

REFUERZO DE VIVIENDA DE ADOBE EN ZONAS SISMICAS

Roberto Meli y Oscar Hernández B.
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Se describen los resultados parciales de un estudio tendiente a encontrar procedimientos eficientes y económicos para mejorar la seguridad ante sismo de las viviendas de adobe. El trabajo incluye: la descripción del comportamiento sísmico observado y de los modos de falla de los tipos más usuales de vivienda; los resultados de ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, los del ensayo de muros ante cargas alternadas y los de pruebas en mesa vibradora. Se describen diferentes métodos de refuerzo y se comenta acerca de su eficiencia.

INTRODUCCION

Se estima que en México más del 75% de las viviendas existentes han sido construidas sin la intervención de profesionales, sin apearse a reglamentos de construcción, con materiales locales y con mano de obra principalmente constituida por los propios usuarios de la vivienda. Esta modalidad de construcción es característica del medio rural, pero es muy frecuente también en el medio urbano. La situación es similar en otros países de América Latina.

Las viviendas así construidas no son necesariamente inadecuadas. Especialmente en el medio rural, las soluciones constructivas suelen ser muy apropiadas para las condiciones climáticas y para los patrones culturales locales; es muy frecuente, sin embargo, que las condiciones higiénicas sean inadecuadas, que la durabilidad sea escasa y que la seguridad ante fenómenos excepcionales como terremotos, ciclones e inundaciones sea insuficiente.

En el Instituto de Ingeniería de la UNAM se están realizando, con el apoyo de algunos organismos públicos, investigaciones sobre distintos aspectos de este problema. Un grupo de estudios está dedicado al mejoramiento de materiales de construcción no industrializados; incluye los materiales a base de suelos estabilizados, y mejorados a través de la adición de productos vegetales de bajo costo, así como el tratamiento de materiales vegetales de construcción para aumentar su durabilidad.

Otro tema de estudios es el de procedimientos para autoconstrucción, especialmente de techos, que impliquen un mínimo de materiales industrializados, que aprovechen las características de la mano de obra disponible y que sean adecuados en las condiciones actuales en que muchos de los materiales tradicionalmente empleados no son ya fácilmente accesibles.

El problema al que se está dedicando el mayor esfuerzo es el de la seguridad

contra sismos. La experiencia muestra que la casi totalidad de pérdidas de vidas que ocurren a raíz de sismos importantes se debe al colapso de viviendas autoconstruidas. Por no mencionar más que el caso más elocuente, en el temblor de Guatemala de 1975 más de 20 000 personas perdieron sus vidas casi exclusivamente debido al colapso de viviendas de adobe de un piso.

El problema presenta dos aspectos, el del refuerzo de la vivienda existente y el de construcción de vivienda nueva. El primero debe concentrarse en las construcciones de adobe, piedra y otras mamposterías no reforzadas, que son las más frecuentes. Para el segundo puede pensarse en otros materiales y procedimientos constructivos que son más eficientes y también más económicos que aquellos, en las condiciones actuales.

El programa de investigación que se está realizando tiene como objetivos encontrar procedimientos para evaluar la seguridad de las construcciones existentes, determinar la eficiencia de distintos procedimientos de refuerzo y recomendar soluciones que se basen en el empleo de materiales propios de cada región y un mínimo de materiales industrializados y que puedan ejecutarse con mano de obra no especializada y con un mínimo de supervisión técnica.

El estudio se encuentra en proceso. En otro trabajo¹ se presentan los resultados de los estudios analíticos sobre el comportamiento sísmico de las viviendas típicas de adobe cuyo fin es obtener procedimientos sencillos para la revisión de la seguridad. El presente artículo se refiere a la parte experimental e incluye el análisis del comportamiento sísmico observado, y la descripción y evaluación preliminar de diferentes procedimientos de refuerzo, así como la interpretación de resultados de ensayos en materiales, en elementos estructurales aislados ante cargas laterales alternadas y en modelos de viviendas ensayadas en mesa vibradora.

Aunque los estudios se refieren esencialmente a viviendas de adobe, muchas de sus conclusiones son aplicables a construcciones de piedra y mampostería no reforzada.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA DE ADOBE

El adobe es el material más empleado para los muros en la vivienda rural en México y Centro América. Las viviendas más comunes se caracterizan por un cuerpo principal de un solo piso, planta rectangular alargada de 30 a 50 m² de área, frecuentemente sin muros divisorios, y muros de 3 a 3.5 m de altura con espesores de 40 a 60 cm, sin refuerzo.

Los sistemas de techo varían según el clima de la región. La solución más común, propia de climas cálidos o templados, es a base de armaduras de madera con teja de barro. En una variante, fig 1a, se colocan armaduras completas a separaciones de 80 a 100 cm, sobre las que se sujetan "listones" de madera que soportan las tejas. En otra variante, fig 1b, una viga robusta longitudinal descansa sobre los muros cagibeceros y, en los tercios de claro, se apoya en vigas transversales; elementos generalmente de madera rolliza, se apoyan en los muros y en la viga longitudinal y reciben

los listones de madera y las tejas. En climas muy cálidos se coloca un tapanco de madera para tener un mejor aislamiento. Los techos son generalmente de dos aguas con pendientes entre 25 y 50%; techos de un agua o de cuatro son menos frecuentes.

En regiones de climas más extremos y de escasa precipitación pluvial se emplea el terrado (fig 1c) en el que el techo está formado por vigas de madera separadas aproximadamente 50cm, sobre las cuales se colocan tablas de madera que soportan un relleno de tierra de 30 a 50 cm de espesor. El techo se termina con una capa de mortero, generalmente de cal. Estos techos son de una agua, con pendientes inferior a 10%.

Frecuentemente, tanto el adobe de los muros como la madera de los techos se encuentran deteriorados por intemperización.

Lo anterior permite definir como vivienda típica la que se muestra en la fig 1b, en la que hay dos variantes en cuanto a peso de techo, el ligero de 60 kg/m^2 , representativo del techo de teja y el pesado representativo del terrado, con 500 kg/m^2 . En ningún caso el techo forma diafragma. La vivienda anterior es la que se empleó en los estudios analíticos y experimentales.

COMPORTAMIENTO SISMICO Y MODOS DE FALLA

Las casas de adobe como las descritas en la sección anterior se caracterizan por la escasa densidad de muros, por la apreciable altura y longitud sin refuerzo de los mismos y por la escasa restricción que el techo proporciona a los extremos superiores de los muros. Todo ello hace que el comportamiento esté regido por la flexión de los muros en dirección normal a su plano.

En la ref 1 se describe con detalle el comportamiento dinámico de este tipo de construcciones. El modo fundamental de vibración, obtenido del análisis teórico de la ref 1, se muestra en la fig 2; se aprecia que las vibraciones inducen momentos flexionantes críticos en las esquinas superiores de los muros, las cuales se agrietan progresivamente hacia abajo, de manera que el muro frontal comienza a vibrar como un voladizo, ocurriendo el volteamiento cuando la altura agrietada del muro es suficiente para que la resultante de fuerzas caiga fuera de la sección del muro. El volteamiento ocurre casi siempre hacia afuera, ayudado por el coceo del techo. Este modo de falla es el que se ha observado con mayor frecuencia a raíz de sismos.

En viviendas en que la longitud no soportada de muros sea pequeña o en que los techos proporcionen restricción a la flexión, o en las de más de un piso, la falla suele ocurrir por cortante a través de grietas diagonales. Este modo de falla es propiciado frecuentemente por la existencia de aberturas importantes en los muros, fig 2.

Se han observado indicios de que el colapso se ha iniciado en ocasiones por la caída del techo, ya sea por fallas locales en las conexiones o en la madera misma por encontrarse muy deteriorada, o por deslizamiento de los elementos del techo sobre los muros a los que están fijados en forma muy precaria. Una falla parcial, que

ocurre con frecuencia aún para sismos de moderada intensidad, es la caída de tejas que se deslizan por efecto de las aceleraciones verticales y horizontales y caen a veces dentro de la misma vivienda.

PROCEDIMIENTOS DE REPARACION Y REFUERZO

Son diversas las soluciones que se han propuesto en la literatura para reforzar las viviendas de adobe. Como requisito más elemental se recomienda usualmente colocar algún elemento perimetral en el extremo superior de los muros para proporcionar continuidad entre los muros transversales, para aumentar la resistencia a flexión y la rigidez, y para permitir una mejor liga con el techo. Este elemento puede ser una viga de concreto; por ejemplo, en la ref 2 se sugieren detalles constructivos que permiten lograr una liga adecuada de esta viga de concreto con el adobe y con el techo, ver fig 3. Otra opción³ es el empleo de una viga de alma abierta de madera como la indicada en la fig 4. Una forma muy sencilla de ligar los muros es a través de barras de acero tensadas; este procedimiento, ver fig 5, ha sido usado⁴ para reforzar viviendas de mampostería de piedra dañadas a raíz del temblor de Skopje (1963) y los del Friuli (1975).

Procedimientos que buscan una mejora más radical del comportamiento, consisten en colocar elementos de concreto verticales en las esquinas y en las aberturas, los cuales junto con la viga corona, forman marcos que confinan el adobe, fig 6. Debido a las dimensiones de los muros, estos elementos de concreto resultan muy robustos y hacen la solución muy complicada y costosa. Otras modalidades de refuerzo consisten en la colocación de elementos verticales de madera dentro del adobe o adosados a los muros y ligados al techo⁵.

Un procedimiento que tiende a lograr refuerzo, rigidización y liga de los muros, así como su protección de la intemperie es el que se muestra en la fig 7 y que consiste⁶ en colocar un recubrimiento de mortero de cemento sobre una malla de acero de refuerzo fijada cuidadosamente al muro por ambas caras, formando un elemento compuesto de adobe y concreto reforzado.

Al juzgar los distintos procedimientos de refuerzo hay que considerar la eficiencia en aumentar la seguridad contra sismo, la facilidad de ejecución en una vivienda ya terminada y el costo en cuanto a materiales de construcción. Es evidente que las distintas alternativas propuestas difieren mucho en cuanto a los aspectos mencionados. Una evaluación preliminar de ellas se intentará al final del trabajo, tomando en cuenta los resultados experimentales obtenidos.

PROPIEDADES MECANICAS DE LA MAMPOSTERIA DE ADOBE

El objetivo de esta etapa fue determinar las propiedades de la mampostería de adobe que más influyen en el comportamiento sísmico y obtener, para los materiales empleados en las distintas regiones, valores medios y medidas de la variabilidad para estas propiedades.

Se recolectaron muestras de adobes de diferentes regiones de la República Mexicana elegidas entre las de mayor riesgo sísmico; de estas muestras se sacaron especímenes para ensayos de compresión y de tensión por flexión. Los resultados para cada procedencia de los adobes se muestran en la tabla 1, de la que se observa que el intervalo de variación para ambas propiedades es amplio y que los valores promedios son 10 y 3 kg/cm², para la resistencia en compresión y tensión por flexión respectivamente.

En laboratorio se fabricaron adobes con distintos tipos de suelos, hasta elegir uno con el que se obtenían consistentemente resistencias de 15 y 3.2 kg/cm² a compresión y tensión, respectivamente. Aunque la resistencia en compresión era notablemente superior al promedio de los adobes obtenidos en el muestreo, se consideró que la propiedad más importante a reproducir era la resistencia en tensión. Se procuró además obtener características similares en cuanto a contracción, lo cual se logró dosificando la cantidad de paja en la mezcla.

Con estos adobes fabricados en laboratorio, se estudiaron las propiedades mecánicas del conjunto adobes-mortero, en ensayos típicos para mampostería⁷. Los ensayos se realizaron en especímenes fabricados con piezas de distintas dimensiones, 10x16x60 y 4x16x24 cm, obteniéndose resultados muy similares en los dos casos. Las modalidades de ensayo y los resultados se describen en la tabla 2. Se aprecia que la resistencia en compresión no depende prácticamente de la calidad del mortero, no así el módulo de elasticidad y la resistencia en cortante. En general se observó que con morteros de lodo se obtenían mejores resultados que con los de cal y que con morteros de cemento y lodo la resistencia al corte aumentaba notablemente. Se observó la necesidad de humedecer los adobes antes de colocar el mortero. Las curvas carga deformación en compresión, fig 8, muestran un comportamiento no lineal desde cargas muy bajas. Las resistencias en tensión por flexión y cortante obtenidas son más altas que las que se reportan en ensayos de otras fuentes (ref 8 y 9).

Se ensayaron dos muros de 2x2m ante carga lateral; la posibilidad de falla por flexión se eliminó colocando refuerzo vertical en los extremos; los adobes se pegaron con mortero de lodo; la falla fue por tensión diagonal en el adobe para un esfuerzo cortante de 1.1 kg/cm² en ambos ensayos. El comportamiento fue lineal casi hasta el esfuerzo máximo definiendo un módulo de cortante promedio de 750 kg/cm²; ante repeticiones de cargas alternadas se lograron ciclos estables antes del agrietamiento diagonal; después de este la capacidad del muro para soportar cargas alternadas se redujo prácticamente a cero (fig 9).

Con base en las propiedades mecánicas así determinadas se está realizando la interpretación de los ensayos de mesa vibradora y se están planteando los métodos de verificación de la seguridad de las viviendas.

PRUEBAS DINAMICAS EN MESA VIBRADORA

Las características peculiares de las construcciones de adobe dificultan el estudio

del comportamiento ante cargas laterales por medio de ensayos sencillos, principalmente por la dificultad de aplicar cargas a los especímenes sin que se produzcan fallas locales en los puntos en que se concentran las cargas. Un tipo de ensayo sencillo y representativo consiste en colocar el modelo en una plataforma cuya inclinación puede variarse gradualmente⁹. Una manera más elaborada es a través de ensayos en mesa vibradora.

En el Instituto de Ingeniería se cuenta con una mesa vibradora de 2.4x4.5 m con capacidad para recibir modelos hasta de 15 ton y aplicar movimientos en la dirección larga de la mesa que reproduzcan con fidelidad acelerogramas medidos o simulados. El desplazamiento máximo de la mesa es de ± 2.5 cm.

Para la vivienda en estudio, el tamaño de la mesa obliga a emplear un modelo a escala reducida o a reproducir solo una porción de la vivienda. Se eligió seguir el primer camino y emplear una escala de dimensiones de 2.5. Para reproducir el comportamiento dinámico se requiere cumplir con relaciones dimensionales que implican que, si en modelo y prototipo se mantienen iguales los pesos volumétricos, se requiere multiplicar las aceleraciones y dividir los tiempos entre la escala de dimensiones; de esta forma se reproducen los mismos esfuerzos dinámicos, pero los esfuerzos verticales en el adobe debido al peso propio son menores en el modelo con el inverso del factor de escala. Una forma alternativa de cumplir con las relaciones dimensionales es aumentar las masas del modelo proporcionalmente a la escala y mantener constante la escala de tiempos y aceleraciones; otra es reducir la resistencia del modelo para todos los modos de falla, inversamente a la escala de longitudes.

Se eligió la primera opción, pero se hicieron verificaciones de los resultados también para la segunda. Se consideró que el tener esfuerzos verticales menores que los reales no afectaba el modo de falla por flexión horizontal que debía regir la falla y que era conservador en cuanto a la falla por volteo.

Con los adobes producidos en laboratorio se construyó un modelo de escala 1 a 2.5 de la vivienda típica con el tipo de techo ilustrado en la fig 1b. Este modelo se sometió a la acción de la componente N-S del temblor El Centro. Se eligió este movimiento por tener periodos dominantes cortos, los cuales son más críticos para las construcciones en estudio. Por las limitaciones de desplazamiento de la mesa fue necesario alterar el acelerograma original, filtrando los movimientos de periodos largos para reducir el desplazamiento máximo a 6.5 cm (que a la escala del modelo equivalen a 2.5cm). Se comprobó que el movimiento corregido daba lugar al mismo espectro que el original en el intervalo de periodo de interés, fig 10.

El primer modelo ensayado no tenía refuerzo especial y su objetivo fue estudiar el comportamiento sísmico y los niveles de sismo que podía resistir una vivienda típica. El modelo se sometió al acelerograma mencionado con distintos niveles de aceleración máxima. Antes de cada prueba se realizaban ensayos de vibración libre para determinar la variación del periodo fundamental y del amortiguamiento. Se midieron aceleraciones en la mesa y en distintos puntos del modelo. Se aplicó inicialmente un movimiento correspondiente a 50% de la intensidad máxima (aceleración máxima del terreno

de 0.16g). Esto produjo agrietamiento por flexión en los muros largos. El daño no fue muy espectacular, pero fue evidente desde el punto de vista instrumental; se observó un incremento apreciable del período de vibración y del amortiguamiento después de este ensaye; además después de esta prueba los dos muros largos comenzaron a vibrar de manera independiente y con periodos diferentes. Posteriormente se aplicaron niveles de 10% hasta 100% de la intensidad total del sismo considerado. La fig 11 muestra la variación de periodo y amortiguamiento con la intensidad del sismo. El daño fue muy severo para 70% de la intensidad máxima, pero no se presentó el colapso total del modelo. Posteriormente se quitó el techo y se colocó un peso equivalente al de este, gravitando directamente sobre los muros. Se observó, para la intensidad máxima del sismo, una dislocación grave del modelo pero tampoco ocurrió el colapso.

Se cree que el colapso total no ocurrió debido a que se habían filtrado los periodos largos del temblor, por lo que los desplazamientos impuestos a la mesa no fueron suficientes para provocar el volteamiento de los muros ya totalmente sueltos. Se considera que para el 50% de la intensidad del sismo del Centro el daño en el modelo fue suficientemente severo para considerar que este había fallado. La variación de aceleraciones con la altura en la parte central del muro longitudinal se muestra para distintos niveles de sismo en la fig 12.

El segundo modelo fue idéntico al primero excepto por que contaba con una viga corona de concreto en la modalidad indicada en la fig 3. El periodo de vibración disminuyó en 16% debido a la rigidez proporcionada por la viga corona. Se aplicaron los movimientos sísmicos de manera similar al primer modelo, llegando al máximo de la intensidad sin que hubiera daños visibles. Los periodos y amortiguamientos aumentaron ligeramente, fig 11, denotando algún agrietamiento que reducía la rigidez. Posteriormente se colocó sobre los muros una masa equivalente a la de un techo de $500\text{kg}/\text{m}^2$ y tampoco se observó falla para la intensidad máxima del sismo.

Aunque se reconoce que los ensayos no permiten conclusiones precisas acerca de las intensidades de sismo que causan la falla de las viviendas de adobe, debido a limitaciones de los modelos y de la mesa vibradora, se cree que son muy indicativos en hacer patente el modo de falla y la mejora definitiva en el comportamiento sísmico si se coloca en la parte superior de los muros un elemento rígido continuo en el perímetro.

En general los ensayos indican una resistencia a sismo mayor de la que se esperaba; se considera que esto se debe solo en parte a limitaciones del ensaye y en particular a las características del movimiento sísmico aplicado; se cree que las viviendas de adobe han fallado con frecuencia para sismos de baja intensidad debido al deterioro que tanto el adobe como los techos habían sufrido con el tiempo.

CONCLUSIONES

El programa de investigación sobre el refuerzo de vivienda de adobe está todavía en proceso; los puntos principales que se van a estudiar se refieren a la evaluación de la eficiencia de diferentes procedimientos de refuerzo, al mejoramiento de las técnicas de construcción de modelos y de ensaye en mesa vibradora y a la interpretación conjunta de los resultados experimentales y los analíticos. Algunas

conclusiones importantes se pueden, sin embargo, extraer de lo que se ha realizado hasta el momento.

Las viviendas típicas de adobe de un piso deben su escasa seguridad ante efectos sísmicos a problemas de falla por flexión normal al plano de muros largos. Los procedimientos de refuerzo deben mejorar las siguientes características, en orden de prioridad.

Rigidización de los techos. Se requiere que las fuerzas de inercia puedan transmitirse a los elementos que sean capaces de resistirlas por medio de esfuerzos en su plano (muros alineados en la dirección de sismo); para ello es necesario que exista un elemento con alta rigidez horizontal a nivel del techo. Es conveniente rigidizar el techo para que forme diafragma por medio de un contraventeo en su plano. Una viga rígida (de concreto o madera) en el extremo superior del muro cumple parcialmente esta función.

Liga de los muros entre sí y con el techo. La unión de los muros en las esquinas por el simple cuatrapeo, y la de estos con el techo por medio del empotramiento directo de las vigas en el adobe, son muy poco eficientes. Se requiere de elementos que permitan una mejor liga. La viga corona de concreto o madera permite, por ejemplo, realizar una mejor unión entre los elementos.

Incremento de la resistencia en flexión de los muros. Esto puede lograrse reduciendo las longitudes libres de los muros y sus alturas, con una mayor subdivisión del espacio interior o con elementos de refuerzo horizontal de acero, madera o caña.

Proporcionar cierta ductilidad. Es importante disminuir el carácter altamente frágil de la falla de las construcciones de adobe. Esto puede lograrse con elementos de concreto que confinen los muros en todo su perímetro o con refuerzo vertical y horizontal, siempre que este se encuentre adecuadamente anclado al adobe.

Protección contra intemperización. Es necesario que tanto el adobe como la madera no vean afectada su resistencia por efecto de la intemperie. Por lo que respecta a los muros, la protección puede lograrse aislando el adobe de la humedad por medio de aleros en los techos y zoclos de piedra en la base o por medio de un recubrimiento por ejemplo con mortero de cemento.

Se considera que la forma más eficiente de cumplir todos los requisitos anteriores es por medio de refuerzo con malla de acero anclada al adobe y recubrimiento con mortero de cemento y con los detalles de liga en las esquinas y de refuerzo en los huecos descritos en la fig 6.

Otros sistemas de refuerzo son más económicos que el sugerido y posiblemente resulten suficientes en muchas situaciones. Entre ellos destacan el de la viga corona de concreto, fig 3, o, el mucho más sencillo en su ejecución, de los tirantes de acero, fig 5, aunque debería evaluarse su eficiencia más a fondo.

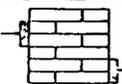
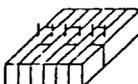
REFERENCIAS

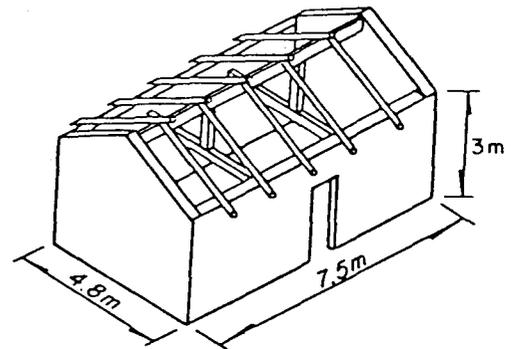
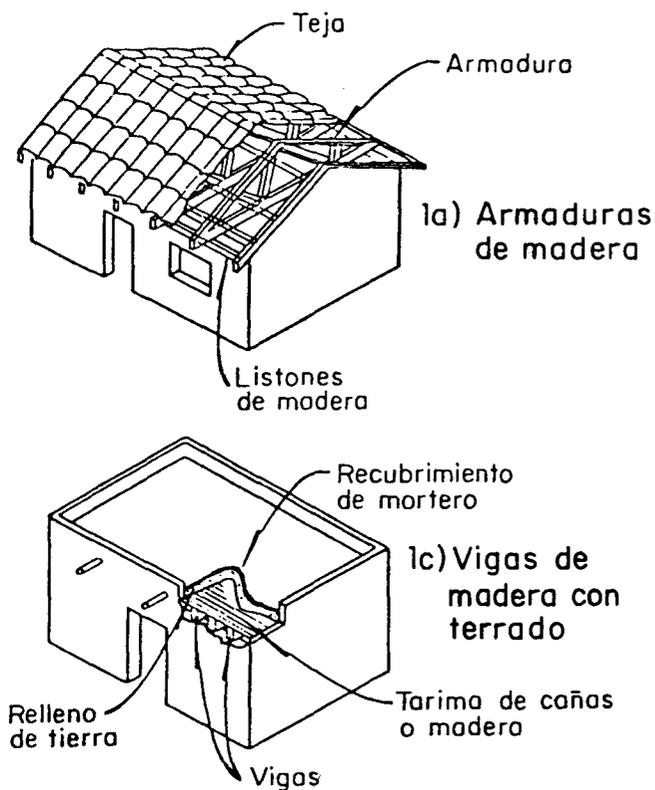
1. Bazán E., Padilla M. y Meli R., "Análisis sísmico de viviendas de adobe", Memorias de la Conferencia Centroamericana de Ingeniería Sísmica, San Salvador, 1978.
2. Escalante P. C. Y Merrifield C. C. "Casas de adobe antisísmicas" Dirección General de Servicios Técnicos, SAHOP. (Informe Interno) sept 1977.
3. "Asismicidad en vivienda económica", Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, Bogotá, 1959.
4. Vugrinec E., "Dettagli costruttivi della posa dei tiranti"; Quaderno No. 6, Cento di ricerca applicata e documentazione, Udine, 1977.
5. Pinar "Hystorical and modern earthquake-resitant construction in Turkey, Proc IWCEE, Berkeley, 1956.
6. Meli, R., Hernández B O., "Recomendaciones sobre el empleo de mampostería en construcciones para vivienda en zonas sísmicas", Ingeniería Sísmica, No. 14, México, ene 1976.
7. Meli R., y Reyes G A., "Propiedades mecánicas de la mampostería", Instituto de Ingeniería, Informe No. 237, México, sep 1969.
8. Yamashiro K.R., Sánchez O.A y Morales M.R., "Diseño sísmico de construcciones de adobe y suelo estabilizado", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1975.
9. Corazao M. y Blondet M., "Estudio experimental de comportamiento estructural de las construcciones de adobe frente a sollicitaciones sísmicas", Depto de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Perú, 1973.

TABLA 1 RESISTENCIA A COMPRESION Y A TENSION POR FLEXION DE ADOBES

PROCEDENCIA	COMPRESION kg/cm ²	TENSION kg/cm ²
Chiapas	16.0	2.0
Chiapas	9.9	*
Chiapas	7.9	4.0
Guatemala	9.1	*
Guerrero	8.1	3.0
Guerrero	5.2	4.4
Oaxaca	9.3	*
Oaxaca	13.5	2.0

TABLA 2 PROPIEDADES MECANICAS DE MAMPOSTERIA DE ADOBE

TIPO DE ENSAYE	MORTERO	RESISTENCIA kg/cm ²	MODULO DE ELASTICIDAD kg/cm ²
 Compresión axial en pila	Lodo	13.5+ 13.4	2500 2500
	1:2:9	14.0	5000
	0:1:3	Se despegaron los especímenes durante su manejo	
 Compresión por cortante	Lodo	1.4+ 1.2	+ piezas 10*16*60
	1:2:9	2.6	
	0:1:3	0.7	
 Cortante directo	Lodo	0.7	
 Flexión en murete	Lodo	2.6	



1b) Vigas y puntales

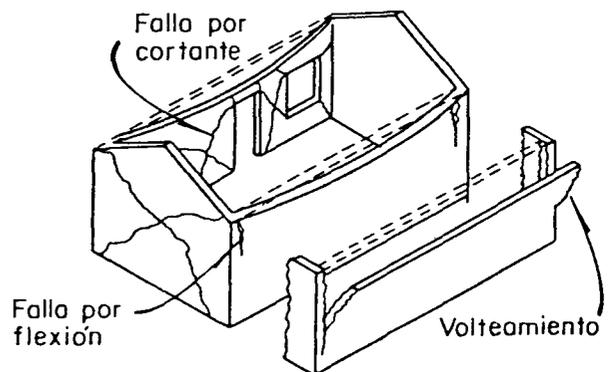


Fig 1. Tipos comunes de vivienda de adobe

Fig 2. Modos de falla de viviendas de adobe

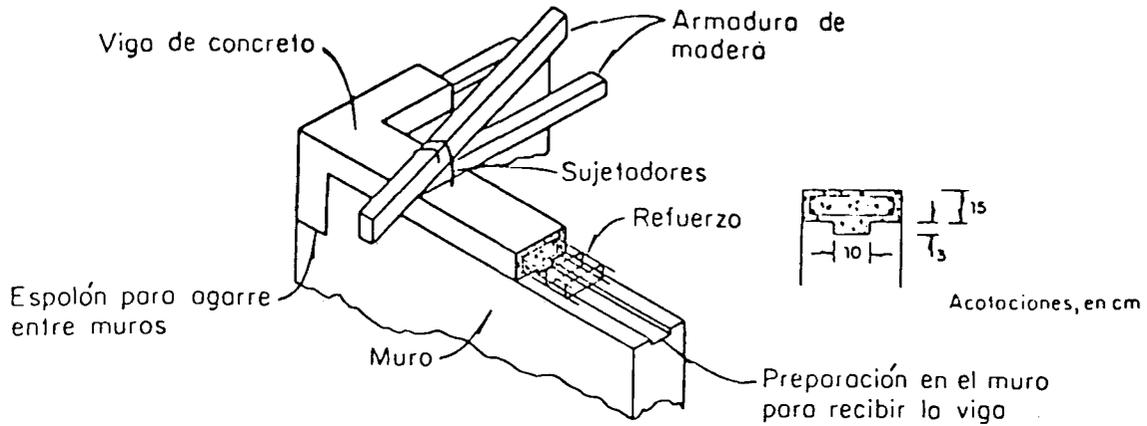


Fig 3. Refuerzo con viga cadena de concreto (ref. 2)

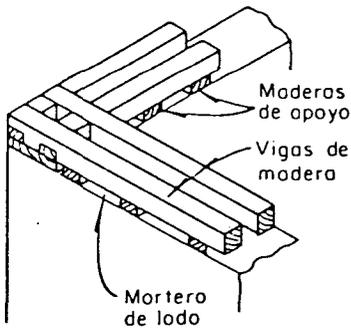


Fig 4. Refuerzo con viga de madera

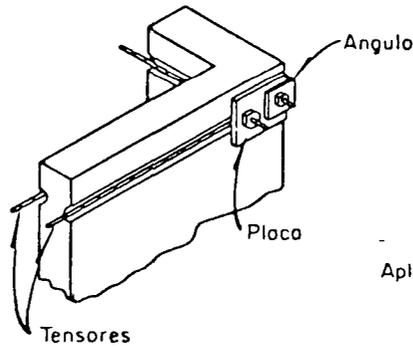


Fig 5. Refuerzo con tensores de acero

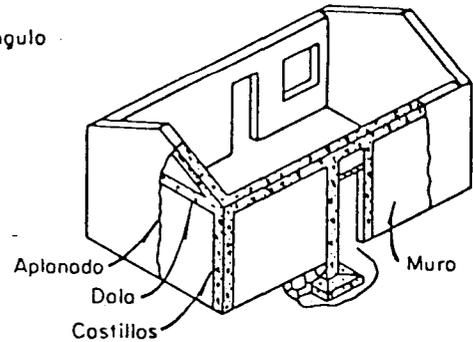


Fig 6. Refuerzo con vigas y columnas de concreto

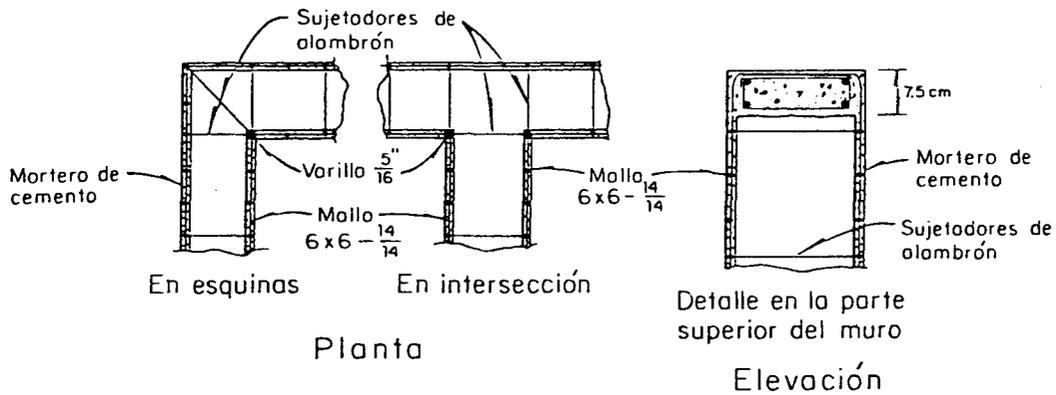


Fig 7. Recubrimiento de mortero sobre malla

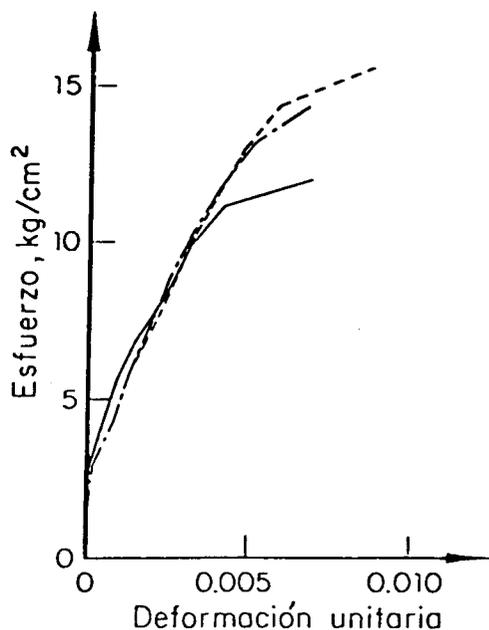


Fig 8. Curvas esfuerzo-deformación en compresión de mampostería de adobe

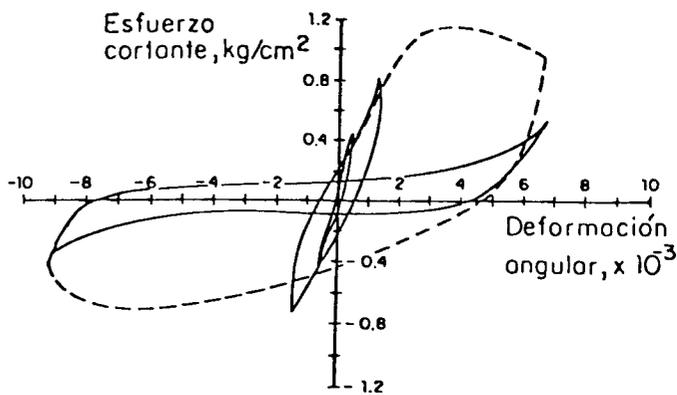


Fig 9. Comportamiento ante cargas laterales alternadas de un muro de adobe

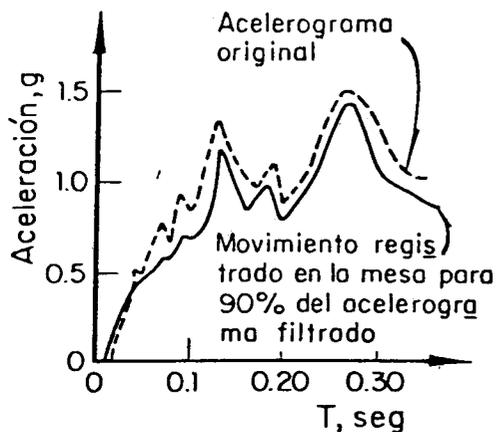


Fig 10. Comparación del espectro original y el filtrado para la componente N-S de El Centro, Cal

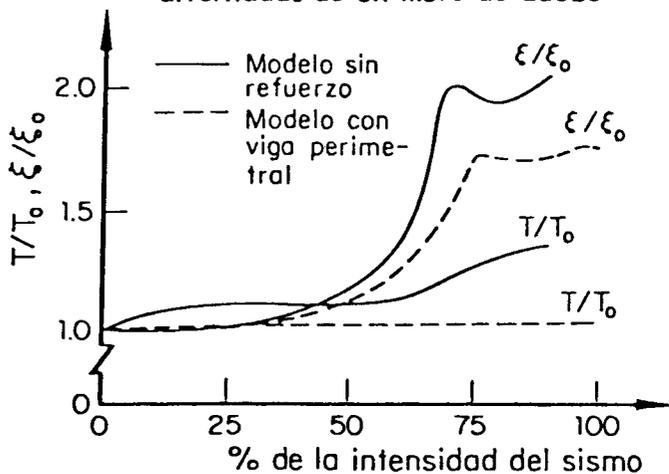


Fig 11. Variación del periodo y el amortiguamiento con el nivel del sismo

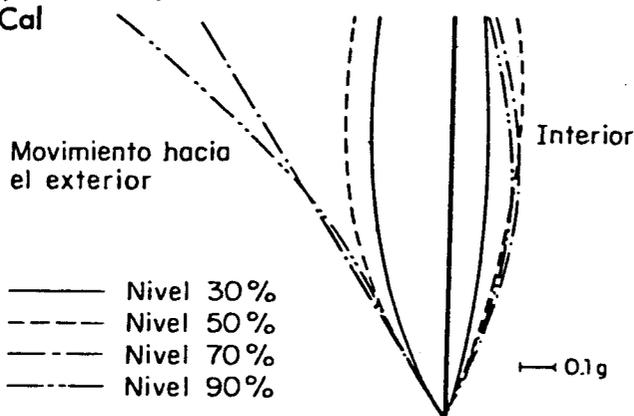


Fig 12. Distribución de aceleraciones relativas en la altura del muro para diferentes niveles del sismo