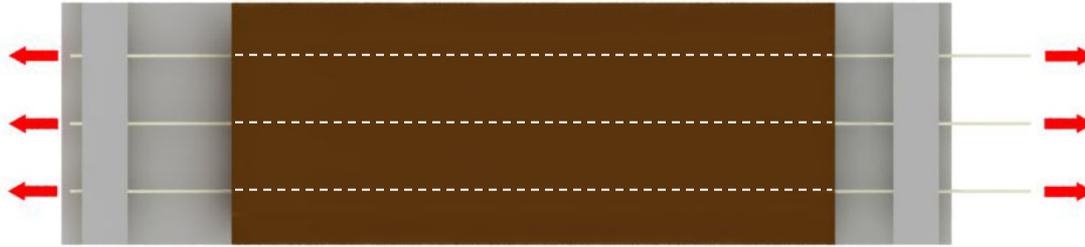


PRE - FABRICADO

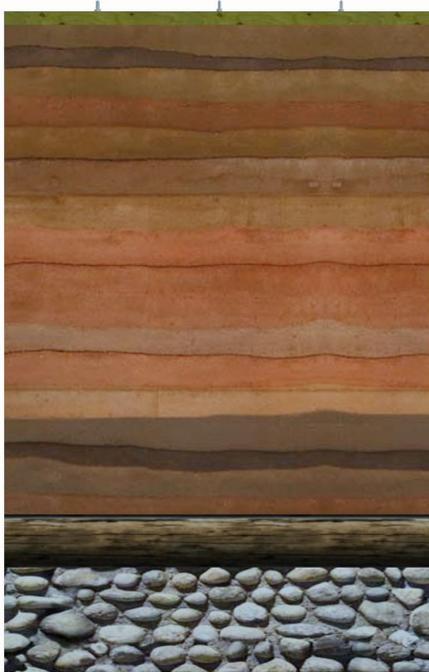
- Separación: Estructura - cerramiento
- Panel con armadura vegetal
- Esbeltez



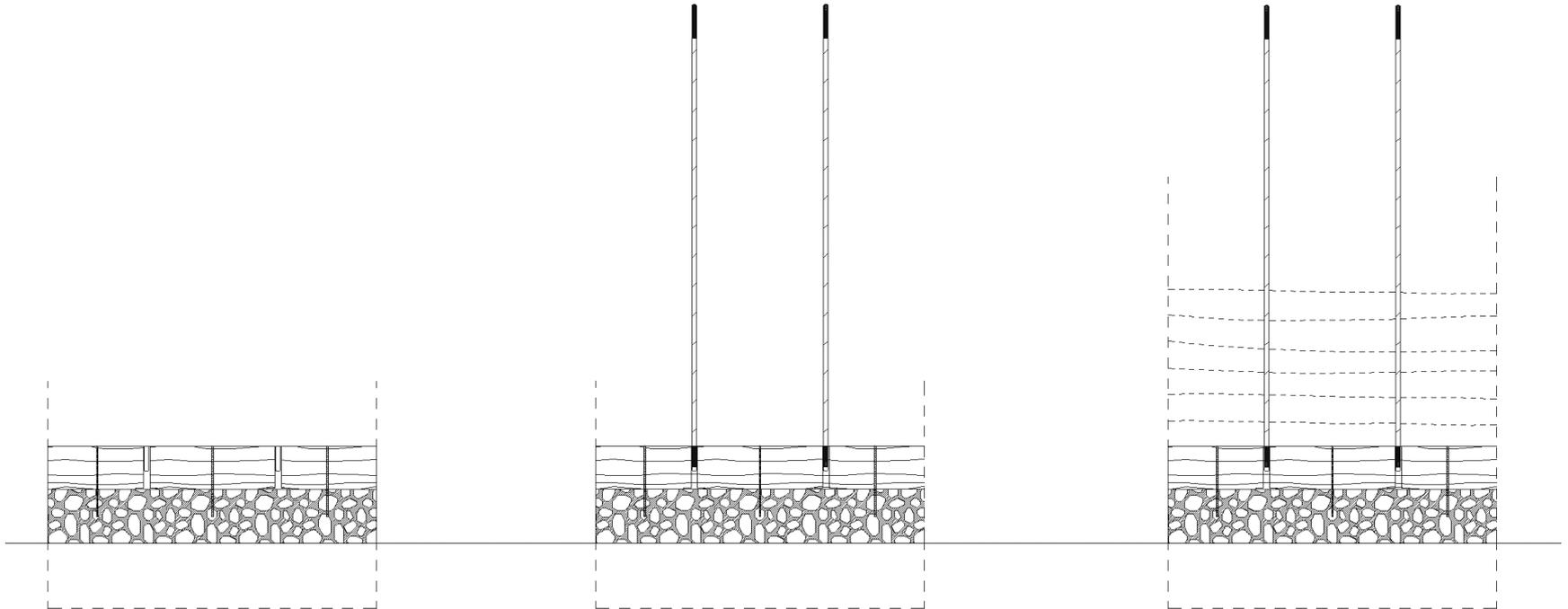
Opción Pre - tensado , Pre - fabricado



Propuesta



Secuencia constructiva



Sobrecimiento

Mampostería en piedra

Durmiente + anclaje inferior

Tensor vertical $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ "

Durmiente

Anclajes

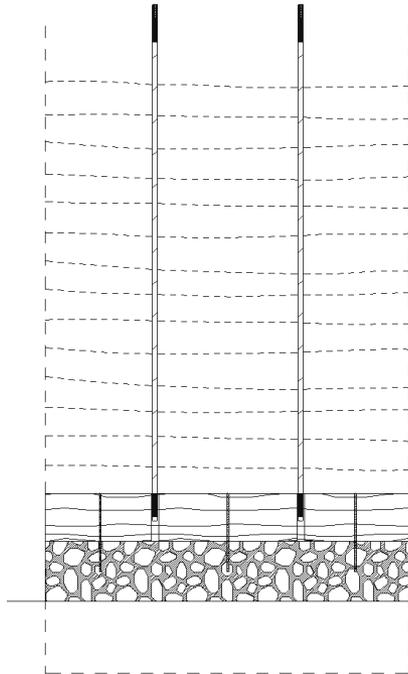
Moldaje inferior

Suelo-cemento compactado

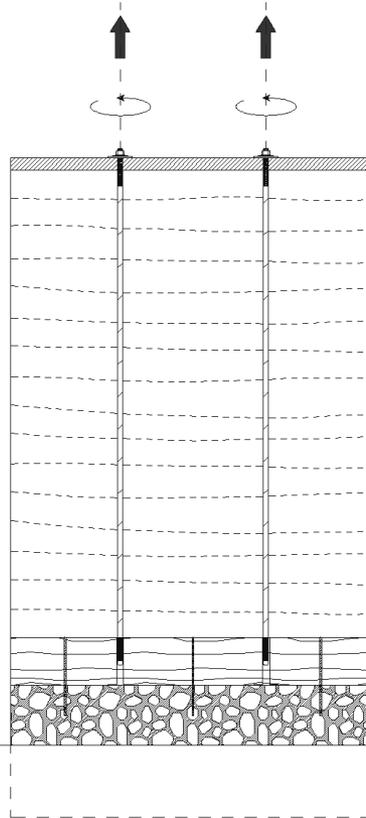
por capas c/ 10-15 cm

SECUENCIA

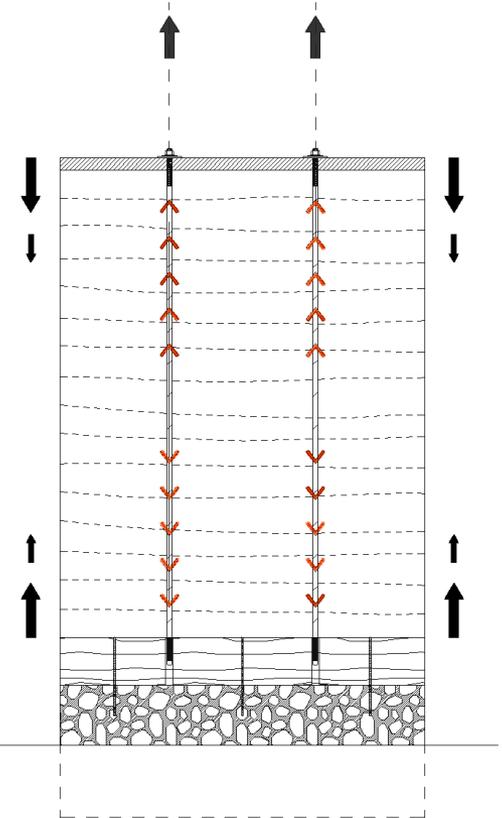
Secuencia constructiva



Moldaje superior
Suelo-cemento compactado
hasta altura de muro deseada



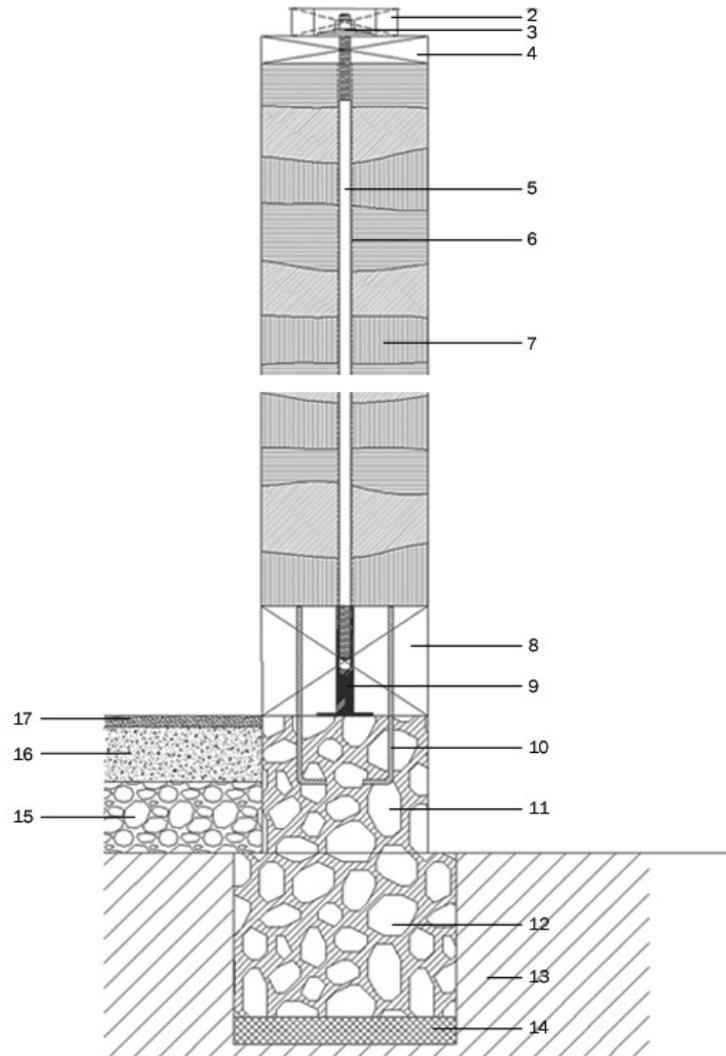
Solera superior madera en
bruto 2x12\"/>
Anclaje post-tensado, flanche,
golilla y tuerca



Barras a tracción
Muro masa comprimido

SECUENCIA

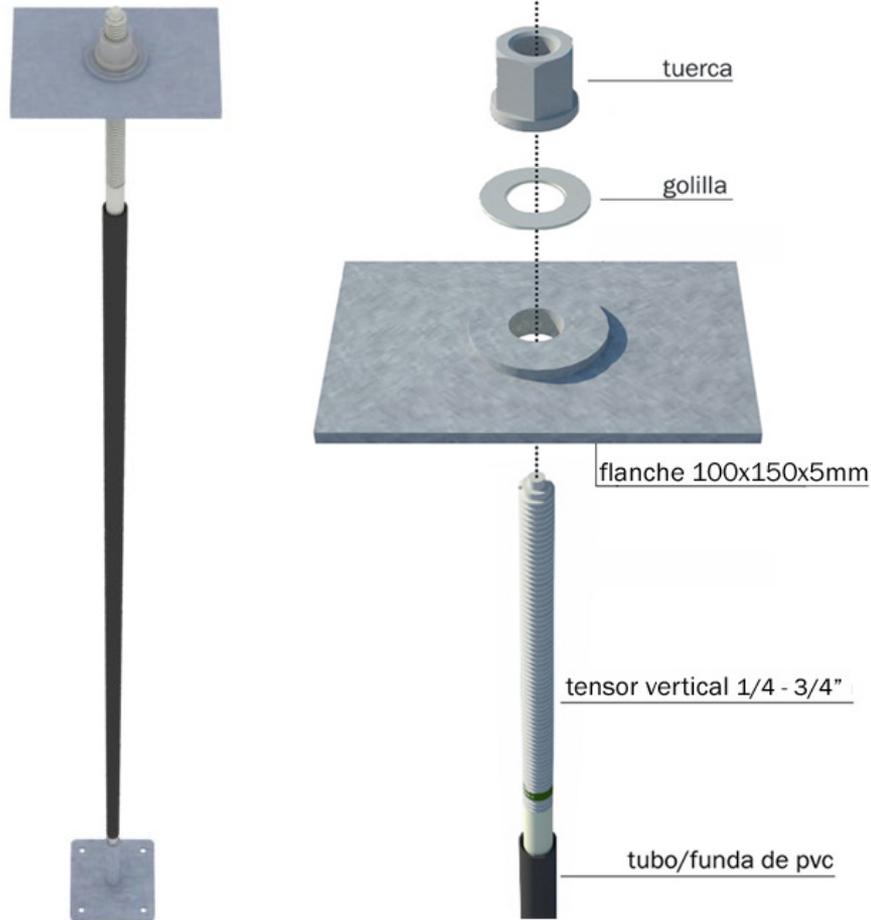
Escantillón



- 2 viga de madera 2x8"
- 3 anclaje post-tensado
flancho 100x150x5mm
golilla y tuerca
- 4 solera superior
pieza de madera en bruto
2x12"
- 5 tensor vertical 15-20mm
- 6 funda pvc
- 7 muro de tapial suelo-
cemento compactado
- 8 durmiente 30x20cm
- 9 sistema de anclaje
inferior con hilo interior
- 10 anclaje durmientes
- 11 sobrecimiento
mampostería de piedra
- 12 fundación
mampostería de piedra
- 13 tierra compactada
- 14 emplantillado
hormigón pobre e: 5cm
- 15 capa de grava e: 13cm
- 16 radier + malla e: 10cm
- 17 afinado e: 20mm

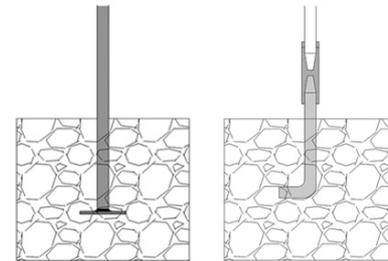
ESCANTILLÓN

Detalle sistema post-tensado

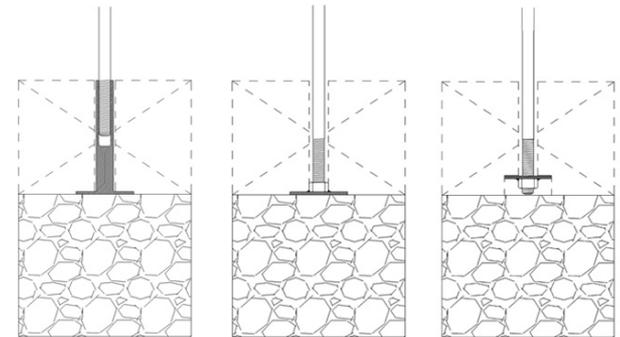


Variante de anclajes inferiores

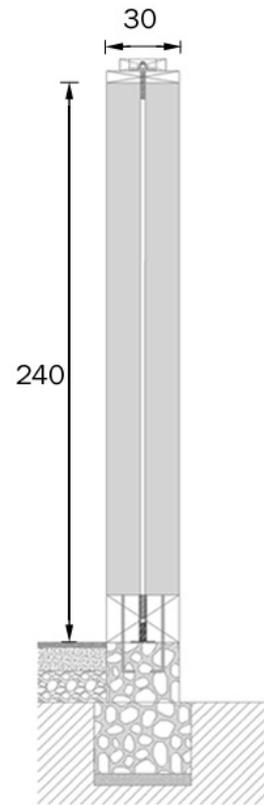
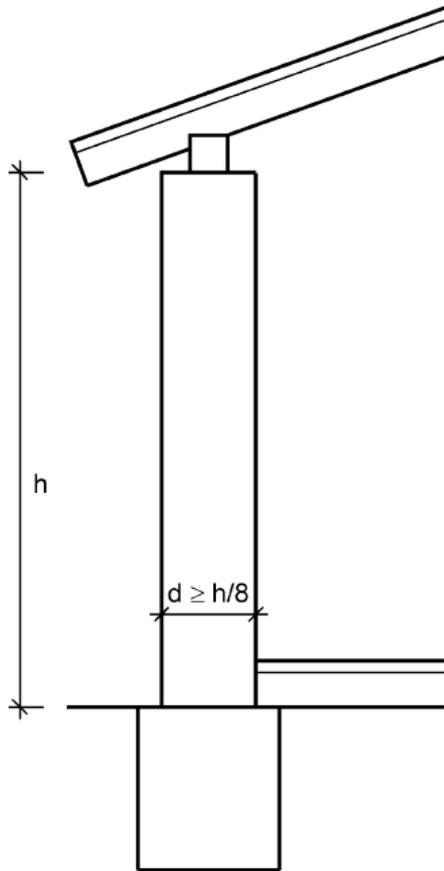
Variante: sobrecimiento



Variante: durmiente



Relación aconsejable
para muros de tapial
(h: altura de tierra compactada)

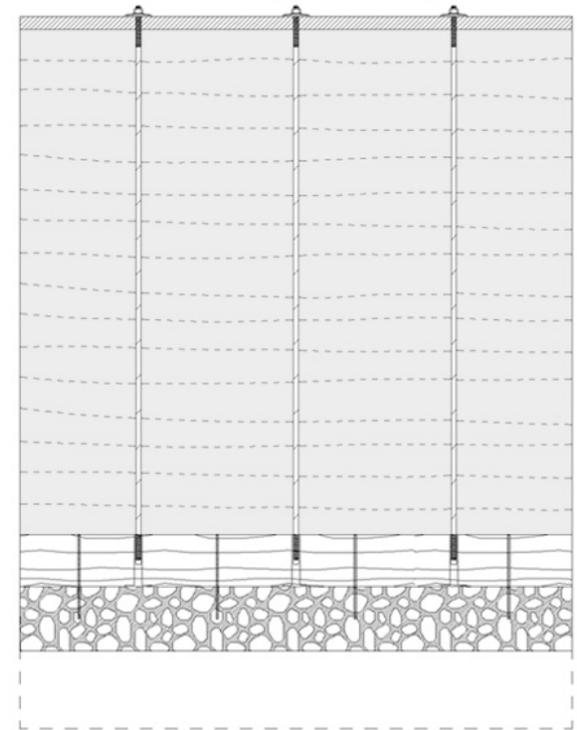


$$d \geq h/8$$

$$h = 240 \text{ cm}$$

$$h/8 = 30 \text{ cm}$$

$$30 \geq 30$$



DIMENSIONES

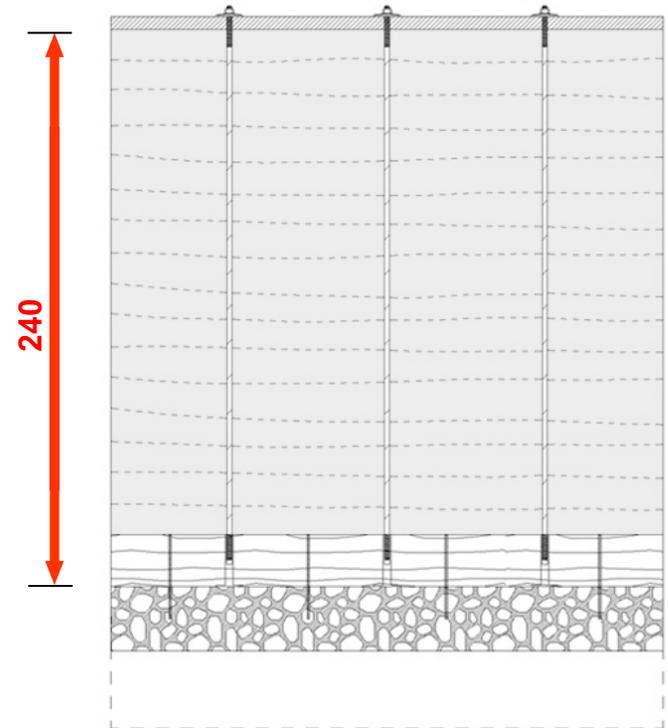
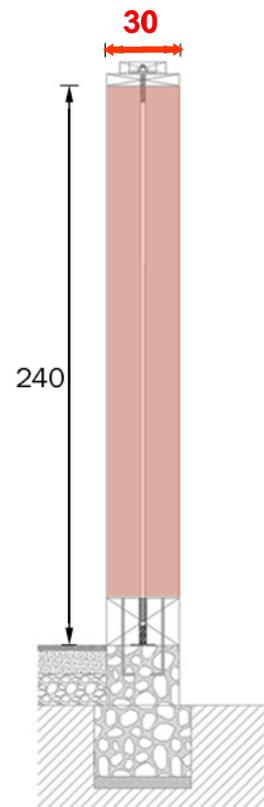
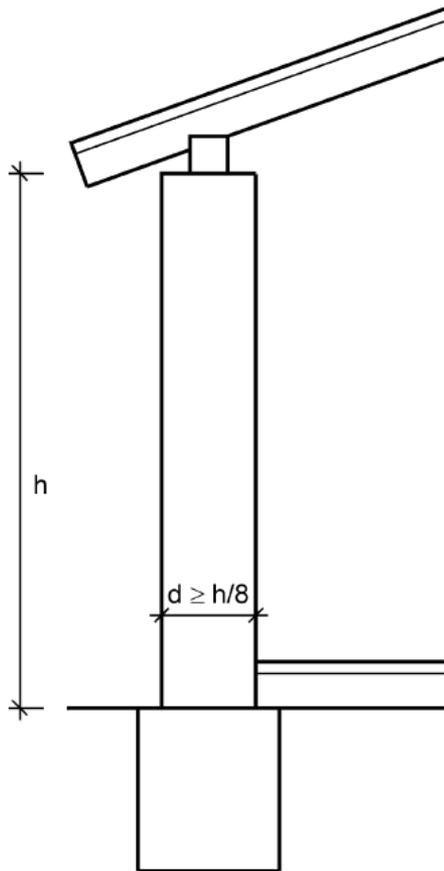
Relación aconsejable
para muros de tapial
(h: altura de tierra compactada)

$$d \geq h/8$$

$$h = 240 \text{ cm}$$

$$h/8 = 30 \text{ cm}$$

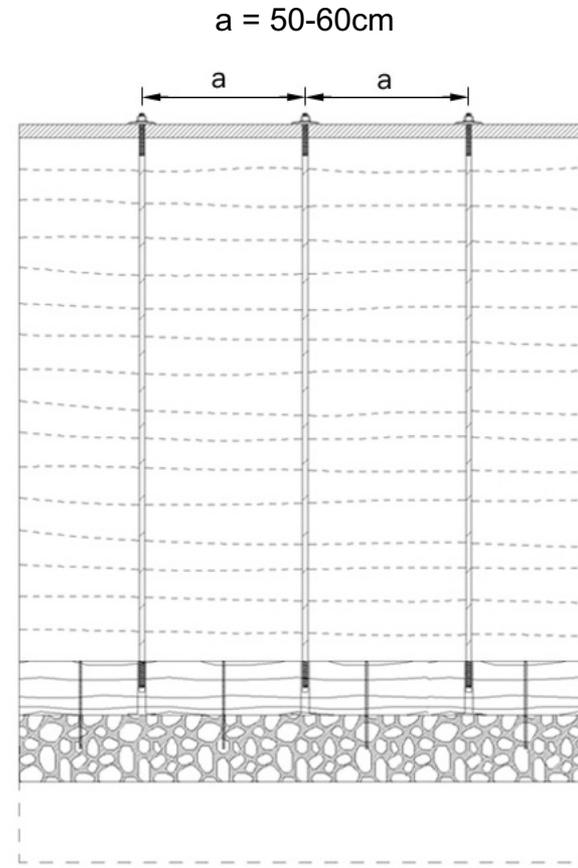
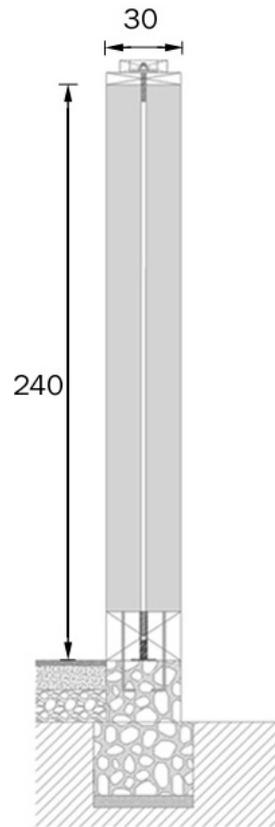
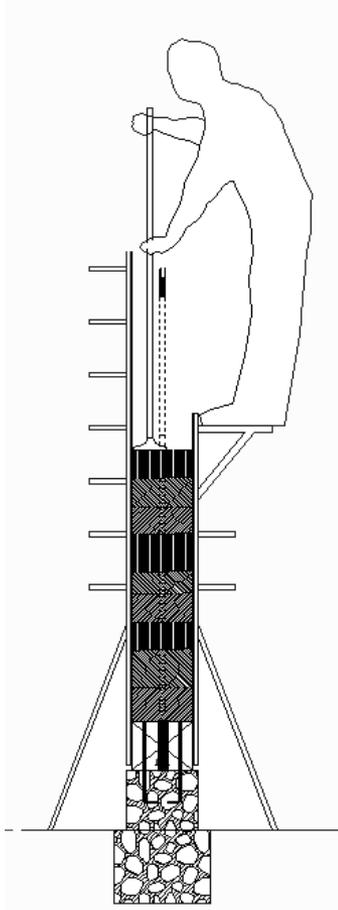
$$30 \geq 30$$



DIMENSIONES

Distancia entre tensores

Con respecto al distanciamiento entre tensores, no existe un cálculo estructural específico. Se tomo como referencia el prototipo de vivienda en Alhué, Chile, que fue construida con muros de tapial reforzado con coligües. La distancia entre coligües varia de 45 a 55cm.



Costo metro lineal

Cubicación Muro de Albañilería - 1 metro lineal			
Fundación	m3	m3 en 1ML	Costo ML
Excavación cimientos	\$ 9.000	0,3	\$ 2.700
Emplantillado	\$ 43.000	0,025	\$ 1.075
Cimiento	\$ 70.000	0,2	\$ 14.000
Sobrecimiento	\$ 200.000	0,06	\$ 12.000
			\$ 29.775

Muro Albañilería	\$ 77.000	0,36	\$ 27.720
Cadena H.A.	\$ 200.000	0,045	\$ 9.000
Pilar	\$ 336.000	0,054	\$ 18.144
Mano obra (15 000 x día)			\$ 15.000
			\$ 69.864

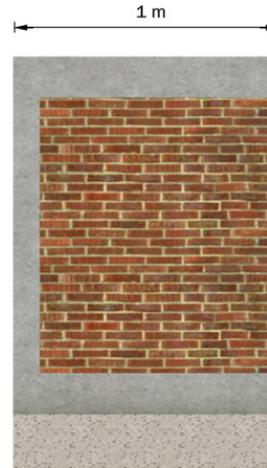
Terminaciones	m2	m2 en 1ML	
Estuco muro int. - ext.	\$ 6.200	2,4	\$ 14.880
Pintura latex int.-ext.	\$ 2.600	2,4	\$ 6.240
			\$ 21.120

Costo total 1 ML : 5.5 UF

Cubicación Muro de Suelo-cemento - 1 metro lineal			
Fundación	m3	m3 en 1ML	Costo ML
Excavación cimientos	\$ 9.000	0,3	\$ 2.700
Emplantillado	\$ 43.000	0,025	\$ 1.075
Cimiento	\$ 70.000	0,2	\$ 14.000
Sobrecimiento	\$ 200.000	0,06	\$ 12.000
			\$ 29.775

	Precio U.		Costo ML
Anclaje inferior	1		\$ 3.000
Barra redonda lisa 19mm (6m)	\$ 14.972		\$ 6.238
Hilo para barra (costo)	\$ 1		\$ 5.000
Madera de bruto 2x12" referencial	\$ 9.000		\$ 2.813
Flanche 100x150x5mm (perforado)	\$ 2.500		\$ 2.500
Golilla 3/4"	\$ 250		\$ 250
Tuerca hexagonal zincada 3/4"	\$ 500		\$ 500
Madera 2x8"	\$ 5.900		\$ 1.843
Mano de obra, apisonado manual			\$ 23.000
cemento (1,4 sacos x ML)	\$ 4.350		\$ 6.090
Moldaje	\$ 35.200		\$ 11.700
			\$ 62.934

Costo total 1 ML : 4.2 UF



5.5 Uf

Sobrecimientos
Cadenas y Muro:

1m3 : 7 sacos cemento

v/s



4.2 Uf

Muro S.C.:

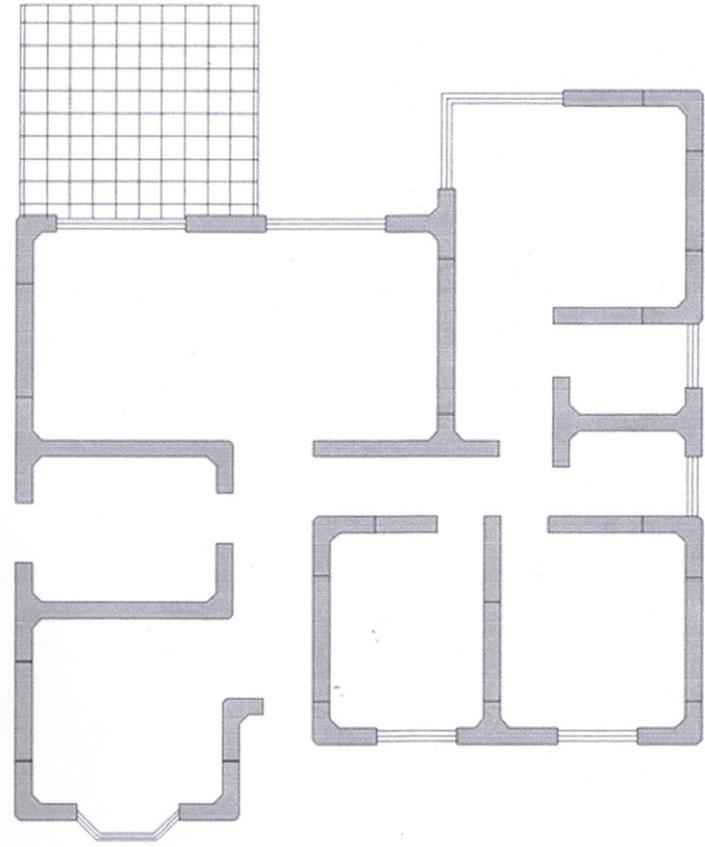
1m3 : 2.35 sacos cemento

Ejercicio de simulación – Organización de distintos espacios

Vivienda albañilería armada



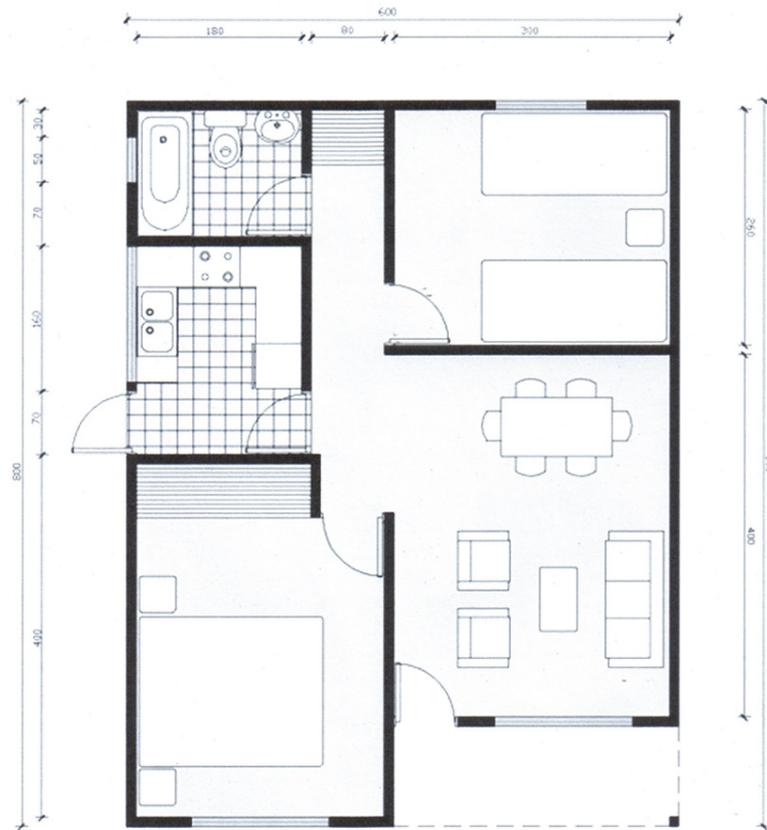
Vivienda muros de suelo-cemento



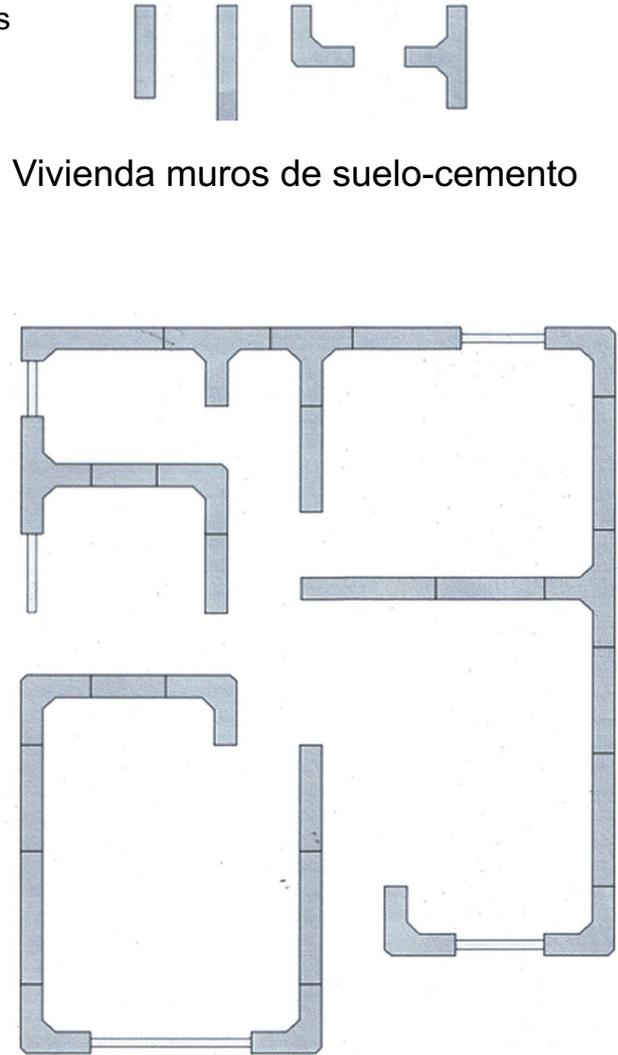
SIMULACIÓN

Ejercicio de simulación – Organización de distintos espacios

Vivienda de madera



Vivienda muros de suelo-cemento



SIMULACIÓN

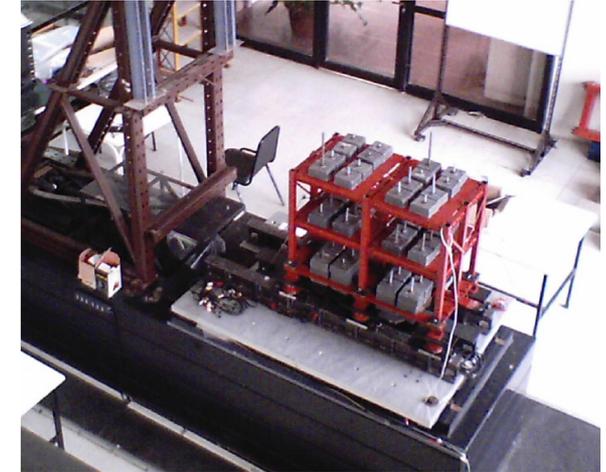
Modelación a escala reducida de viviendas de adobe sometidas a sismo

Memoria de Titulación UTFSM
Construcción Civil 2007

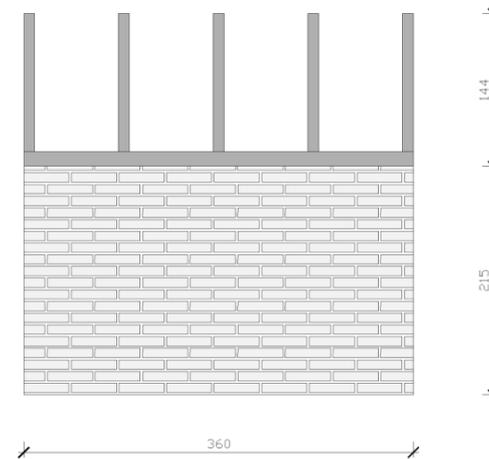
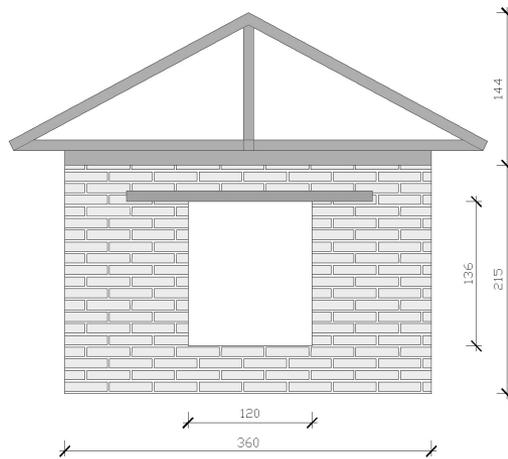
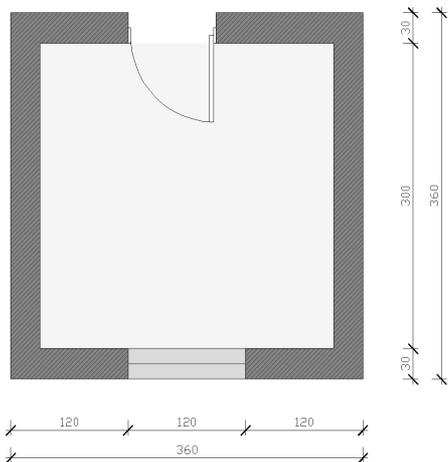
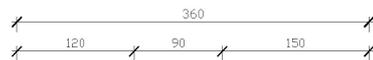
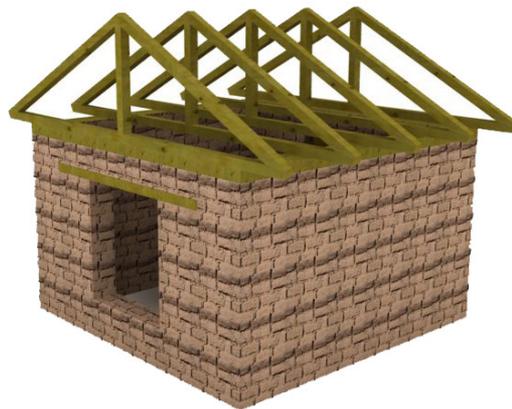
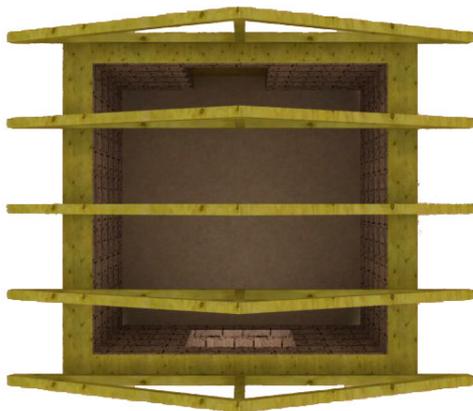
Carlos Berríos



- Fabricación de adobes
- Ensayo de los adobes (compresión)
- Construcción de los modelos (escala 1:7)
- Ensayo de los modelos de adobe en la mesa sísmica



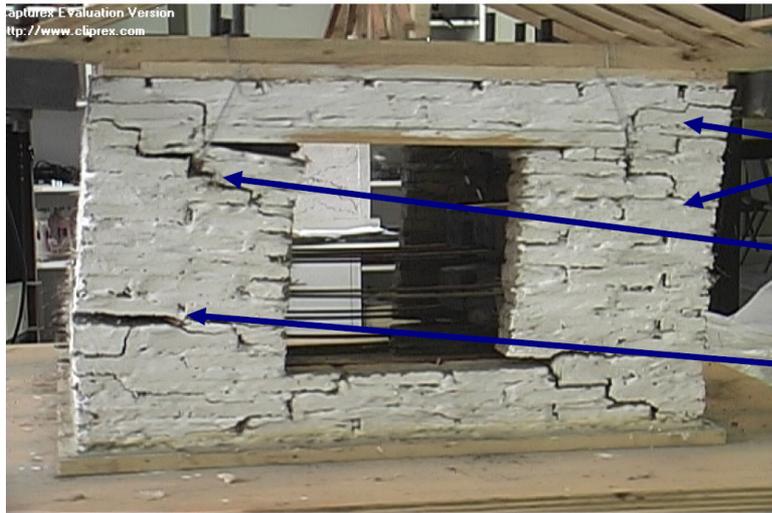
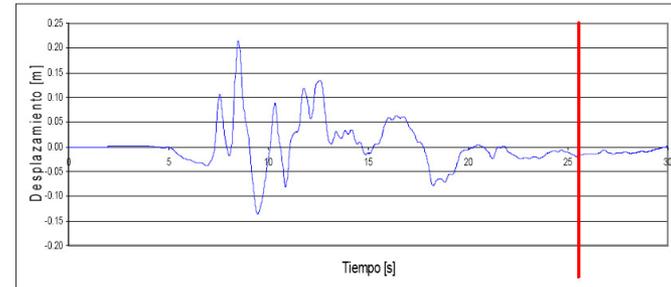
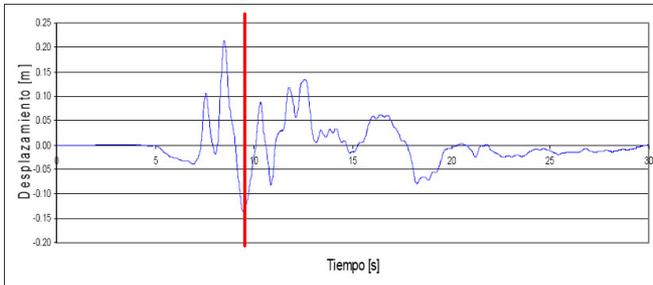
Modelación a escala reducida de viviendas de adobe sometidas a sismo



MODELOS DE ADOBE

Modelación a escala reducida de viviendas de adobe sometidas a sismo

Ensayo de los modelos de adobe a escala



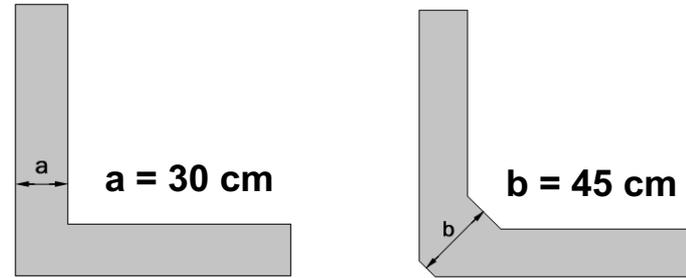
Grietas 45°



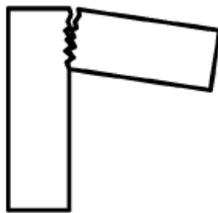
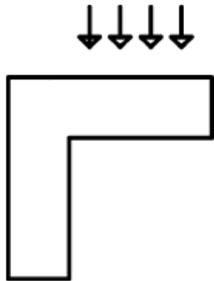
Muros salen de su plano vertical

Propuesta A :Solución Esquina

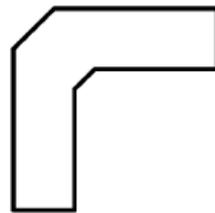
Debido a que las fuerzas **perpendiculares** se concentran en la esquina del ángulo, éste tiende a abrirse, por ello es recomendable diseñarlas con un **espesor mayor** a la del resto del elemento evitando el ángulo recto.



$$a < b$$



incorrecto



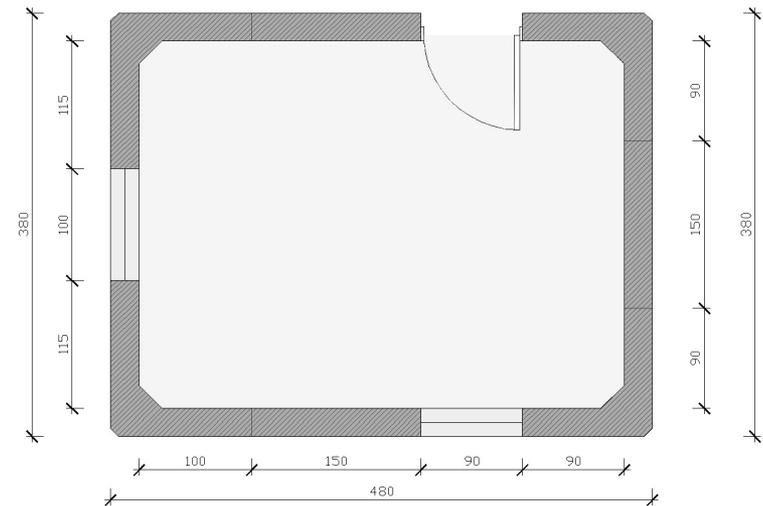
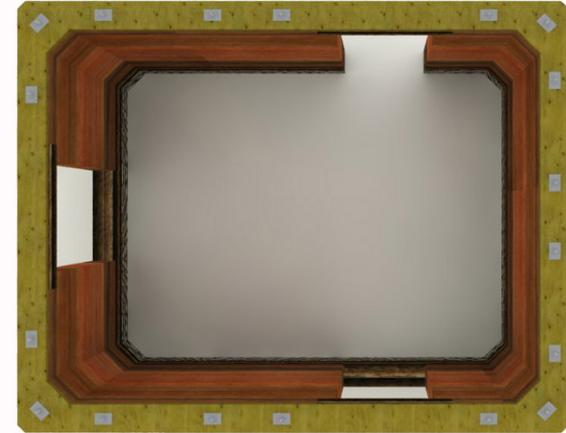
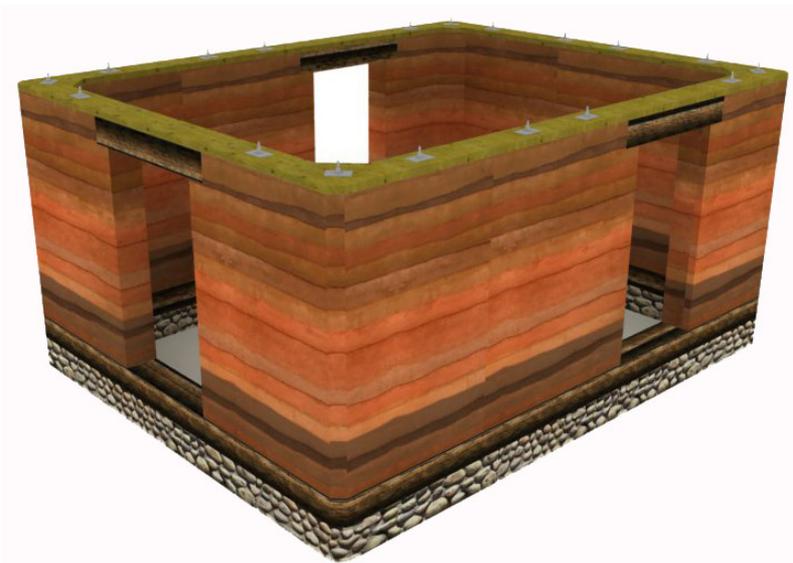
correcto



Modelación a escala reducida de suelo-cemento compactado

Propuesta A:

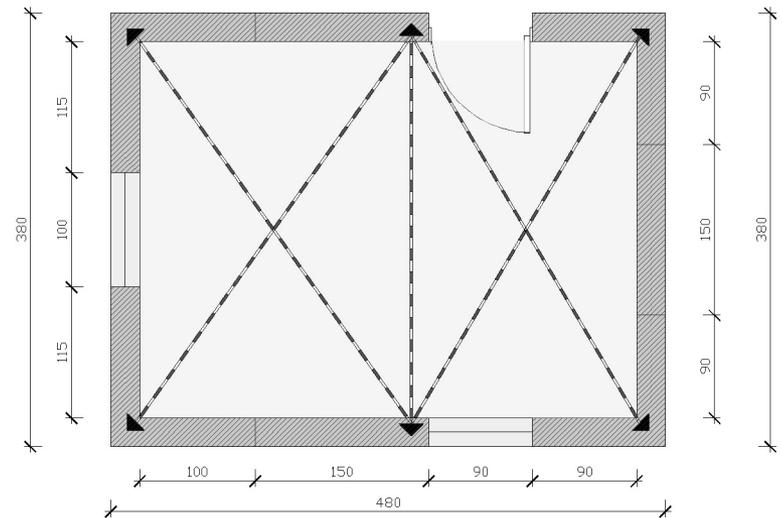
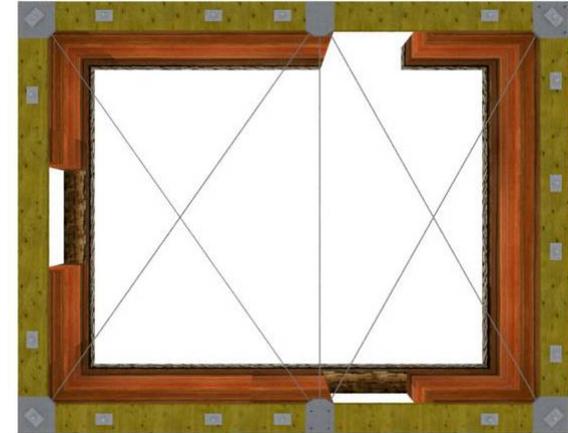
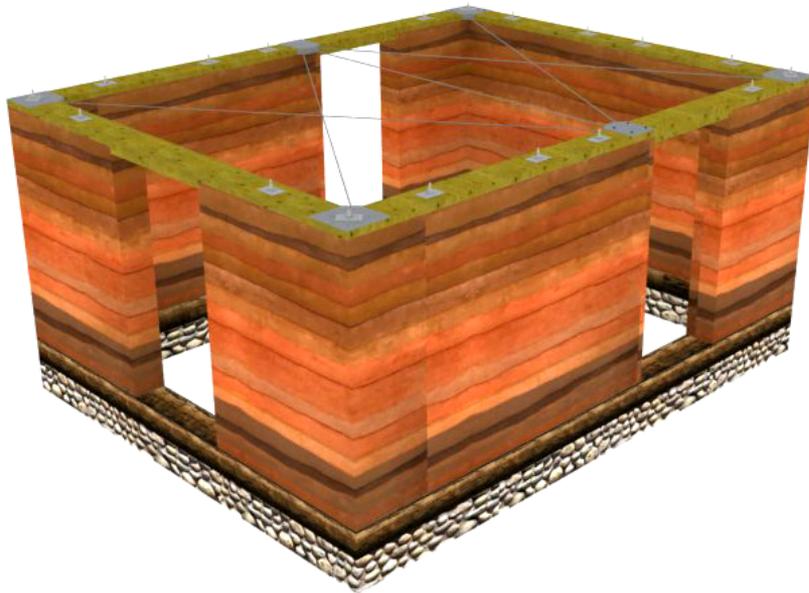
Aumento del espesor de las esquinas, evitando el ángulo recto, para mejorar estabilidad y rigidez.



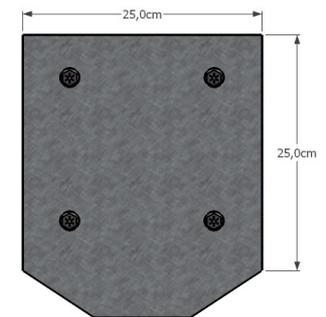
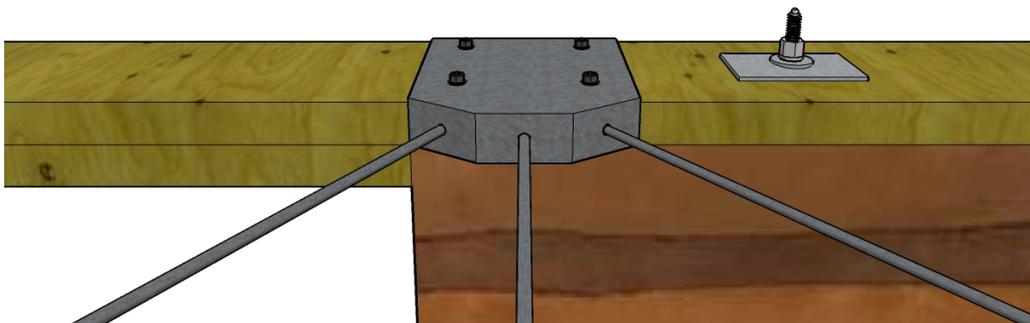
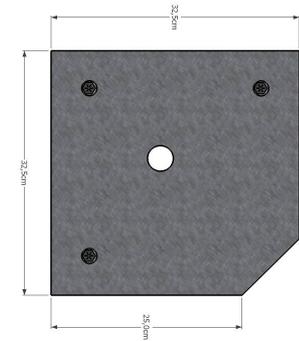
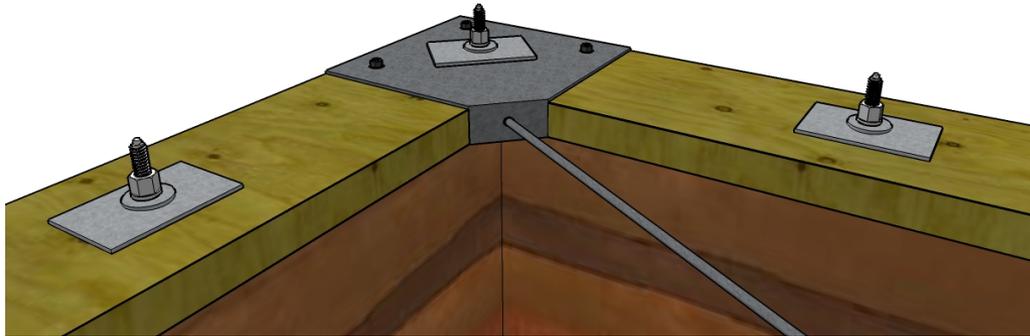
Modelación a escala reducida de suelo-cemento compactado

Propuesta B:

Diafragma rígido, mediante tensores en el plano superior del modelo.



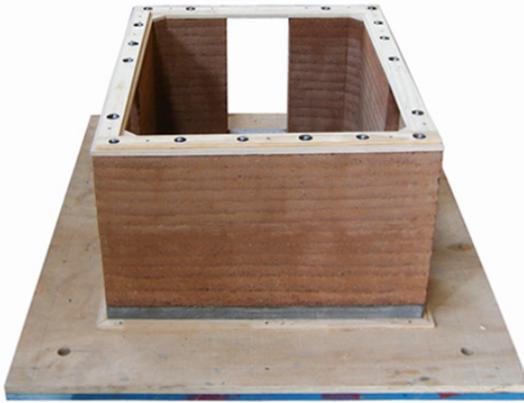
Modelación a escala reducida de viviendas de adobe sometidas a sismo



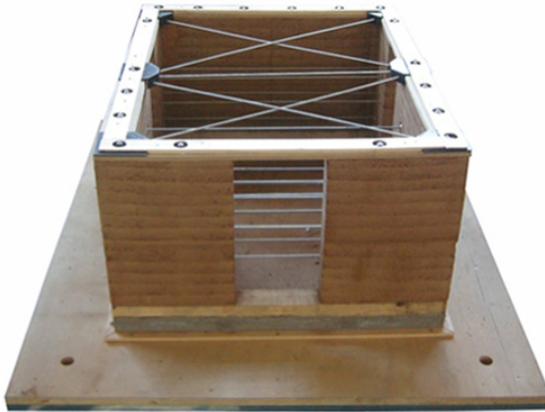
Ensayos de simulación sísmica



Maqueta A



Maqueta B

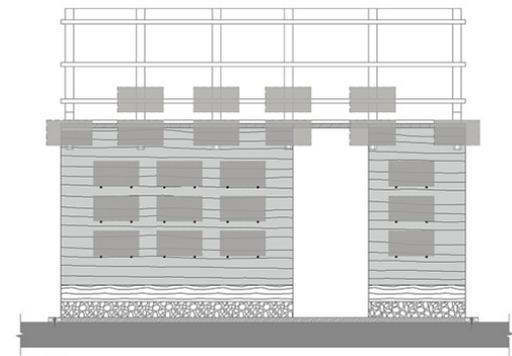
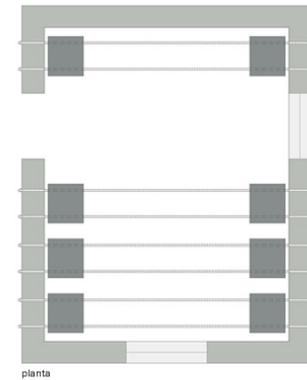
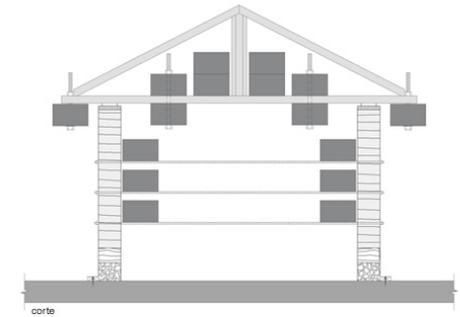
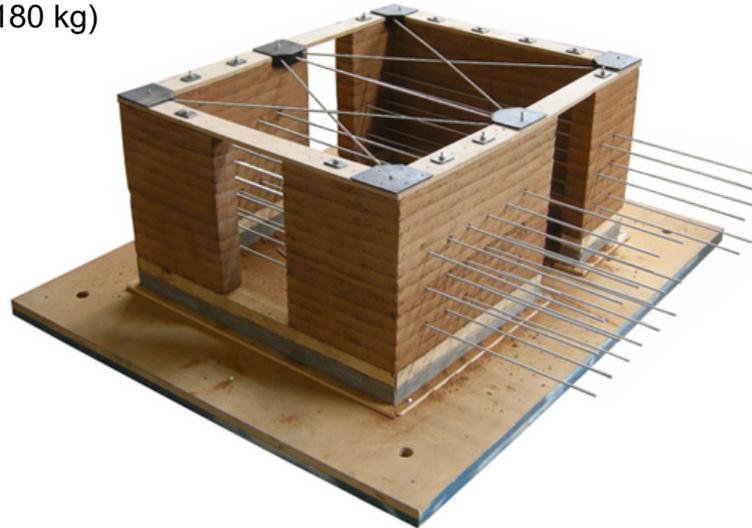


Plomo

Muros: 24 plomos (108kg)

Techumbre: 40 plomos (180 kg)

Total: 288Kg





VIDEOS

Catastro de grietas

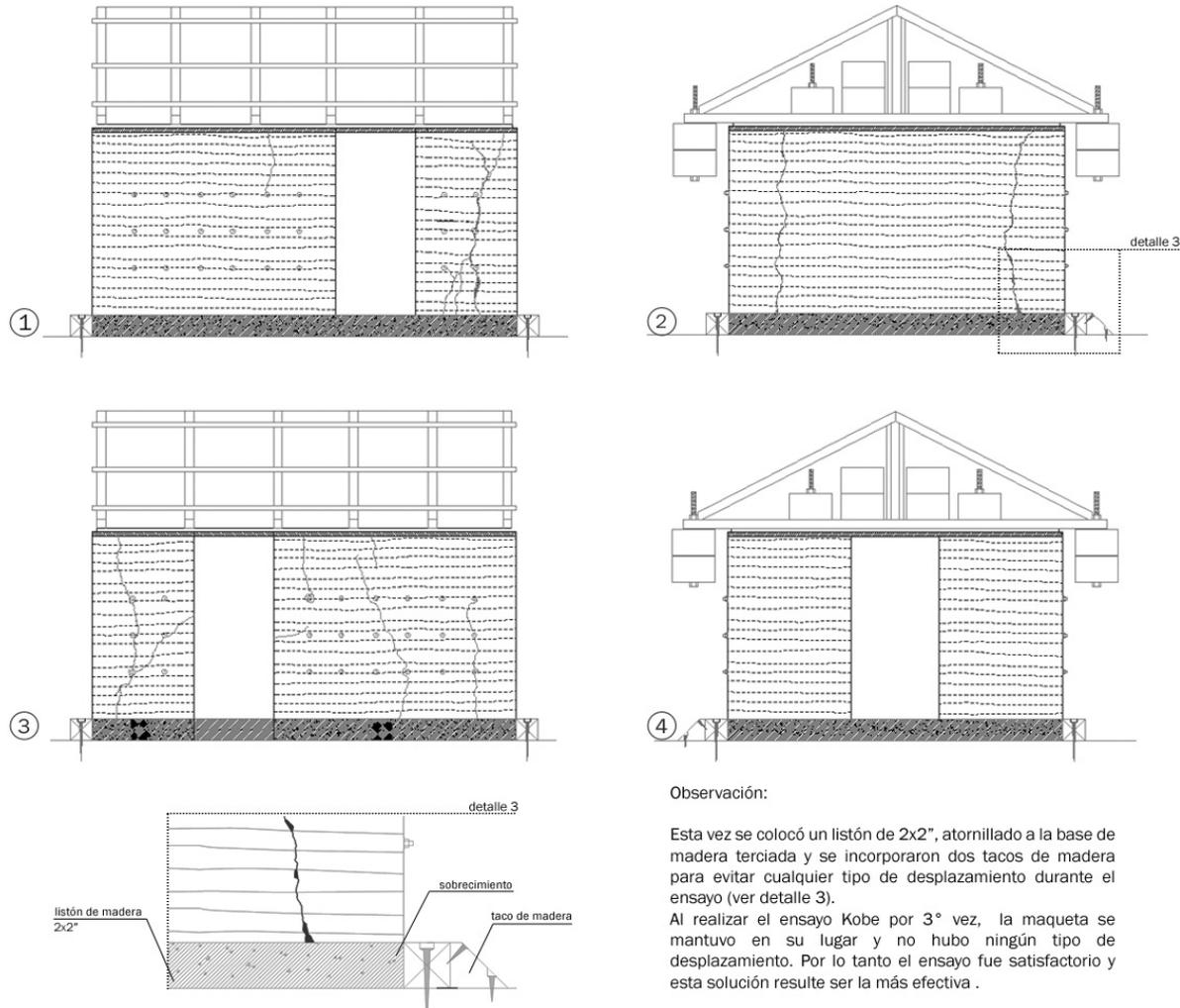
Maqueta 1 (refuerzo esquinas)



GRIETAS

Catastro de grietas

Maqueta 1 (refuerzo esquinas)



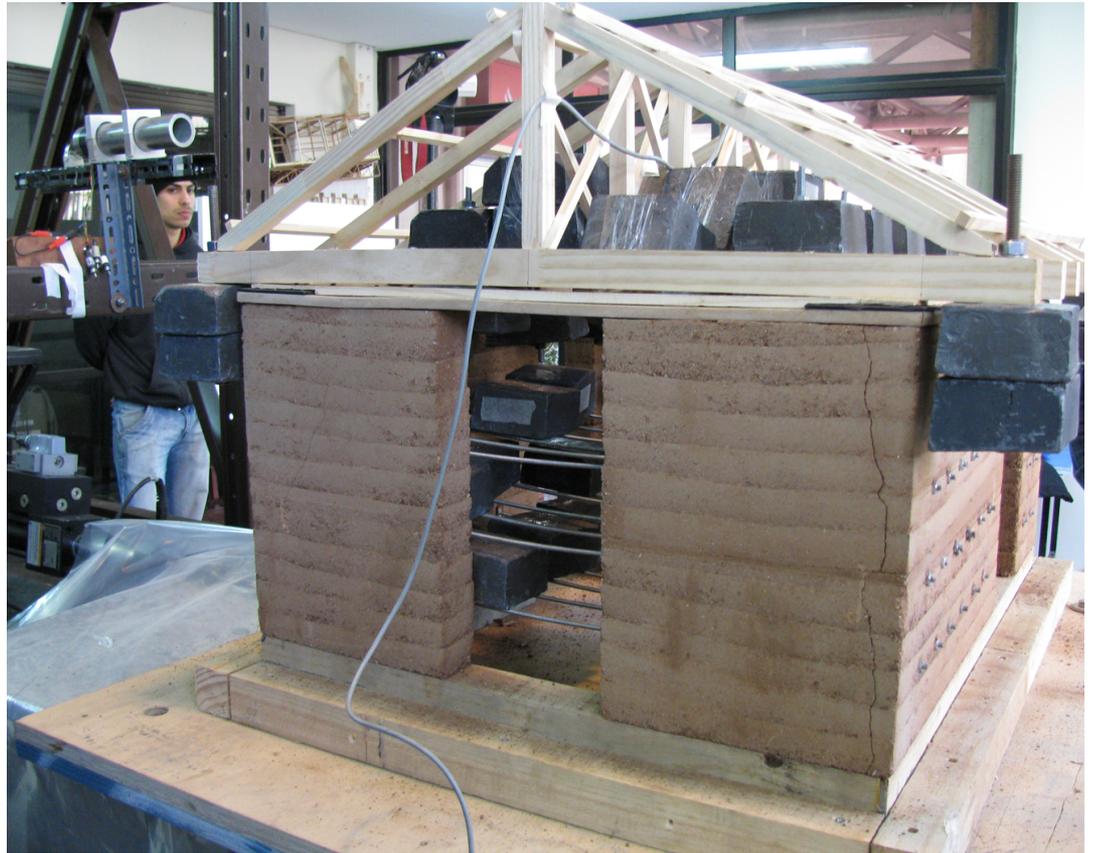
Observación:

Esta vez se colocó un listón de 2x2", atornillado a la base de madera terciada y se incorporaron dos tacos de madera para evitar cualquier tipo de desplazamiento durante el ensayo (ver detalle 3).

Al realizar el ensayo Kobe por 3° vez, la maqueta se mantuvo en su lugar y no hubo ningún tipo de desplazamiento. Por lo tanto el ensayo fue satisfactorio y esta solución resulte ser la más efectiva .

Catastro de grietas

Maqueta 2 (diafragma rígido)



GRIETAS

Catastro de grietas

Maqueta 2 (diafragma rígido)



GRIETAS

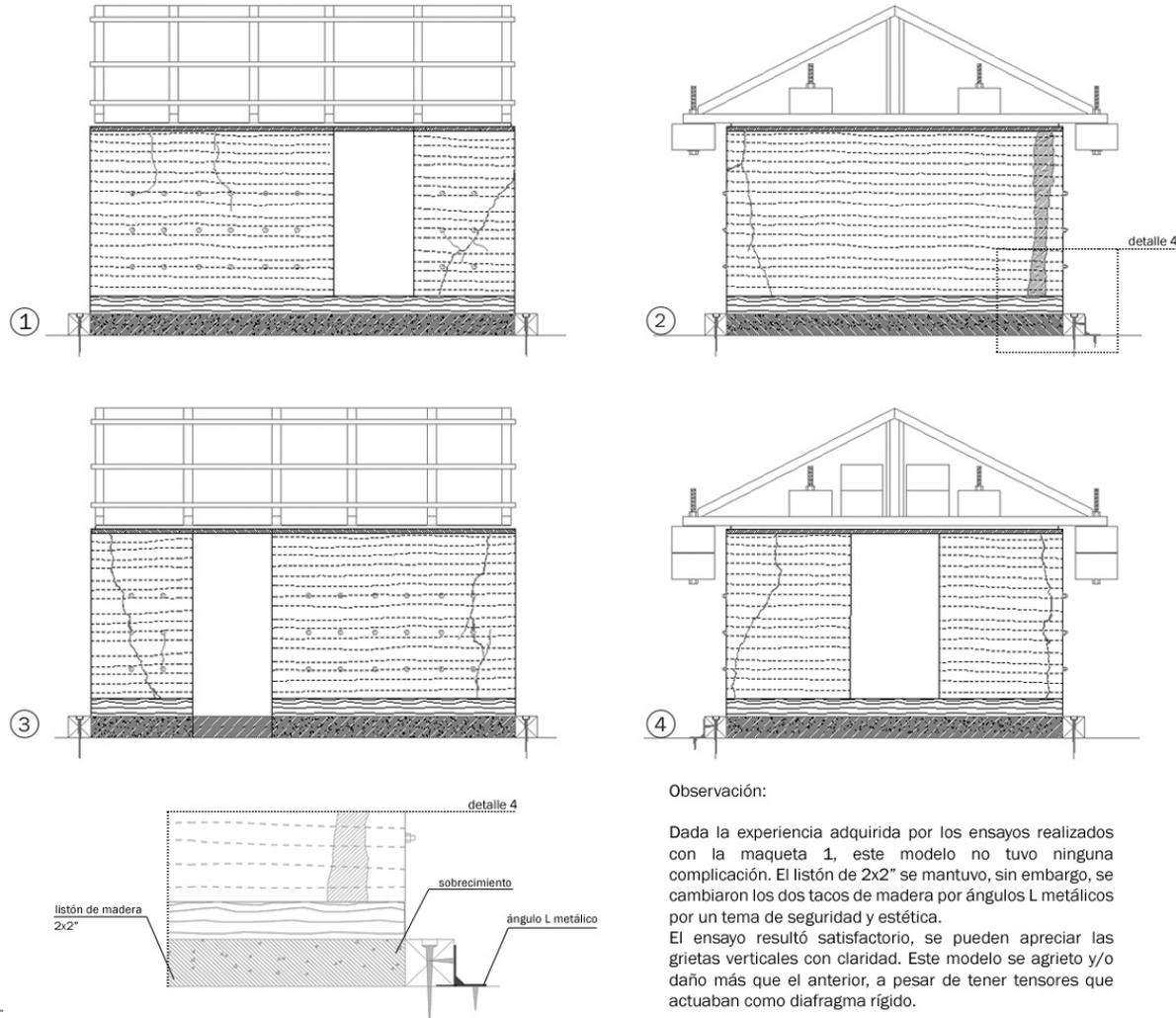
Catastro de grietas

Maqueta 2 (diafragma rígido)



Catastro de grietas

Maqueta 2 (diafragma rígido)



Observación:

Dada la experiencia adquirida por los ensayos realizados con la maqueta 1, este modelo no tuvo ninguna complicación. El listón de 2x2" se mantuvo, sin embargo, se cambiaron los dos tacos de madera por ángulos L metálicos por un tema de seguridad y estética. El ensayo resultó satisfactorio, se pueden apreciar las grietas verticales con claridad. Este modelo se agrietó y/o dañó más que el anterior, a pesar de tener tensores que actuaban como diafragma rígido.

Conclusiones

Se apostó por diseñar un sistema constructivo en base de suelo-cemento compactado con un sistema post-tensado. La hipótesis de trabajo plantea dos posibles soluciones para resolver el tema del sismo.

Desde el punto de vista del comportamiento antisísmico, se cumple en gran medida el objetivo principal de la tesis, puesto que ambos modelos ensayados **no colapsaron**.

Con respecto al costo del sistema constructivo, se concluye que éste no es de tan bajo costo como el adobe, debido a los tensores verticales y al herraje, pero sí más económico que un muro de albañilería. Cabe destacar que un muro de suelo-cemento **no** requiere de una **aislación adicional**. Es un **sistema que queda terminado** sin necesidad de estuco, y tiene un **mejor índice térmico** si se compara con un muro de albañilería.

Su campo de aplicación se orienta a dos grandes oportunidades. En primer lugar, la construcción de viviendas económicas (de geometrías simples y un solo nivel) y en segundo lugar la restauración de edificios con valor patrimonial.

Finalmente, se comprobó que es posible construir viviendas con geometrías simples o recintos de poca complejidad programática con el sistema propuesto dentro de un rango de seguridad antisísmica.



Recomendaciones de investigación a futuro...

- Construcción de un prototipo 1:1 o una parcialidad del mismo y ensayarlo.**
- Desarrollar un sistema de moldajes (económico, reutilizable y de fácil instalación).**
- Explorar alternativas de materialidad para el tensor de acero.**
- Investigar la “distancia” entre tensores.**
- Pre-fabricación del sistema.**
- Evaluación de desempeño bajo otros parámetros:**
 - resistencia a la humedad
 - capacidad de soportar un 2° piso en estructuras livianas
 - Investigación en capacidades morfológicas del sistema