

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingenieria Civil



**ESTADO DEL ARTE DEL DISEÑO
Y CONSTRUCCION DE
EDIFICACIONES DE ADOBE**

T E S I S

**Para Optar El Titulo Profesional De
INGENIERO CIVIL**

Frank Alomias Mauricio Morales

Promocion 89 II

LIMA - PERU

1 9 9 8

SUMARIO

En este trabajo, se presentan y analizan los aportes tanto en el campo experimental y como en el teórico como resultados de las investigaciones efectuadas en la Universidad Nacional de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica y el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la vivienda principalmente. Se toman en cuenta los ensayos realizados con adobe simple y adobe estabilizado, así como también los avances teóricos en el campo del diseño de edificaciones de dos pisos con adobe. Asimismo, se abarca el estado del arte del proceso constructivo con adobe. Se incluye también un ejemplo de diseño de vivienda económica de adobe de uno y dos pisos usando los métodos de análisis y diseño actualmente establecidos.

INDICE

	Pag.
1. GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	1
2. ADOBE	
2.1 Definiciones.....	3
2.2 Características de las construcciones de Adobe.....	5
2.3 Estructuración en Edificaciones de Adobe.....	6
2.4 Propiedades Mecánicas del Adobe.....	8
2.4.1 Resistencia de la albañilería a la Compresión.....	8
2.4.2. Resistencia de la albañilería al Corte.....	10
3. CONTRIBUCIONES AL ESTADO DEL ARTE.	
3.1 Estudios Analíticos.....	13
3.1.1 Estudios sobre muros de adobe.....	13
3.1.2 Estudios sobre viviendas de dos..... pisos.....	14

3.1.3 Estudios de simplificación para el análisis y diseño de adobe de un piso.....	15
3.1.4 Estudios de simplificación para el análisis y diseño de adobe de dos pisos.....	21
3.2 Estudios Experimentales.....	25
3.2.1 Descripción de los materiales utilizados.....	28
3.2.2 Descripción de especímenes y dispositivos de prueba.....	29
3.2.3 Propuestas derivadas de los estudios experimentales.....	44
4. ESTADO DEL ARTE DEL DISEÑO CON ADOBE.	
4.1 Cimentación.....	48
4.2 Muros.....	48
4.3 Elementos de arriostre.....	49
4.5 Techo.....	50
4.6 Refuerzos.....	50
4.7 Morteros.....	52

5. ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON ADOBE.	
5.1 Generalidades.....	54
6. APLICACION DEL ESTADO DEL ARTE DEL DISEÑO CON ADOBE.	
6.1 Diseño por el método riguroso: Vivienda de adobe de un piso.....	58
6.2 Diseño por el método simplificado: Vivienda de adobe de un piso.....	63
6.3 Diseño por el método riguroso: Vivienda de adobe de dos pisos.....	66
6.4 Diseño por el método simplificado: Vivienda de adobe de dos pisos.....	72
7. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....	76

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

La Vivienda es uno de los problemas básicos aún sin solución en nuestro país. El nivel de ingresos de la mayor parte de la población urbana y rural impide que se edifiquen suficientes viviendas para satisfacer la demanda existente de ahí que sea muy necesario el estudiar materiales de construcción alternativos al del ladrillo y cemento. Uno de estos es el adobe.

Las construcciones con adobe en el Perú datan de épocas muy antiguas en las que se edificaron estructuras que aún hoy persisten habiendo soportado los rigores del tiempo y los movimientos sísmicos sin daños apreciables y más aún, actualmente en muchas áreas rurales de países en desarrollo, se sigue construyendo con adobe debido básicamente a su bajo costo en comparación a otros materiales y a su fácil construcción sin necesidad de asesoría técnica especializada.

Debido a que-como es conocido- las edificaciones de adobe son rígidas y frágiles y, si no están adecuadamente diseñadas y construidas, no presentan un buen desempeño a sollicitaciones

sísmicas, se han realizado numerosos estudios (analíticos y experimentales) hasta la fecha.

En el presente trabajo, se presenta un resumen del estado del arte en el diseño sismo-resistente con adobe en base a los estudios hechos con el propósito de obtener información sobre las propiedades mecánicas de la albañilería, los mismos que han servido de base para la elaboración de la Norma E080 de adobe y que estamos seguros servirán para futuras mejoras de la misma.

C A P I T U L O II

ADOBE

2.1 DEFINICIONES

ADOBE.- Es una de las formas más comunes de utilización de la tierra. Está hecho básicamente de agua y tierra, y eventualmente con un componenete como paja, ichu, etc., vaciado en moldes rectangulares y secado al aire libre, lográndose un bloque macizo.

ADOBE ESTABILIZADO.-Adobe en el que se han incorporado otros materiales como: asfalto RC-250, goma de tuna, etc., con el fin de mejorar las condiciones de estabilidad ante la presencia de humedad.

MORTERO.-Material de unión de los bloques de adobe. Puede ser de barro con paja y otros componentes como asfalto, cemento, cal, arena gruesa, etc.

ALTURA LIBRE DE MURO.-Es la distancia vertical entre los elementos de arriostre horizontales.

MURO ARRIOSTRADO.-Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.

EXTREMO LIBRE DE UN MURO.- Es el borde vertical u horizontal no arriestrado de un muro.

VIGA SOLERA.- Son vigas de madera, de concreto, o de suelo estabilizado convenientemente reforzadas para dar arriostramiento a los muros de los cuales es una parte integrante. También se les denomina VIGA COLLAR.

ARRIOSTRE.-Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de un muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.

CONTRAFUERTE.-Es un arriostre vertical construido con ese único fin.

2.2 CARACTERISTICAS DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE

Las viviendas de adobe en la actualidad son generalmente de uno y dos pisos, y en general tienen una planta rectangular. Los muros tienen una altura que varían entre dos y tres metros y medio, lo que da lugar a muros con alturas de hasta ocho metros en las viviendas de dos pisos. Estos muros tienen muchos vanos y sus dinteles tienen poco empotramiento. Los espesores de los muros son variables y se pueden observar muros de 30 a 60 cms.

El techo es generalmente a dos aguas y consiste en viguetas de madera apoyadas directamente sobre los muros; sobre las viguetas se clavan cañas y sobre éstas se coloca una torta de barro; el espesor de esta torta varía de acuerdo con el clima de la zona, lo cual en muchos casos hace que estos techos sean muy pesados; luego sobre esta torta se colocan las tejas. La cimentación de las viviendas de adobe es en base a piedras grandes asentadas con barro; el ancho del cimiento es igual al espesor del muro y su altura varía desde 0.50 a 1.00 mts; el uso de cimentación de concreto ciclópeo es poco frecuente debido al alto costo en comparación con el costo global de la vivienda. El sobrecimiento también es construído con piedras grandes y barro, pero en muchos casos es obviado, lo cual produce el deterioro de los muros.

2.3 ESTRUCTURACION EN EDIFICACIONES DE ADOBE

Debido a su baja resistencia, la albañilería de adobe requiere del mayor cuidado, especialmente en el aspecto del diseño estructural. Por esto, su diseño se debe basar en los principios de la Mecánica y la Resistencia de Materiales. Desde el punto de vista de sus resistencia a los efectos sísmicos, interesa fundamentalmente la disposición de los elementos verticales que tienen la función de tomar las cargas laterales. En la gran mayoría de los tipos de vivienda, estos elementos consisten en muros de carga que sirven tanto de soporte para las fuerzas verticales transmitidas por el techo, para dar rigidez y resistencia ante el efecto de las fuerzas laterales generadas durante un sismo.

Estos muros son generalmente la manpostería formadas por piezas prismáticas unidas con mortero, con altura máxima de 3.00 según las normas (las cuales limitan las construcciones de adobe a un solo piso) entre piso y viga solera, pudiendo llegar estos hasta 4.00 mts en la parte más alta de los tímpanos, los cuales deberán ser adecuadamente arriostrados.

Los movimientos durante un sismo provocan vibraciones en la estructura, en la cual se generan fuerzas de inercia que son proporcionales a la masa (peso) de las distintas partes de la construcción, y que tienen que ser resistidas y transmitidas a

la cimentación y al suelo, razón por la cual no debe construirse con adobe en suelos granulares sueltos y en suelos cohesivos medianos o blandos (suelos III de las Normas Básicas de Diseño Sismo-Resistente), o cuando la capacidad portante del suelo sea menor de 1.5 kg/cm^2 .

Los elementos más adecuados para resistir esas cargas laterales son los muros que están alineados en la dirección del movimiento del terreno y que tienen gran rigidez y resistencia en su plano. Para que estos elementos puedan cumplir su función, las fuerzas de inercia generadas en otras partes de la construcción tienen que ser transmitidas hacia ellos. Condición para que esto se cumpla es que los techos actúen como una unidad rígida en su plano y transmitan sus fuerzas a los muros alineados en la dirección del movimiento y provoquen mínimas fuerzas normales a dicha dirección en la cual los muros estarían sujetos prácticamente sólo las fuerzas de inercia generadas por su propia masa y actuarían como losas apoyadas en su perímetro.

Otra condición para que la transmisión de carga se efectúe apropiadamente es que exista una conexión resistente entre el techo y los muros.

De no cumplirse con la condición de techo rígido en su plano, las fuerzas generadas en cada franja del techo se transmiten al muro frontal generando en él esfuerzos normales a su plano, los que tienden a generar el volteamiento de dicho muro. De ésta

forma, la mayor parte de las fuerzas de inercia son transmitidas a los elementos menos rígidos y aptos para resistirlas.

Cuando el techo es un diafragma rígido, la falla puede ocurrir por una insuficiente resistencia de las paredes para absorber fuerzas cortantes en su plano; dicha resistencia se ve muy afectada cuando existen grandes aberturas para puertas y ventanas en dichos muros. Este tipo de falla se presenta a través de grietas diagonales.

2.4 PROPIEDADES MECANICAS DEL ADOBE

2.4.1 Resistencia a la Compresión de la Albañilería

La resistencia de la albañilería de adobe en compresión axial perpendicular a las juntas horizontales varía generalmente con la clase de materiales con que están construidas (tierra, arcilla, paja, etc). Los factores principales que influyen son :

1. La resistencia de los bloques de adobe.
2. La resistencia del mortero.
3. La relación entre el espesor de las juntas y la altura de las piezas.
4. La calidad de la mano de obra.

ENSAYO

La resistencia a la compresión de la albañilería se puede determinar mediante el ensayo de pilas, tal como se muestra en la figura 1.

El tipo de falla más común en este ensayo es la formación de grietas verticales en los adobes producida por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas y cuando este agrietamiento vertical es excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y ocurre la falla; cuando los adobes tienen baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de los bloques mismos. El aplastamiento del mortero no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste, cuando se aplasta, es retenido por fricción por los bloques y el conjunto puede soportar cargas mayores; sin embargo, en elementos esbeltos, el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad. Se recomienda que el espécimen a ser ensayado tenga una relación altura-espesor de aproximadamente 3.

2.4.2 Resistencia al Corte de la Albañilería

La falla por corte en los muros es una de las más frecuentes debido a sollicitaciones sísmicas en el plano del muro; esta falla se caracteriza por la aparición de grietas diagonales en los muros, estas grietas generalmente se producen en las juntas y eventualmente cruzan los bloques de adobe.

ENSAYO

La resistencia al corte de la albañilería se puede determinar mediante ensayos de compresión diagonal tal como se muestra en la figura 2. De todo los ensayos, este ensayo de compresión diagonal es el más útil, ya que nos da un índice de la calidad de la albañilería.

El modo de falla a través de las juntas, sugiere un mecanismo de falla de Coulomb en el que la resistencia depende de la adherencia entre piezas y mortero, y varía proporcionalmente con la compresión aplicada perpendicularmente a las juntas, representando el factor de proporcionalidad un coeficiente de fricción.

El esfuerzo tangencial puede expresarse :

$$V = u + f\sigma \dots (1)$$

donde : v : esf. tangencial

u : esf. de adherencia

f : coef. de fricción

σ : esf. de confinamiento

C A P I T U L O I I I

CONTRIBUCIONES AL ESTADO DEL ARTE

El hecho de que algunas edificaciones de adobe resistieran los embates del terremoto del 31 de Mayo de 1970, puso en evidencia que las construcciones de adobe tienen la capacidad para resistir satisfactoriamente sismos severos bajo ciertas condiciones. Con la finalidad de establecer estas condiciones, se inició en 1970 un estudio riguroso de estas construcciones en la Universidad Nacional de Ingeniería, bajo los auspicios del Ministerio de Vivienda. Posteriormente en 1972, se contó además con la participación de la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID) y se desarrollaron estudios utilizando bloques de suelo estabilizados con asfalto (PROYECTO COBE).

Los objetivos de estos estudios fueron el desarrollo de una Tecnología para la fabricación de bloques, el desarrollo de procedimientos de construcción, la determinación de una serie de características del material que permitiera el diseño racional de la construcción para que pudiera resistir adecuadamente los movimientos sísmicos. Estos objetivos fueron alcanzados en su totalidad para un piso.

Como en algunas regiones del país en forma rutinaria se llega a los dos pisos con las construcciones de adobes, se ha desarrollado suficientemente la base teórica para el diseño de construcciones de dos pisos; sin embargo quedan por realizar pruebas de laboratorios para la determinación de algunos parámetros de diseño.

3.1 ESTUDIOS ANALITICOS

3.1.1 Estudios sobre Muros de Adobe

Con la finalidad de establecer los parámetros de diseño y contar con algún procedimiento racional para proyectar las construcciones de adobe con un rigor comparable al aplicado a otros tipos de materiales, que sirva de base teórica para procedimientos experimentales posteriores, se desarrolló un procedimiento racional de diseño muros de adobe ⁽¹⁾ partiendo de los principios básicos de la mecánica y de las características de los materiales y de las características de los materiales que constituyen la albañilería de adobe. Como elemento estructural básico en una construcción de adobe es el muro, su diseño se planteó para cargas verticales, cargas perpendiculares a su plano y cargas horizontales en su plano. El procedimiento seguido era el de determinar primeramente la resistencia al colapso en cada caso, dividiendo luego entre un factor

de seguridad para obtener la resistencia (o el esfuerzo admisible) en condiciones de servicio. Asimismo, se desarrollaron procedimientos para la verificación de los esfuerzos en los encuentros de muros, para el diseño de llaves y dinteles.

Posteriormente se presentó una metodología para el estudio sísmico de construcciones de adobe de dos pisos (2), a fin de determinar los esfuerzos de compresión, de corte y de flexión en los muros. Se realizó un estudio de estructuras típicas de viviendas económicas de adobe de dos pisos considerando la zonificación sísmica, el tipo de suelo y el tipo de material. Finalmente se propuso recomendaciones para el diseño y construcción de estas viviendas.

3.1.2 Estudios sobre viviendas de adobe de dos pisos

En 1981, Morales y otros (2), presentaron una metodología para el estudio sísmico de construcciones de adobe de dos pisos, a fin de determinar los esfuerzos de compresión, de corte y de flexión. Además, se realizó un estudio de viviendas económicas de adobe de dos pisos, teniendo en cuenta la zonificación sísmica, el tipo de suelo y el tipo de material.

Teniendo como base un estudio de períodos de vibración de viviendas económicas de adobe de dos pisos para la

determinación de las fuerzas sísmicas realizado sobre un modelo constituido por un ambiente de planta cuadrada de 4m x 4m; dos pisos de 2.65 m de altura; muros de 0.45 de espesor, y techos de madera y tomando dos modelos dinámicos extremos, el primero con masas concentradas en los niveles de techo, y el segundo con masas uniformemente distribuida a lo alto de la edificación, se presentaron valores de coeficientes sísmicos y de esfuerzos de corte actuante teniendo en consideración tres tipos de construcción : adobe simple con mortero de barro, bloque estabilizado con mortero de cemento-arena en la proporción de 1 a 8, y bloque estabilizado con mortero-cemento.

3.1.3 Estudios de simplificación para el análisis y diseño de adobe de un piso.

Debido a que la aplicación de los procedimientos "rigurosos" de análisis y diseño sismo-resistente para edificaciones de una y dos plantas desarrollados en nuestro país, es un tanto laboriosa, se ha desarrollado un procedimiento simple (³) válido para el diseño de viviendas de adobe de una planta.

En este estudio, se consideraron las siguientes etapas:

a) Determinación de las fuerzas sísmicas horizontales :

Se consideraron los valores de $Z=1$ y 0.70 (Zonas I,II), $V=1.0$, $S=1.20$ (suelo II), $C=0.40$, $R_d=1.50$, además de tomar el peso de la edificación como el 0.80 T/m² del área en planta.

Así, se obtuvo :

Zona sísmica 1 : $H = 0.26 A$

Zona sísmica 2 : $H = 0.18 A \dots (1)$

b) Fuerza cortante en el Pano del Muro.

En este punto, se consideró como condición crítica la del techo rígido para muros exteriores y para los muros interiores, la de techo flexible. Según este criterio, y considerando la influencia de la diferencia de alturas y presencia de pequeños vanos de los muros interiores respecto a los exteriores se tomó que las rigideces de los muros exteriores son el doble de las interiores. En caso de tener techos horizontales, las rigideces de los muros se pueden estimar iguales. La fuerza cortante que toma cada muro es proporcional a su rigidez lateral (diafragma rígido.

Según esto, la fuerza cortante actuante V , está expresada por :

$$V = \frac{2}{n+2} H(\alpha) \quad ; \quad \begin{array}{l} n = \text{\# de líneas de muros en la} \\ \text{dirección de análisis.} \\ H = \text{fuerza cortante total.} \end{array}$$

$\dots (2)$

De (α) y teniendo en cuenta que la fuerza cortante resistente del muro, V_m en Ton, cuando no se realizan ensayos de muretes, está expresada por

$$V_m = 2.5 L t ; \text{ donde } L = \text{longitud del muro por eje} \\ \text{(descontando vanos) en mts.} \\ t = \text{espesor del muro, en m}$$

según la norma E080 de adobe, se obtuvo que la longitud total mínima de muros exteriores en la dirección de análisis es :

$$L_{min} = \frac{1.6 H}{(n+2) t} \dots (3)$$

Con respecto a los muros interiores, debido a que el peso del techo es pequeño en relación al peso propio de los muros de adobe, se consideró que la fuerza cortante que toma cada muro en condición de techo flexible son iguales.

Utilizando asimismo la relación dada por el código e igualando la fuerza cortante en todos los muros interiores, $(n-2)$, se obtuvo la longitud total mínima de muros interiores en la dirección de análisis :

$$L_{min} = \frac{0.38 (n-2) H}{nt} \dots (4)$$

c) Fuerza de compresión debido a las cargas de gravedad.

En el estudio referido (3) y considerando las cargas de gravedad del muro de adobe, sin enlucir y techo de madera, se obtuvo :

i) Para un muro interior, la carga axial actuante en toneladas, puede estimarse por $P = 2.2 th$, donde t es el espesor del muro en metros, y el esfuerzo actuante de compresión en T/m^2 será de $\sigma_c = 2.5 h$.

Igualmente, se consideró el caso de tener un techo plano de aligerado de concreto armado ($t = 0.17 m$) y para esta condición, el esfuerzo de compresión actuante es del orden de $12.5 T/m^2$.

d) Fuerza de compresión por cargas de Gravedad, de Sismo y Momento Volteo.

En general, los esfuerzos de compresión actuantes en muros exteriores e interiores están dadas por las expresiones :

- Muros Exteriores

$$\text{Zona Sísmica 1 : } \sigma_c = 2.34 h \left(1 + \frac{1.33 A}{(n+2) t l^2} \right)$$

... (7)

$$\text{Zona Sísmica 2 : } \sigma_c = 2.16 h \left(1 + \frac{A}{(n+2) t l^2} \right)$$

... (8)

- Muros Interiores

$$\text{Zona Sísmica 1 : } \sigma_c = 2.34 h \left(1 + \frac{0.67 A}{(nt) l^2} \right)$$

... (9)

$$\text{Zona Sísmica 2 : } \gamma_c = 2.16 h \left(1 + \frac{0.50 A}{(nt) l^2} \right)$$

... (10)

Del estudio de las expresiones deducidas anteriormente y considerando un porcentaje de vanos del 20% de la longitud del muro y para dos relaciones de longitudes en planta (planta cuadrada y planta rectangular 1 a 2), se obtuvieron valores de espesores mínimos y alturas máximas permisibles para construcciones de adobe en zonas sísmicas 1 y 2 y en suelo tipo II.

- e) Fuerza de Tracción por Cargas de Gravedad, de Sismo y Momento de Volteo.

Según este estudio, la fuerza de tracción T , se determina con la siguiente expresión :

$$T = \sqrt{t} X_o \quad t/2; \text{ en ton ... (11),}$$

donde : \sqrt{t} = Esfuerzo de tracción en T/m².

t = Espesor del muro en mts.

El esfuerzo usando acero o caña se calcula usando las expresiones

$$A_s = 1.4 T/f_y \quad \dots(12)$$

$$A_c = 3.3 T \quad \dots(13)$$

- f) Muros con Cargas Perpendiculares a su plano.

Se encontró una tabla para determinar el refuerzo horizontal para fuerzas sísmicas perpendiculares de muros arrastrados verticalmente a espaciamiento no mayores de 10 veces el espesor del muro; este refuerzo debe colocarse en los dos extremos del espesor del muro. En dicha tabla, se consideraron las zonas sísmicas 1 y 2, los tipos de suelos I y II, tres dimensiones de espesores (0.30 m, 0.40, 0.50 m). Igualmente, permitió escoger refuerzo de acero de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ o de caña de $f_c = 300 \text{ Kg/cm}^2$.

Asimismo se dieron los valores en cada caso de que se considere la contribución del esfuerzo permitido en el adobe por las Normas Peruanas.

g) Vigas Soleras

En este estudio, se considera asimismo que debe colocarse una viga solera o collar en todos los muros a un nivel no mayor de 3m. Para muros mayores de 3m. de altura se colocarán vigas soleras adicionales en las partes inclinadas.

Se indica que el refuerzo mínimo de las vigas soleras será 3 veces el refuerzo horizontal para franjas horizontales de 0.40 m.).

3.1.4 Estudios de simplificación para el análisis y Diseño de adobe de dos pisos.

Siguiendo el mismo criterio que llevó a plantear un procedimiento simple para el diseño y análisis de una edificación de adobe de un piso, se ha estudiado asimismo un procedimiento simple para las de dos pisos (4).

Para este procedimiento se tomó en cuenta consideraciones y parámetros con base a un análisis riguroso de una vivienda típica de adobe de dos pisos.

Consideraciones :

- a) Procedimiento simple para la zona 1 y suelos tipo II.
- b) Se considera techo rígido tanto para el 1er. como el 2do. piso.
- c) Aumento del cortante directo por torsión del 10% para todos los muros del primer piso.
- d) Aumento del cortante directo por torsión del 10% para los muros interiores y 25% para los exteriores.

En este estudio, se determinaron las siguientes etapas:

I. PRIMER PISO

- a) Determinación de las fuerzas sísmicas.

Se obtuvo :

Primer Piso : $H = 0.62A$

Segundo Piso : $H = 0.21 A$

b) Fuerza Cortante en el Plano del Muro.

Se plantea la verificación según la verificación de la longitud mínima total (Lmt) de muros en las dos direcciones principales de análisis :

$$M_t = 0.13 A \cdot \frac{1}{t} \dots (14)$$

Siendo A = área en planta en m².
t = espesor del muro.

c) Fuerza de Compresión debida a las cargas de Gravedad, Sismo y Momentos de Volteo (\sqrt{C}).

Los esfuerzos de compresión actuantes están dados por

$$\sqrt{C} = 3.76 h \left(1 + \frac{1.51 A}{nt L^2} \right) ; \text{ en Tn/m}^2, \dots (15)$$

donde L = longitud total del muro (mts)

d) Esfuerzo de Tracción por Cargas de Gravedad, Sismo y Momentos de Volteo (Tt)

Este esfuerzo será determinado por :

$$\sqrt{t} = 2.03 h \left(1 - \frac{2.80 A}{nt L^2} \right) ; \text{ en Tn/m}^2$$

... (16)

Y el refuerzo por fuerza de tracción

A_e (cm²) será dado por

$$T = \frac{0.12 \quad t^2 \quad L_t \quad ; \quad \text{en Ton}}{h}$$

... (17)

Y por consiguiente $A_e = \frac{T}{f_s}$; en cm² (caña)

e) Fuerzas Perpendiculares al Plano del Muro (W_p)

Para Zona 1 y suelo II, el $W_p = 0.38 \quad t$; en Tm/m²

f) Cálculo del refuerzo horizontal, será :

i) Por fuerza cortante

$$A_e = 3.33t \quad (\sqrt{J_u} - 0.51) \quad \text{cm } 2/3 \text{ hiladas}$$

... (18)

ii) Refuerzo horizontal para cargas sísmicas perpendiculares (A_e)

$A_e = 6.31 \quad t^2 \quad \text{cm } 2/3 \text{ hiladas, para eucalipto.}$

... (18-a)

II. SEGUNDO PISO

Las siguientes expresiones fueron desarrolladas :

a) Fuerza Cortante en el Plano del muro

- Muros Exteriores : $L_{min} = 0.10 \frac{A}{nt}$

... (19)

$$- \text{Muros Interiores : } L_{\min} = 0.05 \frac{(n-2) A}{nt}$$

... (20)

b) Esfuerzo de compresión por Cargas de Gravedad, Sismo y Momentos de Volteo (\sqrt{c}).

$$- \text{Muros Exteriores : } \sqrt{c} = 2.08 h \left(1 + \frac{0.76A}{nt L^2} \right)$$

... (21)

$$- \text{Muros Interiores : } \sqrt{c} = 2.08 h \left(1 + \frac{0.66A}{nt L^2} \right)$$

... (22)

c) Esfuerzo de Tracción por Cargas de Gravedad, Sismo y Momentos de Volteo (\sqrt{t}).

- Muros Exteriores :

$$t = 1.12 h \left(1 - \frac{1.41 A}{nt L^2} \right)$$

... (23)

- Muros Interiores :

$$\sqrt{c} = 1.12 h \left(1 - \frac{1.23 A}{nt L^2} \right)$$

... (24)

- Cálculo del refuerzo en tracción (T)

$$T = \frac{0.22 t^2 L t}{h} (T_n) ;$$

... (25)

$$A_e = \frac{T}{0.23} \text{ (cm}^2 \text{)}; \text{ área de eucalipto}$$

d) Fuerzas Perpendiculares al Plano del (Wp) Tn/m².

$$W_p = 0.48t \text{ ; en Tn/m}^2.$$

e) Cálculo de refuerzo horizontal

i) Por fuerza cortante.

En este estudio se consideró que no es necesario.

ii) Por Cargas Sísmicas penpendiculares al plano.

$$A_e = 19.32 t^2 \text{ cm } 2/3 \text{ hiladas.}$$

... (26)

En este estudio se desarrollaron tablas en base a las fórmulas expuestas.

3.2 ESTUDIOS EXPERIMENTALES

Como carácter informativo, se presenta a continuación un condensado reporte de las características principales de los estudios experimentales tanto en la Universidad Nacional de Ingeniería como en la Universidad Católica.

Se utilizaron diversos tipos de bloques predominando las dimensiones 28 * 28 * 7 cm, teniendo variaciones hasta de 1 cm. en sus dimensiones:

- Peso promedio : 11.5 Kg/cm³
- Esfuerzo de compresión : 46.5 Kg/cm²
- Esfuerzo de flexión : 8.0 Kg/cm²
- % de absorción (15 días): 14.47 %

MORTERO.- Se utilizan cinco tipos de mortero:

- a) 1:10:1% (por peso), una parte de cemento, 10 de suelo y 1% del peso del suelo en peso de asfalto.
- b) s-2% (por peso), suelo con 2% de su peso en peso de asfalto
- c) 1:2:3:1/2 (por volumen) una parte de cemento, dos de suelo tres de arena gruesa y 1/2 galón de asfalto por saco de cemento.
- d) 1:8 (en volumen), una parte de cemento y ocho de arena gruesa.
- e) Simple, mezcla no estabilizada de suelo y agua. Cuando se usó este tipo de mortero, el dobe también fue de suelo sin estabilizar.

REFUERZO.- Se utilizo:

a) Caña de Guayaquil.- Sus características fueron (9)

- La caña sin pulpa tenía una resistencia a la tracción de 1800 Kg/cm² y la entera , 1400 Kg/cm² con módulos de Young de $2.25 * 10^5$ Kg/cm² y $1.52 * 10^5$ Kg/cm² respectivamente.

- La caña sin pulpa puede usarse sin impermeabilizante.

La caña entera sólo puede usarse impermeabilizada de asfalto y luego de una semana de secado.

- La Humedad disminuye , al parecer la resistencia de las cañas en un 20 a 30% (10).

b) Carrizo.- Se obtuvo de las tiras de carrizo abierto que forman una entera (carricillo).

c) Caña- Carrizo .- Para ser empleada, se cortó en tiras cuya resistencia a la tracción varia entre 7 y 23 Kg/gr/m (11).

d) Acero.- Se usó acero estructural corrugado grado 60 (fy=4200 Kg/cm²).

CEMENTO.- Se utilizó cemento Portland Normal Astm Tipo I.

CONCRETO.- Para todos los elementos en que se usó concreto, este fue diseñado para obtener una resistencia a la compresión de $f_c = 175$ Kg/cm² a los 28 días.

3.2.2 Descripción De Los Especímenes Y Dispositivos De Prueba

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los diversos ensayos realizados sobre construcciones de adobe. Cabe aclarar que el asfalto incorporado en el adobe, no le aumentó su resistencia a la compresión, flexión, etc, etc, sino que solamente lo hace más durable ante la acción del agua, por su efecto impermeabilizante:

ELEMENTOS DE MURO

Con el propósito de determinar las características elásticas de los muros de adobe, se realizaron los siguientes ensayos:

a) Ensayo de Compresión axial.—Se realizaron utilizando pilas de adobe formados por 6 unidades esbeltez 1:2 y aplicando la capa perpendicularmente. Se realizaron utilizando pilas de adobe formados por 6 unidades esbeltez 1:2 y aplicando la capa perpendicularmente a las juntas principalmente a las juntas principales.

Se prepararon pilas de:

- Bloques estabilizado y mortero 1:10:1%
- Bloques estabilizado y mortero s-2%
- Bloques estabilizado y mortero 1:8

- Adobe simple y mortero simple.

Los resultados fueron (11) y (12)

Cuadro No 2

Los valores indicados representan el promedio de 3 a 4 especimenes.

b) Ensayos de corte directo.—Para este ensayo eligió un muretee formado por tres adobes de los cuales el intermedio estaba cortado por la mitad y las partes , separadas entre sí.

Los resultados fueron (11) (12)

Cuadro No 3

NOTAS:

1.- Los valores de u y f corresponden a la ecuación de fallas

$$\tau = u + f\sigma \quad \dots (27)$$

donde : τ = esf. tangencial de falla

σ = esf. de confinamiento

2.- Los valores de las tablas se obtuvieron ajustando líneas rectas a los puntos experimentales y sin considerar los valores para confinamiento nulo (Fig. 5)

c) Ensayo de comprensión diagonal. - Para este ensayo se construyeron muretes formados por 3 bloques con una relación $h/l=1$ a los cuales se les aplicó la carga de comprensión en dos de sus aristas, en dirección de una de sus diagonales (Fig. 6)

Los resultados fueron: (12)

Cuadro No 4

Se ha tomado el mismo valor que para los bloques chicos del trabajo de Meli y Reyes (12) y considerando en estos ensayos :

$$h/l = 1$$

$$(1) V = \frac{V}{1T} \quad \dots (28)$$

$$(2) V_{td} = \sqrt{f_m'} \quad \dots (29)$$

$$(3) \quad \dots (30)$$

$$V_c = \frac{0.8u}{1 - 0.9 \frac{fh}{2}}$$

En base a estos resultados, se concluyó que, en general, la estabilización mejora las características mecánicas del suelo. La expresión $V = \mu + f\sqrt{\dots}$ relaciona las diferentes variables satisfactoriamente (*). También que pueden usarse especímenes con bloques pequeños (26.5 cm*26.5cm). Para obtener las propiedades mecánicas de la mampostería de bloques más grandes y que

la expresión (3) no es aplicable para las pruebas de comprensión diametral, para los especímenes ensayados.

MUROS

Se efectuaron 2 tipos de ensayo : de corte y de flexión.

A) Ensayo de Muros bajo Cargas en su Plano (corte). - Los muros ensayados fueron de 3 tipos:

- Muros de adobe con mortero de barro (5), (6), (7). - Se ensayaron muros con y sin refuerzo. La resistencia del muro sin reforzar (espécimen Nro 1) fue de 0.123 Kg/cm², correspondiente al espécimen Nro 6 reforzados en ambos bordes verticales y también horizontalmente cada tres hiladas.

Es digno de notar que el muro sin refuerzo con juntas de barro con cemento resistió 0.236 Kg/cm², es decir más que la mayoría de los muros reforzados y casi tanto como el más resistente.

Debe anotarse, sin embargo, que la capacidad de deformación de los muros reforzados fue significativamente mayor que los muros sin refuerzo.

(fig. 7)

- Muros de bloque estabilizado con mortero 1:(6,4):1%

El resultado de los ensayos fue el siguiente: (14)

Cuadro No 5

El cuadro mostro que:

- La resistencia al corte de los muros con esfuerzo es mayor en un 65% con respecto a los no reforzados.

- Los muros reforzados tuvieron mayor capacidad de deformación que los muros sin esfuerzo.

- El esfuerzo cortante máximo varía entre 0.32 Kg/cm² para los muros sin esfuerzo y sin confinamiento hasta 0.582 Kg/cm² para muros con refuerzo vertical y horizontal y carga de confinamiento.

- Muros de bloque estabilizado con mortero cemento - arena 1:8(11)

Se ensayaron 4 muros : 2 con vano de ventana y 2 con vano de puerta.

se realizó un análisis de los muros por:

- Esfuerzo cortante
- Volteo (Figura 8)
- Tracción (Figura 9)

Con respecto a la falla por volteo se llegó a la conclusión de que podía ser fácilmente controlada por el refuerzo vertical en los extremos del muro y de los vanos, de falla por corte y por tracción:

Estos resultados fueron:

Cuadro No. 6

Del cuadro anterior se concluye que:

a) La falla debido a cargas horizontales en su plano, se origina por un agrietamiento causado por el rompimiento de la adherencia entre los bloques de la mampostería y el mortero.

b) Para los muros con vano de ventana, de acuerdo al análisis, la condición de falla es por corte en cambio para los muros con vano de puerta la condición de falla por tracción resultó más desfavorable.

c) La comparación entre los valores experimentales y los análisis para las condiciones críticas dan valores de 0.87 a 1.32, cm un promedio de 1.12.

d) La carga aplicando la siguiente ecuación:

$$V = 0.36 + 1.07\sqrt{f_c}$$

... (31)

B) Ensayo de muros bajo cargas perpendiculares a su plano

- Moromi ⁽¹⁰⁾ estudió experimentalmente la resistencia en flexión en un plano horizontal de la albañilería de adobe con o sin reforzar para ello utilizó muros de adobe simple.

La resistencia del muro sin reforzar resultó muy pequeña mientras que con refuerzo se llegó hasta una resistencia 39 veces mayor cuando se usó mortero de barro con cemento, pero solo 4 veces mayor cuando se usó mortero de barro simple.

Posteriormente, Vera ⁽¹⁵⁾ ensaya muros a escala natural con y sin vanos de puertas, viga solera y sin sobremuro, encontrando que para "sobremuros" de bloque estabilizado con mortero cemento-arena 1:8 y en voladizo, el esfuerzo resistente en flexión es del orden de 0.26 kg/cm².

En cambio, para el caso de muro con 4 bordes arriostrados obtuvo un esfuerzo resistente de 1.13 Kg/cm², 4.35 veces mayor que el valor de 0.26 kg/cm² para "sobremuros".

Lo anterior no indica sino que la teoría para calcular los esfuerzos actuantes en conservadora y da valores que son del orden de 4 veces mayor que los verdaderos.

Dicha teoría es conservadora principalmente por las siguientes razones :

- a) Ignora las restricciones al giro en los bordes arriostrados.
- b) La resistencia en el plano horizontal es mayor que en el plano vertical.
- c) Ignora la redistribución de esfuerzos en las etapas cercanas al colapso.

PARTE II. En la Universidad Católica.

En las investigaciones realizadas en la PUCP, se ha pretendido plantear soluciones concretas al problema de la estabilidad estructural de las viviendas de adobe estudiando un módulo básico de dichas viviendas, con la esperanza de que éste sea representativo o que se pueda proyectar a cualquier disposición arquitectónica típica. Para ello se han efectuado una serie de variantes en la composición del módulo mismo, tanto en su forma (disposición de varios) como en la colocación de refuerzos.

Asimismo, se realizaron una serie de ensayos de muros y elementos que tenían por objeto complementar la información sobre el comportamiento de las construcciones de adobe.

3.2.1 Descripción de los materiales utilizados

ADOBE:

Los adobes empleados fueron fabricados de arcilla con paja en dos tamaños nominales:

20x40x8 cm. y 30x60x8 cm.

Todos los adobes utilizados fueron fabricados por el mismo operario quien luego de mojar la arcilla y formar el barro, le agregaba paja según su criterio hasta obtener la consistencia con que se acostumbra trabajar se hicieron ensayos a compresión en cubos de 8cm. de lado, tallados de unidades completas ensayos a compresión en cubos de 8 cm. de lado tallados de unidades completas, ensayos de tracción (tipo brasilero) en probetas cilíndricas de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura y también ensayos a flexión de adobes enteros, usándose en ambos casos, adobes de diferentes edades con el objeto de evaluar la influencia del tiempo.

De los resultados, se pudo evaluar que no existe una diferencia significativa en el orden de magnitud de las tensiones obtenidas para adobes que tenían entre un mes y un año de antigüedad.

Los resultados fueron los siguientes (promedio de un mes y 1 año):

- Compresión en cubos de 8 cm. de lado : 14.6 kg/cm
- Tracción por flexión : 3.9 Kg/cm

- Tracción (Ensayo brasilero) : 1.12Kg/cm

MORTERO

El mortero usado para asentar los adobes fue el mismo barro con paja enpleado en la fabricación de las unidades, sin incluir ningún elemento adicional.

CAÑA

LA caña utilizada como refuerzo horizontal fue del tipo denominado carrizo. Se hicieron ensayos de la resistencia a tracción obteniéndose como promedio 474 Kg/cm .

ALAMBRE

Se empleó alambre galvanizado No 8 como refuerzo vertical cuya resistencia promedio a la tracción es 3785 Kg/cm en la fluencia.

MADERA

Como vigas soleras, dinteles y refuerzos, se usó listones de madera del tipo "tornillo" de 1 1/2 " x 2" de sección.

Los ensayos sobre su resistencia, dieron como resultado lo siguiente:

- Compresión perpendicular a las fibras: 74.1 Kg/cm
- Compresión paralela a las fibras : 298.7 Kg/cm
- Flexión : 556.8 Kg/cm

ESTERAS

Como encofrado de los techos ensayados, se emplearon esteras de carrizo de 2m x 3m.

3.2.2 Descripción de los Especímenes y Dispositivos de Prueba

ELEMENTOS DE MURO

Con el propósito de determinar las características elásticas de los muros de adobe, se realizaron los siguientes ensayos:

a) Ensayos de compresión axial.-

Se realizó con pilas de adobe de 20x40x80 cm, esbeltez 1:4 y carga perpendicular a las principales juntas de mortero y en otros casos carga paralela a las principales juntas de mortero.

Esto permitió apreciar que el módulo de elasticidad depende del tipo de aparejo usado, obteniéndose como promedio el valor de $E=1700 \text{ Kg/cm}$

La resistencia a la compresión se toma como $=8.321 \text{ Kg/cm}$

b) Ensayos de compresión diagonal.-

Se realizó con muretes de 0.60x0.60 cm. y permitieron obtener los siguientes valores:

-módulo de rigidez $G=378.2 \text{ Kg/cm}$

-y fisuración $= 0.269 \text{ Kg/cm}$

MUROS

Se efectuaron dos tipos de ensayos sobre muros: de flexión y de corte. Las dimensiones de los muros aislados sometidos a prueba fueron de 2.40x4.00 m. variando el espesor en función del tiempo de aparejo y del tamaño de adobe empleado.

a) Ensayo de muros bajo cargas en su plano (corte).

Se ensayaron 16 muros y normalmente la carga se aplicó a los 2/3 de la altura pero repartida a través de un elemento rígido, hasta la mitad del muro (Fig.10).

Esto se hizo con el fin de reproducir en el muro condiciones semejantes a las que ocurrirían en un sismo dado, donde además de la carga lateral cuasi-estática que simula el sismo, actúa el peso de la cubierta (en el ensayo, este peso es reemplazado por el peso del medio muro), (Fig.11).

b) Ensayo de muros en flexión

Se ensayaron un total de 10 muros verticales de 2.4x4.00 m de saga y diferentes características y 3 muros horizontales de 1.58x1.58x0.20 m.

El ensayo de los muros verticales consiste en arrastrar el muro con un marco de madera fijados por tirantes a una losa vertical de manera que el muro queda arrastrado en sus cuatro bordes.

Luego se le aplica una carga en el centro y perpendicular a su plano hasta que falle. (Fig.12).

En el caso de los muros horizontales, se construyen sobre un perímetro de ladrillo y apoyados sobre madera; luego se quitaban los apoyos de madera y se procedía a cargar el muro horizontal hasta la falla.

En todos los casos las fisuras se produjeron según las juntas principales de mortero, independizándose de este modo las hiladas de adobe y produciéndose el colapso total al fallar por corte la zona inmediata al borde de apoyo.

c) Ensayo de Volteo de muros

Se ensayaron un total de 5 muros de 2.4x4.00 m. de acuerdo al dispositivo mostrado en la fig.12-a .

En la mayoría de los ensayos se observó que el comportamiento del muro se asemeja mucho al movimiento de un sólido rígido que gira entorno a un punto, lo cual se debe a la poca adherencia entre el mortero y el adobe (Fig.13).

El comportamiento del muro sometido al volteo se aprecia en la fig.14 .

Es decir, si inicialmente suponemos una distribución triangular(fig.15) en la base del muro, cuando el valor de la compresión máxima en el mortero se alcanza, se producen plastificaciones y reacomodos mientras el muro

Va girando lentamente y la excentricidad decrece hasta cero (volteo) cambiando la distribución de presiones para mantener la excentricidad constante, de manera que el momento restaurador por unidad de longitud de muro es:

$$M = \frac{b \cdot \gamma \cdot h^2}{2}$$

donde: γ = Peso específico del muro
 b = Espesor
 h = Altura

ENSAYO DE MODULOS DE VIVIENDA

Estos ensayos se realizaron utilizando un sistema de plataforma inclinable y permitieron corroborar las observaciones realizadas en los ensayos anteriores quedando establecido, que ante un sismo, los muros paralelos a la sollicitación se pueden diseñar utilizando la expresión : $\zeta = 0.09 + 0.55 \sqrt{\tau}$, y los muros transversales mediante el método de los trabajos virtuales.

CONCLUSIONES

Entre las múltiples conclusiones a las que se llegaron con estos ensayos, se tienen las siguientes principales:

a) En general, el comportamiento del adobe es tal que posee un rango elástico inicial.

b) La disposición propia a este material heterogéneo dificulta la tarea de determinar las constantes elásticas, pero sin embargo ha sido posible evaluar en forma suficiente:

- El módulo de elasticidad $E=1700 \text{ kg/cm}^2$

- El módulo de Poisson $\nu = 0.15$

- La resistencia al corte $\phi = 0.09+0.55$

c) Los muros verticales apoyados en el suelo y en un marco de madera para los otros tres lados, se comporta frente a cargas perpendiculares a su plano, como si estuviera empotrado en la base.

Luego de la fisuración, el momento en dicha base queda limitado al máximo momento de volteo del muro :

$$M = \gamma b^2 h/2$$

d) En los ensayos de muros verticales, se aprecia una "ductilidad aparente" mayor que cuatro.

e) La mejora de esta ductilidad por la colocación de refuerzo de caña u otros, no es tan significativa como era de esperarse y se estima (al momento) que es del orden del 50 al 100 %

- f) La mencionada "ductilidad aparente" definida como la relación entre la deformación por rotura y la de fisuración, en realidad no es propia del material si no del tipo de sollicitación y de condiciones de equilibrio.
- g) En las grietas inclinadas, solo hay resistencia a la flexión en los tramos horizontales que es donde actúan las fuerzas de gravedad.
- h) El diseño de muros sometidos a carga perpendicular a su plano se puede realizar empleando el método de los trabajos virtuales.

3.2.3 Propuestas derivadas de los estudios experimentales

a) Mejoramiento del Esquema Estructural:

Para contrarrestar las deficiencias en las viviendas de adobe, se deberá tomar en cuenta que la longitud de los muros tomados entre dos contrafuertes o dos muros perpendiculares a él, no debe exceder diez veces su espesor.

La altura máxima de los muros no debe ser mayor que ocho veces su espesor y como máximo tres metros. Debe limitarse el empleo de muchos vanos y en lo posible, estos deberán estar centrados y reforzados con dinteles debidamente empotrados. Los muros deben estar perfectamente amarrados en sus encuentros, se recomienda

el uso de mochetas que permite una mayor longitud de anclaje del refuerzo horizontal y el uso de contrafuertes que es una solución para arrastrar los muros largos.

Los techos, en lo posible, deben ser livianos y deberán estar anclados adecuadamente a la viga solera. Debe usarse una longitud adecuada de aleros para proteger los muros de la lluvia.

b) Adición de refuerzos horizontal y vertical en los muros.

Para mejorar la resistencia de los muros ante sollicitaciones sísmicas, es la colocación de refuerzos interiores horizontales y verticales, estos pueden ser de caña o alambre, tanto el refuerzo horizontal como el vertical proporcionan al muro cierta ductividad, lo cual evita de cierta manera, la falla frágil de estas edificaciones.

El refuerzo horizontal se colocará cada tres o cuatro hiladas. Debido a la dificultad en la colocación del refuerzo vertical a determinado espaciamiento, se recomienda la colocación de este refuerzo sólo en las esquinas o encuentro de muros, este refuerzo deberá estar anclado a la cimentación y posteriormente fijarse a la viga solera.

c) Colocación de una viga solera

El colocar una viga solera perimetral en el extremo superior de los muros le da una mejora sustancial a las viviendas de adobe. La viga debe estar debidamente anclada al muro con el propósito de que actúe como un arrostre horizontal; esta viga solera permite una mayor continuidad entre todos los muros.

La viga solera puede ser de madera o formado con troncos de eucalipto que es una de las más usadas en el Perú, otra alternativa sería colocar una viga de concreto armado. El principal problema es de lograr una buena adherencia entre la viga solera y el muro.

d) Mejoramiento de la resistencia de los morteros

La resistencia de los muros de adobe depende fundamentalmente de la adherencia lograda entre las unidades de adobe con el mortero. La adherencia debe ser por lo menos suficiente para desarrollar completamente la resistencia a la tracción del bloque de adobe cuando el muro está sujeto al corte o tracción diagonales.

El mortero más usado es el de barro, el cual se elabora con el mismo material con el que se fabrica los adobes, la adición de paja al mortero es indispensable para mejorar la adherencia con los adobes, de otro lado, la paja ayuda para controlar el agrietamiento producido por la contracción de secado. La incorporación de otros

aglomerantes al mortero, como la cal y el cemento aumentan la resistencia del mortero.

CAPITULO IV

EL ESTADO DEL ARTE DEL DISEÑO CON ADOBE

4.1 CIMENTACION

La cimentación deberá transmitir la carga de los muros al terreno de acuerdo a su esfuerzo permisible y tendrá una profundidad mínima de 40 cm.

Los cimientos para los muros deberán ser de concreto ciclópeo o mampostería de piedra. En las zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero Tipo II.

El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o mampostería de piedra asentada con mortero Tipo I, y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 20 cm. sobre el nivel del suelo (Fig. 16).

4.2 MUROS

Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá definiendo sus dimensiones, utilizando arriostres o refuerzos.

4.3 ELEMENTOS DEL ARRIOSTRE

- Para que un muro se considere arriostrado deberá existir suficiente adherencia o anclaje entre éste y sus elementos de arriostre, para garantizar un adecuada transferencia de esfuerzos.

- Los elementos verticales de arriostre tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir la fuerzas cortantes a la cimentación.
Cuando el arriostre vertical está constituido por un muro o contrafuerte, su longitud en la base no será menor que tres (3) veces el espesor del muro.

- Se considera arriostre horizontal al elemento o conjunto de elementos que posean una rigidez suficiente en el plano horizontal como para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros. Estos elementos se diseñarán como apoyos del muro arriostrado, considerándose a éste como losa, sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a él.

- Se deberá garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deberán conformar un sistema continuo e integrado.

4.5 TECHOS

- Los techos deberán en lo posible ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros y fijados adecuadamente a éstos a través de la viga solera.
- Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros, empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.

4.6 REFUERZOS

- Para todo tipo de edificaciones de adobe, es obligatorio:
 - a) El uso de vigas soleras.
 - b) La colocación de refuerzos interiores en los muros.
 - c) Que los refuerzos garanticen la conexión de los muros en encuentros y esquinas (para evitar la separación y desplome de los mismos).
- Se cuidará especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.

- Los materiales utilizados como refuerzo serán :
Caña o similares, en tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de juntas (máximo cada 4 hiladas) en todos los muros unidas entre sí mediante amarres adecuados en los encuentros y esquinas.

- Se reforzará la junta que coincide con el nivel superior e inferior de todos los vanos. Deberán coincidir los niveles superiores de los vanos (puertas y ventanas).

- Adicionalmente se colocará cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en un plano central entre unidades de adobe (Fig. 17), con alveólos de mínimo 5 cm. de diámetro dejados en los adobes. La distancia máxima entre refuerzos verticales será de 60 cm.

- En ambos casos se asegurará la adherencia, rellenando los vacíos con mortero. Estas configuraciones serán obligatorias.

- El refuerzo vertical deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura y seca o elementos rectos y secos de eucalipto u otros similares.

- Madera, se usará en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros.
- La viga solera se anclará adecuadamente al muro y al dintel si lo hubiese.

4.7 MORTEROS

Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán recibir el mayor cuidado.

- Los morteros se clasificarán en 2 grupos :
 - a) Tipo I (en base a cemento y arena)
 - b) Tipo II (en base a tierra con o sin aglomerantes)

Mortero Tipo I

Mortero de cemento-arena cuya relación volumétrica deberá estar comprendida entre 1:5 a 1:10.

Debe utilizarse arena gruesa (entre las mallas No 4 y No 30 ASTM).

Deberá utilizarse la cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad.

Mortero Tipo II

La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades de adobe y de ninguna manera tendrá una calidad menor que las mismas.

Deberá utilizarse paja seca en una proporción no menor de una parte de paja por dos partes de tierra, en volúmen (1% en peso).

Deberá emplearse la cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.

Las juntas horizontales y verticales no deberán exceder de 2 cm. y deberán ser llenadas completamente.

CAPITULO V

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCION CON ADOBE

5.1 Generalidades

Esta sección trata sobre el estado del arte del proceso constructivo con adobe.

a) Procedimientos Iniciales

Los Procedimientos al inicio son :

- . Preparación o limpieza del terreno.
- . Excavación
- . Cementación
- . Muros
 - levantamiento de muros
 - vanos
 - puertas / ventanas
- . Techos
- . Pisos
- . Acabados

(Fig. 18)

b) Tecnología mejorada de la construcción con adobe.

Se consideran áreas siguientes :

1. Materiales :

Selección de suelos

Estabilización de suelo para adobe, mortero, etc.

2. Componentes : muros de adobe reforzados con caña.
3. Uniones : reforzamientos.
4. Condiciones y procesos constructivos

i) Materiales

Los materiales involucrados en esta tecnología son :

. Materiales Básicos

Suelo

Piedra

Bambú y otras cañas

. Estabilizadores

Asfalto

Cemento

Polímeros

. Materiales en Combinación

Suelo estabilizado

Adobe reforzado con bambú

ii) Componentes de Construcción

Las operaciones y/o componentes de la construcción son:

- . Elaboración de los Adobes
- . Cimentación

- Levantamiento de Muros (considerando vanos)
- Techado
- Elaboración de pisos
- Acabados

Fig. 19

iii) Abastecimiento de Suelo

Las actividades relacionadas al abastecimiento de suelo son indicadas en el siguiente diagrama de flujo :

Fig. 20

i) Selección de Canteras.

La selección de canteras para el abastecimiento de suelo van a depender de :

1. El tipo de suelo disponible
2. Transporte
 - a. Distancia
 - b. Método

ii) Extracción del suelo

La extracción mecánica del suelo en los lugares como en el Perú no se justifica debido a la abundancia de la mano de obra por un lado y el alto costo de la maquinaria por otro lado. Por lo tanto, será mas beneficioso mejorar la extracción manual que reemplazarla por medios mecánicos.

iii) Transporte del Suelo

El suelo es transportado por medio de canetillas, lo que será adecuado para construcciones a pequeña escala situadas cerca de canteras.

iv Elaboración del Adobe

La tecnología actual de elaboración del adobe puede apreciarse en el siguiente diagrama de flujo :

Fig. 21

v Preparación de morteros :

- Mortero

La preparación de morteros comprende 4 sub-actividades :

Selección de suelos

Mezclado de suelo con el estabilizador

Humedecido

Transporte al sitio de obra

- Mezcla a usar

Los resultados de ensayos señalan que las siguientes mezclas (por volumen) producen los mejores morteros:

* 1 Cemento : 10 suelo + 1% asfalto

* 2 Cemento : 10 suelo + 2% asfalto

C A P I T U L O VI

ANALISIS RIGUROSO SISMO-RESISTENTE DE UNA EDIFICACION DE ADobe DE UN PISO

Para este análisis, utilizaremos la planta de la edificación mostrada en la figura 22.

6.1.1 Consideraciones Generales de Diseño:

Adobe: De espesor 0.50 m, altura = 2.60 mt, Mortero Tipo II, $\gamma = 1.6 \text{ T/m}^2$.

Techo: Se considerará techo inclinado y por su buen anclaje, se tomará como techo rígido.

Rigideces de Muros: Para el cálculo se va a considerar las rigideces por flexión y corte según la expresión:

$$k = \frac{Et}{4(h/l)^3 + 3(h/l)}$$

Centro de Rigideces (X_r, Y_r): Se considerará que las fuerzas cortantes en cada dirección principal de la edificación es tomada únicamente por los muros paralelos a dicha dirección.

$$Xr = \frac{Ky \cdot Xi}{Ky}, \quad Yr = \frac{Kx \cdot Yi}{Kx}$$

Centro de Masas (X_m, Y_m) Se considerará el peso de todas las cargas permanentes.

$$X_m = \frac{P_i X_i}{P_i}, \quad Y_m = \frac{P_i Y_i}{P_i}$$

Fuerzas Cortantes: Se calcularán de acuerdo a los parámetros definidos por el R.N.C.

Cortante que toma cada muro: Se encontrará según el RNC considerando:

- a) Cortante Directo por fuerza sísmica.
- b) Cortante por efecto de Torsión.
- c) Cortante debido a la Torsión accidental.

6.1.2 ANÁLISIS

a) Longitud de muros : Las longitudes se muestran en el cuadro No 7.

b) Area techada

$$A = 64 \text{ m}^2.$$

c) Cálculo de la fuerza sísmica

Según $H = (ZUCS/Rd) \times Pt$

De los datos, obtenemos: $P=57.5$ Ton

Usando $Z=1.0, U=1.0, S=1.2, C=0.4, Rd=1.5$

$H=0.32$ Ft, $H=18.4$ Ton.

d) Cálculo de las rigideces de los muros (Cuadro 8)

e) Cálculo del centro de rigidez (X_r, Y_r)

(Cuadro 9)

Del cuadro, $(X_r, Y_r) = (4.013m, 4.343m)$

f) Cálculo del centro de masas (X_m, Y_m)

(Cuadro 10)

Del cuadro, $(X_m, Y_m) = (4.67m, 4.24m)$

g) Cálculo del corte directo (V_d)

Se hará según las fórmulas:

$$V_{dxi} = \frac{K_i}{K_x} \cdot H \qquad V_{dyi} = \frac{K_i}{K_y} \cdot H$$

Los resultados se muestran en el Cuadro 11.

h) Aumento de Cortantes por efecto de Torsión

Para este efecto, se usó:

$e_x = 0.637m$, $e_y = -0.103m$

$D_x = D_y = 8.00$, $H = 18.4$ tn

$M_{t1x} = 2.494$ tn x mt. $M_{t1y} = 7.00$ tn x mt

$M_{t2x} = 4.361$ tn x mt. $M_{t2y} = -9.25$ tn x mt

Los resultados se muestran en el cuadro 12.

i) Esfuerzos Cortantes en elementos de cada muro. Los esfuerzos cortantes en cada elemento de los muros, los cuales utilizaremos para determinar si es necesario refuerzo por cortante, se muestran en el cuadro 13.

6.1.3 Diseño

Se diseñarán los muros. Los demás elementos deberán diseñados siguiendo los procedimientos establecidos.

A) Esfuerzos Admisibles: Serán determinados de acuerdo a la norma de adobe E080.

- Resistencia al Corte: Según la norma E080, el esfuerzo admisible al corte es de 0.25 kg/cm^2 .

- Coeficiente de resistencia a la rotura del Eucalipto (F_r).

El esfuerzo cortante paralelo a la fibra es de 56 kg/cm^2 considerando un $FS=3$, entonces el $F_{adm} = 18 \text{ kg/cm}^2$ que consideraremos para el esfuerzo horizontal. El esfuerzo en tensión es 700 kg/cm^2 , entonces $F_r = 230 \text{ kg/cm}^2$.

- Esfuerzo admisible de compresión: El esfuerzo admisible de compresión usado en nuestro análisis será de 20 Tn/m^2 , según normas E080.

B) Diseño de los muros: Para nuestro diseño consideraremos dos condiciones importantes:

i) Fuerza cortante.

ii) Fuerza sísmica perpendicular al plano.

a) Cálculo del refuerzo horizontal.

Según los resultados, observamos que el muro en condiciones más críticas es el muro 1-2.

- Refuerzo horizontal por fuerza cortante.

En este caso, no lo consideraremos pues el esfuerzo cortante es menor que el admisible indicado en la norma E080.

- Refuerzo por fuerza sísmica perpendicular al muro.

Para ello, se considerará que el muro se comporta como una losa, donde:

$W_p = ZSCpW$ (Tn/m²). En este caso, $W_p = 0.19$ Ton/m².

Considerando para el elemento 6 del muro indicado (el más desfavorable), obtenemos un $M_{max} = 0.2$ tn x mt, $A_{eu} = 2.70$ cm² y un $A_{eu} = 0.81$ cm²/cada 3 hiladas.

En el Cuadro 14, se presenta un resumen del refuerzo por fuerza sísmica perpendicular al muro 1-2.

Del mismo, podemos concluir que el muro será reforzado considerando un área de 0.81 cm²/3 hiladas.

6.2 DISEÑO POR EL METODO SIMPLIFICADO: VIVIENDA DE ADOBE DE UN PISO

6.2.1 Fuerza Cortante en el Plano del muro:

Dirección X:

a) Muros exteriores:

$$L_m = 0.40 A / (n+2)t; A=64, t=0.50m;$$

$$L_m = 7.31m < 14.40m \text{ Conforme.}$$

b) Muros interiores:

$$L_m = 0.10 (n-2) A / nt = 7.68m < 10.50m.$$

Dirección Y:

a) Muros exteriores: 8.53m < 16 mt.

b) Muros Interiores: 6.4m < 11.80mt.

6.2.2 Fuerza de Compresión por Cargas de Gravedad: Esta condición no es crítica. Conforme.

6.2.3 Fuerza de Tracción por cargas de gravedad, de sismo y momentos de volteo.

a) Muros exteriores: Con la relación en planta igual a 1 y con $h = 2.60mts.$

EJE X

MURO	T	Ae(cm ²)	Ae(cm ² /3 hiladas)
1-2	0.89	3.86	1.16
9-10	0.91	3.95	1.19

EJE Y

MURO	T	Ae(cm2)	Ae(cm2/3 hiladas)
1-9	0.99	4.30	1.29
2-10	0.99	4.30	1.29

b) Muros Interiores:

EJEX

MURO	T	Ae(cm2)	Ae(cm2/3 hiladas)
3-4	0.09	0.39	0.12
5-6	0.12	0.52	0.16
7-8	0.16	0.70	0.21

EJE Y

MURO	T	Ae(cm2)	Ae(cm2/3 hiladas)
1-9	0.25	1.10	0.33
2-10	0.17	0.74	0.22

6.2.4. Fuerza de Compresión por carga de gravedad, de sismo y de momento de volteo.

Muros Exteriores

Con la relación en planta igual a 1.

Se tiene: $h_{max} = 3.00$, como la altura de los muros exteriores es de 2.60m, es conforme la verificación.

Muros interiores

$h_{max}=4.00 > h=3.20$, Conforme.

6.2.5 Fuerzas perpendiculares al plano del muro.

Con $Z=1$, suelo Tipo II, $t=0.50m$, se obtiene:

$M=0.244 \text{ tn} \times m$.

Con lo que obtenemos:

$A_e=2.89 \text{ cm}^2$ y $A_e=0.88 \text{ cm}^2/3$ hiladas

6.3 ANALISIS RIGUROSO SISMO-RESISTENTE DE UNA EDIFICACION DE ADOBE DE DOS PISOS

6.3.1 Longitud de muros del 1er y 2do piso: Estas longitudes se muestran en el cuadro 15.

a) Area techada: Primer y Segundo piso: 90m².

b) Cálculo de las Fuerzas Sísmicas:

Teniendo $H=ZUCS/Rd \times Pt$; $F_i=(fP_ih_i/Zh_iP_i) \times H$

c) Valores de P_i :

Primer Piso: $P_1=103.60$ Tn.

Segundo Piso: 165.52 Tn.

d) Factores Sísmicos:

$Z=1$, $U=1$, $S=1.2$, $C=0.4$, $f=1.0$, $Rd=1.5$

$H=0.32Pt$, con $P_t=165.52$, entonces $H=0.32(165.52$
Tn)=52.96Tn.

e) Fuerzas Cortantes en cada Piso

NIVEL	P_i	h_i	P_ih_i	F_i
2	61.2	4.7	291.02	27.50
1	103.60	2.6	269.32	25.46

f) Cálculo de Rigideces de Muros

- Primer Piso: Los resultados son mostrados en el cuadro 16

- Segundo Piso: Los resultados se muestran en el cuadro 16 .

g) Cálculo del Centro de Rigideces (X_r, Y_r)

- Primer Piso: Ver Cuadro 17.

De los resultados: $X_r=5.21m, Y_r=4.36m.$

- Segundo Piso: Ver Cuadro 17.

De los resultados: $X_r=5.20, Y_r=5.88$

h) Cálculo del Centro de Masas (X_m, Y_m)

- Primer Piso: Ver Cuadro 18.

De los resultados: $X_m=4.83m, Y_m=4.34m.$

- Segundo Piso: Ver Cuadro 18.

De los resultados: $X_m=4.84, Y_m=4.43m.$

i) Cálculo del Corte Directo

Los resultados se muestran en el Cuadro 19.

j) Aumento de Cortantes por el efecto de Torsión.

Según el RNC:

- Primer Piso: Usaremos

$e_x=-0.38m, e_y=-0.02m, e_{accx}=0.5m, D_x=10.0m, D_y=9.00m,$

$e_{accy}=0.45m, H=52.96 \text{ Ton}, M_{tix}=-3.71 \text{ Ton} \times m,$

$M_{t2x}=22.24 \text{ tn} \times m.$

Ver Cuadro 20.

- Segundo Piso: Usaremos

$e_x = -0.36\text{m}$, $e_y = -1.45\text{m}$, $e_{accx} = 0.50\text{m}$, $D_x = 10.00\text{m}$, $D_y = 9.00\text{m}$,
 $e_{accy} = 0.45\text{m}$, $M_{tx1} = -1.1 \text{ tn} \times \text{mt}$, $M_{tx2} = -23.65 \text{ tn} \times \text{mt}$,
 $M_{ty1} = -47.44 \text{ Tn} \times \text{mt}$, $M_{ty2} = -52.25 \text{ tn} \times \text{mt}$.

Ver Cuadro 20.

k) Esfuerzos Cortantes en Elementos de cada Muro.

- Primer Piso:

Los resultados se muestran en el cuadro 21.

- Segundo Piso:

Los resultados se muestran en el cuadro 22.

6.3.2 Diseño de los muros

Para nuestro diseño consideraremos condiciones importantes:

i) Fuerza Cortante (Esf. admisible al corte = 0.51 Kg/cm^2)

ii) Fuerza Sismica paralela al muro.

a) Cálculo del refuerzo horizontal 1er piso

i) Refuerzo horizontal por fuerza cortante

Consideraremos al muro 1-2, el cual está en condiciones más desfavorables, para lo cual tenemos los siguientes datos:

ELEMENTO	A(cm ²)	(Kg/cm ²)
1	(350*50)	0.68
2	(100*50)	0.40
3	(520*50)	0.50
4	(80*50)	0.82
5	(170*50)	0.76
6	(370*50)	0.73

Según este cuadro observamos que hay elementos adyacentes a los vanos que no satisfacen el esfuerzo admisible al corte (0.51 Kg/cm²), para los cuales calcularemos el refuerzo de eucalipto por cortante:

$$V_u = V_{ua} + V_e \dots (32)$$

V_u = Fza Cortante última (Kg/cm²)

V_{ua} = Fuerza cortante última del adobe(Kg/cm²)

V_e = Fuerza cortante que toma el eucalipto.

donde:

$V_e = \beta d F_r A_e / S$, siendo $\beta = 0.5$, $V_u = 0.56$ Kg/cm², $V_{ua} = 0.51$ Kg/cm², A_e = área de refuerzo del eucalipto, F_r = esfuerzo cortante paralelo a la fibra (18 Kg/cm²).

S = espaciamiento (0.3 mt).

Según el cuadro anterior, el elemento más desfavorable es el #4, para él, el A_e será igual a $3.12 \text{ cm}^2 / 0.30 \text{ cm}$.

- Refuerzo por fuerza sísmica perpendicular al muro.

Se hará para los elementos 1,4,5,6, teniendo $W_p=ZSCpW$ (Tn/m²) con $Z=1$, $S=1.2$, $C_p=0.2$ (primer piso), $W=1.6t=0.8$ Tn/m², luego $W_p=0.19$ Tn/m².

ELEM.	M MAX (tn x m)	Ae(cm ²)	Ae/3 hiladas
1	0.204	2.25	0.68
4	0.010	0.15	0.05
5	0.062	0.68	0.20
6	0.590	6.46	1.94

Los demás muros que no han sido reforzados considerando corte quedarán reforzados considerando fuerza perpendicular al muro con un área de 1.94 cm²/3 hiladas.

b) Cálculo del refuerzo horizontal (2do piso)

i) Refuerzo horizontal por fuerza cortante

No es necesario

ii) Refuerzo horizontal por cargas sísmicas perpendiculares al muro.

De manera similar que en el primer piso.

$C_p=0.25$, $W_p=0.19 \text{ Tn/m}^2$ y considerando $L=4.30 \text{ mt}$,
 $h=2.1 \text{ mt}$.

$M_{\max}=0.88 \text{ Tn} \times \text{mt}$, con lo cual, el $a_e=9.73 \text{ cm}^2$, $A_e=2.92 \text{ cm}^2/3$ hiladas.

Podemos concluir que el refuerzo para todos los muros del segundo piso serán diseñados por cargas sísmicas perpendiculares al muro.

6.4 DISEÑO POR EL METODO SIMPLIFICADO: VIVIENDA DE ADOBE DE DOS PISOS.

Se diseñará la misma edificación de adobe que utilizamos para el método riguroso.

- Área techada ($A=90 \text{ m}^2$)
- Espesor de muros (t): 1er piso= 0.50 mt , $h(\text{mt})=2.6\text{mt}$
2do piso= 0.40 mt , $h(\text{mt})=2.1\text{m}$
- Relación en planta: 1:1.1
- Zona Sísmica I
- Número de muros (n):
Dirección X: $n=4$
Dirección Y: $n=3$
- Suelos Tipo II.

6.4.1 Primer Piso

a) Fuerza Cortante en el Plano del muro:

De la expresión (14) , se tiene $L_{\text{min total}}=23.4\text{m}$ para ambas direcciones, con $t=0.5\text{m}$ y $A=90 \text{ m}^2$.

Longitud total X-X: $28.7\text{m} > 23.4\text{m}$, Conforme.

Longitud total Y-Y: $26.0\text{m} > 23.4 \text{ m}$, Conforme.

b) Esfuerzo de Compresión \sqrt{c} por cargas de gravedad, sismo y momentos de volteo.

Aplicando la expresión (15), con $t=0.5$ m, $h_{max}=2.6m$ relación de planta 1:1.1, obtenemos:

$$c=19.86 \text{ tn/m}^2 < 20 \text{ Tn/m}^2, \text{ conforme.}$$

c) Esfuerzo de Tracción \sqrt{t} por cargas de gravedad, sismo y momentos de volteo:

Aplicando la expresión (16), con $t=0.5m$, $h_{max}=2.6m$, relación de planta 1:1.1, interpolando, obtenemos $t=5.55 \text{ tn/m}^2$. (no hay tracción).

d) Refuerzo Horizontal

i) Por fuerza cortante :

Para el Muro 1-2, elementos 1,4,5,6, con $t=50$ cm y $A=90$ m², aplicando la expresión (17), obtenemos $A_e=1.01$ cm², entonces 1.01 cm²/3hiladas.

ii) Por cargas sísmicas perpendiculares al muro.

Usando la expresión (18), para $t=0.5m$, entonces $A_e=3.37\text{cm}^2=1.01\text{cm}^2/3$ hiladas.

6.4.2 Segundo Piso:

a) Fuerza Cortante en el plano del muro:

X-X:

De la expresión (19-20) con $t=0.4m$ y $A=90m^2$.

Longitud muros exteriores = $7.50mt < 20mt$.

Longitud muros interiores = $3.75 mt < 10.70mt$.

Y-Y:

Longitud muros exteriores: $9m < 18.0 mt$.

Longitud de muros interiores: $4.5m < 7.8 m$.

b) Esfuerzo de Compresión ∇_c por cargas de gravedad, sismo y momentos de volteo.

Relación en planta 1:1.1, con $t=0.40m$, $h=2.1m$, entonces $c=7.42m < 20 tn/m^2$.

c) Esfuerzo de tracción ∇_t por cargas de gravedad, sismo y momento de volteo.

Relación en planta 1: 1.1, $t= 0.40mt$, $h=2.1m$, entonces $t=-22.14 (Tn/m^2)$, no hay tracción.

d) Refuerzo Horizontal

i) Por fuerza cortante:

No es necesario.

ii) Por fuerza perpendicular a su plano:

De la expresión (26), para $t=0.4m$, $A_e=3.09 \text{ cm}^2/3$
hiladas.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Entre las conclusiones a las que hemos llegado podemos citar las siguientes :

1. Este trabajo de TESIS es parte del Proyecto de Investigación " MEJORAMIENTO DE LA CONSTRUCCION CON TIERRA ", investigación que vienen realizando un grupo de profesores de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

2. En el presente trabajo se ha realizado una revisión de los principales trabajos de investigación efectuados hasta ahora para determinar las propiedades de la albañilería de adobe y procedimientos de análisis y diseño para construcciones con adobe.

3. Al analizar el estado del arte del diseño y construcción con adobe, podemos afirmar que los procedimientos actuales de análisis, diseño y construcción son adecuados para satisfacer las demandas de resistencia y seguridad a las que pudieran estar sometidas en un movimiento sísmico fuerte probable aunque aún faltan investigaciones complementarias que nos permitan la formulación de manuales de diseño y

construcción y la revisión de la norma de adobe actual E080, incorporando recomendaciones para la construcción de dos pisos.

4. De la comparación del análisis efectuado tanto por el método riguroso y el simplificado propuesto para edificaciones de adobe de dos pisos, podemos ver que los métodos simplificados pueden aplicarse cuando la edificación cumpla con los requisitos bajo los cuales estos fueron deducidos. El porcentaje de vanos no mayor del 20% es un requisito indispensable para el uso de estos métodos. Asimismo se debe tener en cuenta que las edificaciones de dos pisos no deben ser realizadas en suelos cuya capacidad portante sea menor a los 2 Kgs./cm².

5. Creemos que es importante realizar una tarea de divulgación y de asesoramiento técnico de las construcciones con tierra desarrolladas en varias instituciones del país, especialmente en la Universidad Nacional de Ingeniería, el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI y la Universidad Católica del Perú, puesto que dada la modesta capacidad económica de la mayoría de nuestra población, se seguirá construyendo con materiales de bajo costo, como es el adobe, además de que en muchos lugares es el único material de construcción disponible. Esto es esencialmente importante, si se tiene en cuenta la experiencia

reciente del sismo en Moyobamba, donde la mayoría de las fallas, se debieron a una deficiente estructuración, lo que evidencia la necesidad de asesoría técnica.

Recomendamos proseguir las investigaciones sobre construcciones con adobe bajo los siguientes criterios :

Al trabajar con los resultados de las experiencias presentadas en este trabajo, se aprecia la necesidad de completar la información para una serie de casos particulares que pueden ensayarse en laboratorio, pero el mayor énfasis deberá ponerse en lograr una adecuada seguridad al colapso. Con este concepto, podemos señalar los siguientes tópicos a investigar :

- Se debe evaluar el comportamiento inelástico del "adobe reforzado con caña", es decir, la ductilidad ofrecida por la caña, que le da una "ductilidad aparente".

- Asimismo, debe estudiarse también la manera de considerar a la madera en el proceso de estimar la capacidad de ductilidad de la vivienda de adobe.

- Sería conveniente establecer criterios para la interpretación de los resultados provenientes del análisis granulométrico, determinación de los límites de Attenbergh y especialmente del ensayo de compactación de la mezcla suelo-cemento a usar a fin de determinar la relación de humedad-densidad tanto desde el punto de vista de su resistencia como de la trabajabilidad de la mezcla para casos de construcción en serie de edificaciones de adobe.

- Asimismo, estudiar elementos de diferentes dimensiones y cuantificación de materiales para su posible aplicación a muros prefabricados.

- A pesar del grado de confiabilidad que dan los resultados de ensayos con especímenes a escala natural, sería conveniente intentar ensayos a menor escala, por cuanto existen muchas veces limitaciones como : costos de fabricación, espacio físico, capacidad de equipos, etc; estos modelos deben reflejar exactamente el comportamiento del prototipo, usando para ello la ley de similitud, en base al análisis dimensional.

- Sería conveniente ensayar varias muestras de cada espécimen para que los resultados que se obtengan puedan tomarse como índices absolutos comparativos y ajustar luego los coeficientes de seguridad del diseño.
- También se recomienda estudiar la simplificación de las expresiones, dentro de los tramos de validez, a fin de contar con criterios empíricos sencillos para definir espesores, distancia entre arriostres, alturas, etc.
- Debido a la heterogeneidad del adobe, como material, se debería analizar el grado de dispersión de los resultados por esta razón.
- Sería recomendable estudiar también, las variantes para la estabilización del adobe, aparte de la lograda con el asfalto, usando cal, cemento, compresión mecánica, vegetales y otros.
- Debido a que en la mayoría de las fallas de las edificaciones de adobe en sismos pasados, se ha observado que estas ocurren en la unión bloque-mortero, sería recomendable realizar investigaciones conducentes a mejorar la adherencia entre los bloques de adobe y el mortero, principalmente mediante el uso de la

cal, cuyas características de adhesividad son ampliamente conocidas.

- Por otro lado, sería conveniente analizar el comportamiento estructural de la albañilería de adobe, en base a estudios de tipo dinámico.

- Asimismo, sería conveniente analizar los requerimientos de refuerzo que pueden ser necesarios sobre eventos sísmicos en la reparación de viviendas de adobe antiguas.

- También sería de mucha utilidad, la formulación de modelos de elementos finitos que representen fielmente las condiciones reales de diseño, incluyendo la manera de repartición de carga con probada garantía a fin de analizar la correlación entre los modelos teóricos expuestos y los resultados de los ensayos.

- Debido a que la fuerza sísmica es una carga alternada y que los mecanismos de falla y el comportamiento de un muro son diferentes cuando se aplican cargas monotónicas, es necesario realizar ensayos de muros de adobe bajo la acción de cargas cíclicas.

- También se recomienda realizar investigaciones para evaluar el factor de variabilidad de resistencia del prototipo al modelo (especímen). Estas experiencias se realizarán en muros a escala natural, tratando de simular las condiciones reales de apoyo, confinamiento, cargas, etc.

- Para encontrar el factor de variabilidad por excentricidad del prototipo al modelo, es necesario realizar experiencias para llegar a este factor representativo del grado de restricción de los techos en sus bordes y la influencia de la excentricidad de las cargas de agrietamiento.

- Asimismo, se debe programar una serie de experiencias con la finalidad de determinar el factor de variabilidad por esbeltez.

- Sería recomendable efectuar experiencias con la finalidad de determinar en forma más precisa los esfuerzos cortantes admisibles promedio y sus desviaciones estandar en los muros de viviendas de adobe de dos pisos.

- También, es necesario construir edificaciones típicas de adobe de dos pisos, en diferentes regiones sísmicas del país y ubicadas sobre diferentes tipos de suelo. Estas experiencias tendrán, por finalidad fundamental conocer más la influencia de estos factores en la respuesta sísmica de estas construcciones. En general no deben construirse edificaciones de adobe en terrenos blandos.

- Es importante realizar una tarea de divulgación y de asesoramiento técnico de la tecnologías de las construcciones con tierra desarrolladas en varias instituciones del país, especialmente en la Universidad Nacional de Ingeniería, el "Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda - ININVI" y la Universidad Católica del Perú.

REFERENCIAS

1. DISEÑO SISMO RESISTENTE DE MUROS DE ADOBE

Oscar Concha Bustamante

Facultad de Ingeniería Civil - 1973

2. ESTUDIO SISMICO DE CONSTRUCCIONES DE DOS PISOS DE ADOBE.

Roberto Morales Morales-Alejandro Sánchez-Rafael Torres C. -

OSWALDO Morales

3. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE ANALISIS Y DISEÑO

SISMO-RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE.

Roberto Morales M.-Carlos Irala Candiotti.

Anales del VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil.

4. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE ANALISIS Y DISEÑO SISMO-
RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE, DE DOS PISOS.

Roberto Morales M.-Carlos Irala Candiotti. -Normand Viviano B.

A ser expuesta en el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil

- Setiembre 1990.

5. ESTUDIO DE MUROS SOMETIDOS A CARGAS HORIZONTALES

Parte 5 (A).

Francisco Merino Rosas.

6. ESTUDIO DE MUROS SOMETIDOS A CARGAS HORIZONTALES

Parte 5 (B).

Guanilo García H.

7. ESTUDIO DE MUROS SOMETIDOS A CARGAS HORIZONTALES

Parte 5 (C).

Minchola H. C.

8. EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LA ESTABILIZACION DE SUELO
CON ASFALTO-ENSAYO DE ESPECIMENES DE TAMARO REAL.

Néiser, C. H.

Tesis de Grado, 1977.

9. ESTUDIO DEL SUELO-CEMENTO Y DE LA CAÑA DE GUAYAQUIL PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA CONSTRUCCION CON ADOBE.

Echazú Peralta, J.F.

Tesis de Grado, 1971.

10. ESTUDIO DE VIGAS DE SUELO-CEMENTO REFORZADO CON CAÑA DE
GUAYAQUIL Y DE MODELOS DE MUROS DE ADOBE SOMETIDOS A CARGAS
PERPENDICULARES A SU PLANO.

Isabel Moromi.

Tesis de Grado 1971.

11. ESTUDIO DE MUROS DE BLOQUES ESTABILIZADOS SOMETIDOS A CARGAS HORIZONTALES.

Vicente Chariarse.

Tesis de Grado 1978.

12. PROYECTO DE BLOQUE ESTABILIZADO-ESTRUCTURAS

Roberto Morales Morales-Alejandro Sánchez-Ricardo

Yamashiro.

13. INVESTIGACION SOBRE VIVIENDA RURAL

Marcial Blondet S., Julio Vargas Neumann.

Ministerio de Vivienda.-1978.