

## RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA VIVIENDA DE MAMPOSTERIA DE BAJO COSTO (ADOBE Y TABIQUE)



Oscar Hernández Basilio\*

### RESUMEN

El adobe es el material de construcción mas antiguo y económico que existe, sin embargo, toda la experiencia sobre su uso, adquirida durante siglos se ha perdido casi en su totalidad. Ahora, afortunadamente, el adobe, como material de construcción, se revalúa en forma continua debido a sus propiedades y bajo costo, que ayudan a reducir los problemas de escasez de vivienda. Como una contribución al respecto, este trabajo presenta guías para diseñar viviendas de bajo costo, hechas de adobe o tabique recocido, que son sismo-resistentes. Toda la experiencia obtenida en México se incluye en el Código propuesto; además, se dan recomendaciones generales para mejorar el comportamiento sísmico de estas construcciones.

### INTRODUCCION

Cada vez que un sismo de alta intensidad devasta a un país en desarrollo, la primera plana de los periodicos informa sobre la falla de centenares de casas de bajo costo, la mayoría hechas de mampostería. Muchas de esas fallas se deben a una deficiente configuración estructural, aparte de una intemperización debida a la falta de mantenimiento; por ello, si estos dos problemas se superan, se puede afirmar que el problema de seguridad estructural en las viviendas de mampostería se habrá solucionado. En otras palabras, la mampostería no es inadecuada, solo que es necesario incrementar su resistencia ante el intemperismo y mejorar sus métodos de diseño. Para aliviar el problema de la seguridad estructural en este trabajo se proponen

\* Facultad de Ingeniería, UNAM.  
SACMAG de México.

especificaciones de diseño estructural para mampostería de adobe y tabique; los valores de esfuerzos de diseño que se presentan fueron obtenidos de varios estudios realizados en México (Refs 1 a 4). Se incluyen recomendaciones generales de construcción para aumentar la resistencia sísmica de las viviendas de mampostería; también se presentan tres métodos sencillos para estimar la resistencia sísmica de las mismas, con los cuales se han hecho en México diseños razonables. Uno de ellos se basa en relaciones geométricas, otro los esfuerzos permisibles y el último en un criterio de resistencia.

### RECOMENDACIONES DE DISEÑO

Las recomendaciones que se proponen a continuación son aplicables a suelos no plásticos (contracción volumétrica menor que 15 %), estabilizados o no con cemento, asfalto o aditivos químicos, compactado o no; además, las recomendaciones pueden utilizarse en el caso de usarse ladrillos cocidos y solo son aplicables a casas de un nivel.

### RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERIA

Resistencia a compresión del mortero. La prueba sólo es de control y no es representativa de la resistencia de la mampostería. La capacidad del mortero debe ser al menos el doble de la de mampostería. La prueba se realizará en cubos de 5 cm de lado secados al aire. Es conveniente utilizar morteros estándar y de suelo cemento. Se recomiendan morteros constituidos por 1:0:(3 a 4.5) ó 1:(0.5 a 1):(4.5 a 6) partes de cemento/cal/arena en volumen. Se ha encontrado que el mejor mortero de suelo cemento es el formado por una parte de cemento por cuatro de suelo (el suelo debe ser no-plástico). Hay que evitar el uso de la cal como único cementante.

Resistencia a compresión de los ladrillos. Aunque la prueba no es representativa de la capacidad de la mampostería, es indicativa de su calidad, y resulta útil para decidir que tipo de suelo es el mejor para la fabricación de la mampostería. La prueba se hará sobre un ladrillo entero, mitad o parte de 10x10 cm del mismo. Los especímenes se secarán al aire por lo menos durante una semana; deben probarse tres piezas cuando menos.

Resistencia a compresión de la mampostería de adobe. Esta prueba sólo es útil cuando se lleva a cabo un programa masivo de construcción. Si no, se pueden tomar los siguientes valores: A) para ladrillos de adobe estabilizado; 8 kg/cm<sup>2</sup> para los morteros estándar recomendados, y 6 kg/cm<sup>2</sup> para mortero de suelo-cemento; B) para ladrillos de adobe normal, 5.5 kg/cm<sup>2</sup>. Si se utiliza el método de esfuerzos permisibles, hay que aplicar un factor de seguridad de 2.5. Para la prueba de compresión es necesario construir un espécimen con una pieza en la base y varios otros ladrillos superpuestos de manera que la relación alto

a ancho sea cercana a cuatro; los ladrillos deben humedecerse ligeramente antes de ser colocados y el espécimen deberá probarse, por lo menos, dos semanas después y un mínimo de nueve deben ser probados para observar su variación estadística. La resistencia de diseño se calcula con la siguiente ecuación

$$f^*m = R / ( 1 + 2.5 cv) \quad (1)$$

donde R es la resistencia promedio, y cv el coeficiente de variación de la muestra. La ecuación 1 representa el valor del esfuerzo que tiene una probabilidad del 98% de no ser excedido.

Resistencia a flexión de la mampostería. La prueba es representativa del comportamiento de muros largos bajo la acción de fuerzas de inercia. El espécimen tiene 1 m de largo, 0.5 m de altura y por lo menos cinco hileras de ladrillos. Para la prueba, el muro se apoya lateralmente en sus extremos y se aplica una carga lineal normal al muro en su parte central. No menos de nueve pruebas deben llevarse a cabo para obtener la resistencia a flexión de la misma manera que para compresión. Se utiliza la ecuación 1 para obtener  $f^*f$ . Si no se realiza la prueba antes descrita, se pueden usar los siguientes valores: A) para ladrillos de adobe estabilizado, 1.6 kg/cm<sup>2</sup> para los morteros estándar recomendados y 1.2 para mortero de suelo-cemento; B) para ladrillo de adobe normal, 1.2 kg/cm<sup>2</sup>. Usese un factor de seguridad de 2.5 si se emplea el método de esfuerzos permisibles.

Resistencia a cortante de la mampostería. La prueba es representativa de la resistencia sísmica de la mampostería. El espécimen esta formado por un ladrillo y medio en planta y las hileras suficientes para formar un pequeño muro cuadrado; el muro se probará por lo menos dos semanas después, rotándose de manera que la carga se aplique en una de sus diagonales. Deben llevarse a cabo nueve pruebas por lo menos y el esfuerzo de diseño,  $v^*$ , se calcula con la ecuación 1. Si la prueba no se ejecuta, para ladrillos de adobe estabilizado se puede usar un valor de 1.2 kg/cm<sup>2</sup> para los morteros estándar recomendados, y 0.7 kg/cm<sup>2</sup> para mortero de suelo-cemento, si no,  $v^* = 0.7$  kg/cm<sup>2</sup>. Recuerdese el factor de seguridad de 2.5 para un criterio de esfuerzo permisible.

En la bibliografía sobre el tema se pueden obtener los anteriores parámetros para el caso de tabiques cocidos.

#### RECOMENDACIONES PARA ZONAS SISMICAS

Recomendaciones generales. Los aspectos mas importantes para un mejor comportamiento sísmico son, en orden de importancia: A) Configuración estructural; es necesario obtener una configuración simétrica en planta, techos ligeros y muros de poca altura. B) Rigidización del techo; las cargas sísmicas deben ser distribuidas por un diafragma

rígido a los elementos resistentes, esto es, muros en dirección a las cargas sísmicas. Un techo contraventeado puede cumplir con esta función así como vigas de concreto o madera en la parte superior del muro. C) Liga de techo y muros; una viga de concreto o madera funciona adecuadamente. D) Incrementar la resistencia a flexión de los muros; la reducción de la altura y longitud del muro es recomendable o la prevención de desplazamientos en la parte superior del mismo. E) Proporcionar "ductilidad"; la figura 1 muestra distintos métodos para lograrlo y evitar el comportamiento frágil que tiene la mampostería no reforzada. F) Intemperismo; la estabilización de ladrillos de adobe incrementa esta característica. En el caso de los ladrillos de adobe normal, el techo y la cimentación deben proteger al muro del intemperismo. G) Restringir y reforzar las aberturas de puertas y ventanas; la relación alto a longitud de los muros que delimitan una abertura debe ser menor a 2, las aberturas tendrán un dintel de concreto o madera en su parte superior.

Recomendaciones de construcción. La aplicación de las siguientes recomendaciones mejoran el comportamiento estructural de casas de mampostería.

Cimentación. No resulta económico cimentar casas de adobe en suelo blando; en suelos firmes se utilizará cimentación de piedra o hasta una viga superficial de concreto. De cualquier manera, la parte superior (corona) de la cimentación debe sobresalir del nivel del suelo, 10 cm en caso de cimentación de concreto; la corona debe ser por lo menos 10 cm más ancha que el muro; 20 cm para cimentaciones de piedra en ambos casos. Es muy útil que se impermeabilice la corona.

Muros. En las zonas sísmicas los ladrillos de adobe normal o estabilizado se utilizarán sólo en casas de un nivel, excepto en el caso de que sean cocidos. Previo a la colocación de los ladrillos, estos se humedecerán ligeramente y todas las juntas horizontales y verticales se rellenarán con mortero. No se debe construir más de 1.5 m de altura de muro al día para prevenir el agrietamiento. Para mejorar la adherencia es útil "gusanear" las juntas de mortero. Se pueden utilizar ladrillos de adobe estabilizado para columnas que tengan un tamaño mínimo de 50 cm. La longitud de los muros debe ser menor que la calculada con la Tabla I, o menor a 4 m; los muros se apoyarán lateralmente en muros transversales o contrafuertes. Los dinteles que tengan una longitud inferior a 90 cm en puertas y ventanas se anclarán por lo menos 20 cm en el muro y se diseñarán para soportar las cargas que actúan en su parte superior. Se puede utilizar una viga rígida de concreto o madera en la parte superior de todo muro con el mismo propósito; la viga debe anclarse a los muros por medio de un espolón como se muestra en la figura 1 a.

Refuerzo para muros de adobe normal. Se debe utilizar alguno de los procedimientos que se muestran en la figura 1. No se recomienda confinar el adobe normal con elementos de concreto.

Refuerzo para mampostería estabilizada. Las principales razones para el uso de adobes estabilizados (mediante aditivos o cociéndolos), son: reducción de su contracción y resistencia aceptable en condición saturada; si ambos requisitos se cumplen, la mampostería de adobe se comportará casi como ladrillo de concreto o ladrillo cocido; si es necesario reforzar los muros, se deben cumplir los siguientes requisitos para aplicar el método de diseño por resistencia: los muros estarán confinados con pequeños elementos de concreto. Estos elementos deben tener por lo menos tres varillas corrugadas de 5/16" ( $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ ) y su dimensión mínima será igual al ancho de muro. La resistencia del concreto no será menor a  $150 \text{ kg/cm}^2$ ; se debe proporcionar refuerzo transversal con barras del No. 2 con separación menor a 20 cm o 1.5 veces el ancho del muro. Estos elementos verticales se colocarán en la intersección de los muros, y en los extremos de los mismos, cada 4 m.

#### DISEÑO SISMICO DE VIVIENDAS DE UN PISO

Se presentan tres métodos de diseño. El primero es de naturaleza muy conservadora ya que sólo es necesario satisfacer relaciones geométricas; el segundo se basa en criterios de esfuerzos permisibles y el último sigue un criterio de resistencia.

Diseño con relaciones geométricas. El método limita las relaciones  $H/t$  (altura a ancho) y  $L/2t$  (longitud no soportada a dos veces su ancho), usando la Tabla I para mampostería de adobe normal o estabilizado.

Criterio de esfuerzos permisibles. Se deben seguir los siguientes pasos en ambas direcciones.

1) Resistencia a cortante. Es necesario contar con el coeficiente sísmico de la zona (C); se valua  $W'$  con la ayuda de la figura 2, así  $V = C * W'$ . Este cálculo se lleva a cabo para cada cuarto de la casa; el muro interior resiste 60% de la carga y el muro exterior 40%; la mitad de la carga para condiciones similares. La capacidad de muros esbeltos ( $H/L \geq 1.33$ ) se reducirá por el factor  $(1.33 L/H)^{**2}$ . Finalmente, se comparará el esfuerzo cortante con el esfuerzo permisible ( $v^*/2.5$ ).

2) Resistencia a flexión. Se calcula el momento resistente en flexión para muros transversales con la ecuación  $M = C w X^{**2} / K$ , con K igual a 20 si existe un viga rígida de concreto en la parte superior del muro, 5 si no; X es igual al menor valor entre H y L/2; w es la carga total por ancho unitario de muro. Así, al evaluar el esfuerzo por flexión, éste debe ser menor al permisible ( $f^*/2.5$ ).

3) El esfuerzo de compresión calculado se comparará con el permisible ( $f^*_m/2.5$ )



Criterio de resistencia. Este método puede ser aplicado cuando: 1) exista un elemento rígido y continuo en la parte superior de los muros; 2) la excentricidad en el muro sea menor a  $t/6$ ; 3) la relación altura a ancho menor a 20; 4) la relación en planta de longitud a ancho de la construcción inferior a 2; 5) cuando en planta existan por lo menos dos muros paralelos en ambas direcciones con una longitud mayor que la mitad de la longitud de la construcción; 6) si hay un techo rígido.

La resistencia a cargas verticales es  $P = F_r F_e f^* m A$ , donde  $F_r$  es un factor de reducción de resistencia con un valor de 0.3 si los muros sólo tienen una viga rígida o de concreto en su parte superior, y un valor de 0.6 si los ladrillos son de adobe estabilizado o cocido y los muros se han reforzado con elementos de concreto;  $F_e$  es un factor de reducción debido a la excentricidad y esbeltez, un valor conservador es 0.6;  $A$  es el área de la sección transversal del muro;  $f^* m$  es la resistencia nominal a compresión. La fuerza calculada debe compararse con la carga vertical incrementada por su factor de carga (1.4).

La resistencia a corte  $V = F_r (0.5 v^* A)$ , donde  $v^*$  es la resistencia nominal a corte de la mampostería, se debe comparar con el cortante actuante, multiplicado por su factor de carga (1.1).

## RECONOCIMIENTO

Que sea este trabajo un homenaje a la memoria de un estudioso sobre el tema, el Sr. Ing. Miguel Madinaveitia J.

## BIBLIOGRAFIA

1. Hernández, O., Et Al, "Refuerzo de Vivienda Rural en Zonas Sísmicas", Instituto de Ingeniería, UNAM, MÉXICO, 1982.
2. Hernández, O., "Normas de Diseño para construcciones de Adobe Estabilizado Químicamente", Reporte para Vivienda Puebla, México, 1984.
3. Madinaveitia, J.M., "Estabilización de Tierras para su Uso en la Construcción de Viviendas", Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1985.
4. Madinaveitia, J.M., "Estabilización de Suelos para Obtener Componentes Constructivos", Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1987.
5. Hernández, O., "A Proposal for Structural Design Code for Stabilized Earth Brick Masonry", Proceedings Middle East and Mediterranean Regional Conference, 491-502, Turquía, 1986.

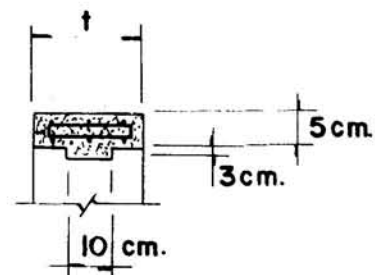
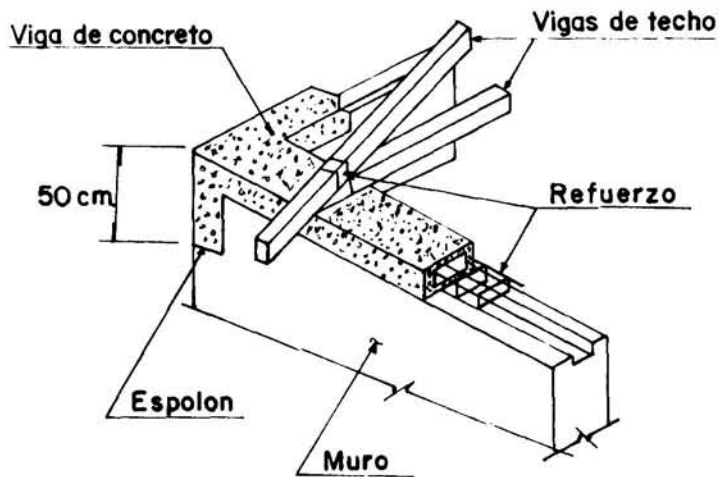
TABLA I. METODO SIMPLIFICADO PARA DISEÑO DE CASAS DE ADOBE+

PESO DEL TECHO kg/m <sup>2</sup>	VALORES MAXIMOS PARA $H/t$ O $L/2t$			
	SIN REFUERZO		CON UNA VIGA RIGIDA EN LA PARTE SUPERIOR DEL MURO	
	I	II	I	II
50	4.1 (8)	2.9 (6)	9.1 (18)	6.5 (13)
150	3.4 (7)	2.4 (5)	7.7 (15)	5.5 (11)
500	2.9 (6)	2.0 (4)	6.6 (13)	4.7 (9)

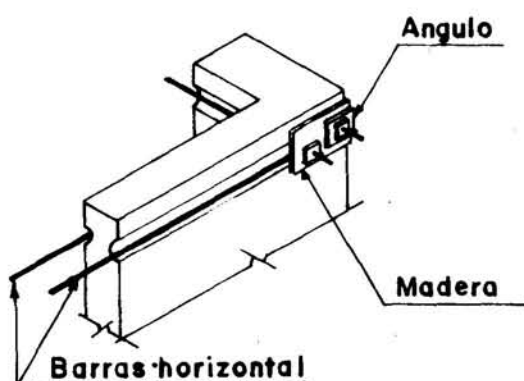
+ H, t y L son la altura, el ancho y longitud del muro; entre paréntesis se indican las relaciones para mampostería de adobe estabilizado o tabiques cocidos.

I Coeficiente sísmico = 0.16.

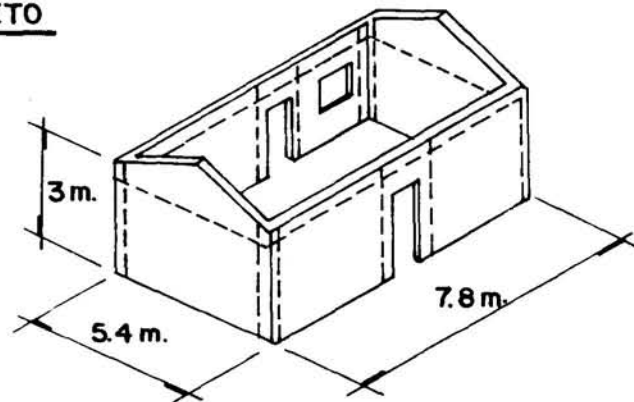
II Coeficiente sísmico = 0.48.



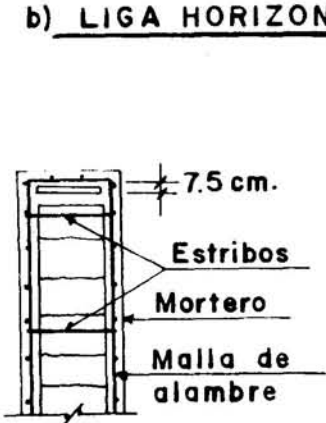
a) LIGA CON VIGA DE CONCRETO



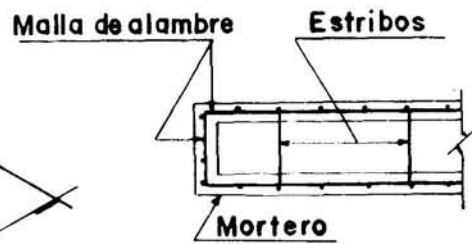
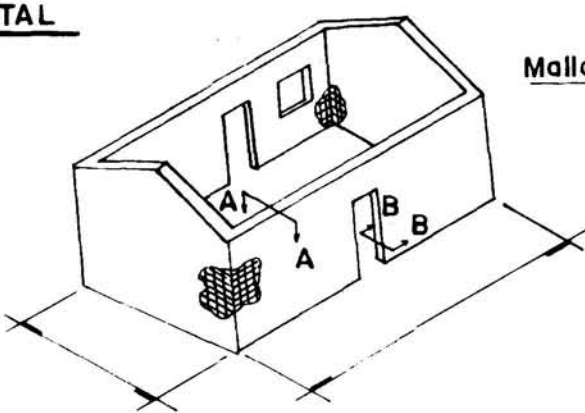
b) LIGA HORIZONTAL



c) LIGA VERTICAL Y HORIZONTAL



CORTE A-A



CORTE B-B

Fig.1 METODOS DE REFUERZO

Mamposteria reforzada ;  $L' = L$  ;  $H' = 3H/5$   
 Muros con viga rígida ;  $L' = 3$  ;  $H \gg 2/L < L$  ;  $H' = H/3$   
 Mamposteria sin refuerzo ;  $L' = 2$  ;  $H \gg 2/L < L$  ;  $H' = H/4$

a) Parámetros para el criterio de esfuerzo permisible.

Fig. 2 Peso del techo y muros para el análisis sísmico.

