

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



PROPUESTA DE NORMAS DE DISEÑO
SISMO - RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES
DE ADOBE

TESIS

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

Presentada por:

JAIME ALEJANDRO IBERICO CEDRON

Abril - 1992

SUMARIO

En este trabajo, se presenta un Proyecto de Mejoramiento de las Normas Vigentes de Adobe E-080 en base a las investigaciones realizadas en la Universidad Nacional de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica y el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda principalmente. Se toma en cuenta la información existente tanto en el campo experimental como en el teórico con adobe simple y adobe estabilizado. Asimismo, se abarca el estudio de los esfuerzos admisibles fundamentales para el análisis y diseño con este material. Se incluye un ejemplo de análisis y diseño sísmo-resistente de una vivienda representativa de un piso usando los métodos de análisis y diseño actualmente establecidos

INDICE

	Página
INTRODUCCION	
CAPITULO I	
ESTUDIO DE LA INFORMACION EXISTENTE	1
1.1 Características de las Construcciones de Adobe ..	1
1.2 Comportamiento Sísmico y Tipos de falla en las Construcciones de Adobe	4
1.3 Procedimientos para Mejorar la Resistencia de las Construcciones de adobe	6
1.3.1 Mejoramiento del Proceso Constructivo y del Esquema Estructural	6
1.3.2 Adición de Refuerzos Horizontal y Vertical en los Muros	9
1.3.3 Colocación de una Viga Solera	9
1.3.4 Mejoramiento de la Resistencia de los Morteros	10
1.4 Propiedades Mecánicas del Adobe	11
1.4.1 Resistencia a la Compresión de la Albañilería	12
1.4.2 Resistencia al Corte de la Albañilería	14
CAPITULO II	
ESTUDIO DE ESFUERZOS ADMISIBLES PARA EL ANALISIS Y DISEÑO	16
2.1 Esfuerzo Admisible a Compresión en Muros	16
2.2 Esfuerzo Admisible al Corte en Muros	20

2.3 Esfuerzo Admisible a Tracción del Refuerzo	27
--	----

CAPITULO III

ESTUDIO DE LA CONFIGURACION ESTRUCTURAL	29
3.1 Generalidades	29
3.2 Criterios de Estructuración y Diseño en adobe ...	31
3.2.1 Simplicidad y Simetría	31
3.2.2 Resistencia y Ductilidad	32
3.2.3 Uniformidad y Continuidad	33
3.2.4 Rigidez Lateral	33
3.2.5 Techos: (Diafragma Rígido o Diafragma Flexible)	33
3.2.6 Criterios para el Dimensionamiento de muros	34
3.2.7 El Diseño en Adobe	34

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO DE ANALISIS Y DISEÑO	36
4.1 Análisis	36
4.1.1 Caso de Techo Rígido	36
4.1.2 Caso de Techo Flexible	48
4.1.3 Fuerzas Cortantes de Diseño	49
4.2 Diseño	50
4.2.1 Esfuerzos Admisibles	50
4.2.2 Diseño de Muros	50

CAPITULO V

PROCEDIMIENTO SIMPLE DE ANALISIS Y DISEÑO SISMO-RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE DE UN PISO	55
--	----

5.1 Determinación de las Fuerzas Sísmicas	
Horizontales	56
5.2 Fuerza Cortante en el Plano del Muro	58
5.3 Fuerza de Compresión debida a las Cargas de	
Gravedad	61
5.4 Fuerza de Compresión por Cargas de Gravedad, de	
Sismo y Momento de Volteo	62
5.5 Fuerza de Tracción por Cargas de Gravedad, de	
Sismo y Momento de Volteo	66
5.6 Muros con Cargas Perpendiculares a su Plano	70
5.7 Resumen de Fórmulas de Procedimiento Simple de	
Análisis y Diseño Sismo-Resistente de	
Construcciones de adobe de un piso	72
5.8 Ejemplo de Aplicación	74

CAPITULO VI

PROPUESTA DE NORMAS DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE DE	
CONSTRUCCIONES DE ADOBE	78
6.1 Requisitos Generales	78
6.2 Definiciones	79
6.2.1 Adobe	79
6.2.2 Adobe Estabilizado	79
6.2.3 Mortero	79
6.2.4 Altura Libre de Muro	80
6.2.5 Muro Arriostrado	80
6.2.6 Extremo Libre de Muro	80
6.2.7 Vigas Soleras	80

6.3 Estructuración	80
6.3.1 Recomendaciones Básicas de Estructuración en Zonas Sísmicas	80
6.3.2 El Conjunto Estructural de las Construccio- nes de Adobe	81
6.4 Cimentación	82
6.5 Muros	82
6.6 Elementos de Arriostre	84
6.7 Techos	84
6.8 Refuerzos	86
6.9 Morteros	87
6.10 Recubrimientos	88
6.11 Esfuerzos Admisibles	88
6.11.1 Resistencia a Compresión de la Unidad ...	88
6.11.2 Resistencia a Compresión de la Mamposte- ría	89
6.11.3 Resistencia al Corte de la Mampostería ..	90
6.12 Diseño de Muros	91

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFIA

CUADROS Y FIGURAS

INTRODUCCION

El adobe es empleado como material de construcción por un gran porcentaje de los habitantes de los países en desarrollo. Se estima que en el Perú el 65% de la población rural y el 31% de la población urbana viven en construcciones de tierra (Ref. 1). A nivel mundial, las dos terceras partes de la población continúan viviendo en casas de tierra.

Las construcciones de tierra deben su popularidad a su bajo costo, fácil disponibilidad, buen aislamiento térmico y a la posibilidad de autoconstrucción. Sin embargo, las viviendas de adobe -y de tierra en general- han demostrado ser sumamente inseguras en zonas sísmicas activas, debido a la deficiente tecnología de construcción, a la falta de refuerzos apropiados y a las limitaciones mecánicas propias del material: los muros de adobe son masivos, frágiles y poco resistentes.

Este hecho se corrobora cada vez que ocurre un sismo,

aun de intensidad moderada; la mayoría de las construcciones de tierra colapsan, ocasionando un gran número de lesiones, muertes y enormes pérdidas materiales.

Por estos motivos, es imprescindible y urgente llevar a cabo programas de investigación con el propósito de obtener información de las propiedades mecánicas de la albañilería, de tal manera que las construcciones de adobe puedan ser "satisfactoriamente" diseñadas y construídas para resistir cargas sísmicas u otros fenómenos naturales y climáticos.

En el presente trabajo, se presenta una propuesta de normas de diseño-resistente de construcciones de adobe, con el objeto de divulgar las recomendaciones técnicas mínimas que se deben considerar en el diseño con este material.

Se estudió, primeramente, la información existente con énfasis principal en la detección de los mecanismos de falla, lo que permitió identificar los tipos de esfuerzos que eran necesarios estudiar principalmente. Se estudió luego, en base a las investigaciones realizadas las propiedades mecánicas del adobe bajo diferentes sollicitaciones. A continuación en el Capítulo II, en base a estos estudios se estableció los esfuerzos admisibles necesarios para el diseño. En el Capítulo III se estudió la configuración óptima que deben tener las edificaciones de adobe para un comportamiento "satisfactorio" ante

solicitaciones de sismo. Posteriormente, en el Capítulo IV, se analizó y diseñó una edificación representativa de un piso siguiendo el procedimiento "riguroso" que es común en nuestro país. Finalmente, en el Capítulo V, se presenta un procedimiento simple de análisis y diseño sismo-resistente válido para viviendas de adobe de un piso con la finalidad de evitar la laboriosidad del procedimiento "riguroso".

CAPITULO I

ESTUDIO DE LA INFORMACION EXISTENTE

1.1 CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Las viviendas de adobe generalmente son de uno y dos pisos, y en general tienen una planta rectangular. En su mayoría estas viviendas no tienen una adecuada estructuración y son construídas con mano de obra deficiente. Los muros son de una longitud muy grande y no poseen elementos de confinamiento horizontales ni verticales. 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 dintelas tienen poco empotramiento. Los espesores de los muros son variables y se pueden observar desde 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 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 construido con piedras grandes y barro, pero en muchos casos es obviado, lo cual produce el deterioro de los muros.

En lo que se refiere a la fabricación del adobe, éste sigue el siguiente proceso; preparación del barro, mezclado, moldeo, secado y almacenamiento. Cabe destacar, que en la mayoría de los casos no se realiza ninguna prueba de selección de los suelos, por lo que se utilizan muchas veces suelos muy ricos en arcilla y otras veces suelos con poca presencia de arcilla lo cual hace que la unidad de albañilería sea de poca resistencia en ambos casos. El suelo utilizado otras veces es de cultivo y contiene residuos orgánicos, lo cual se refleja en la mala calidad del adobe.

En zonas donde las condiciones climáticas hacen que las viviendas de adobe puedan ser deterioradas, tampoco se

utilizan estabilizantes, lo cual origina la erosión de los adobes y como consecuencia la disminución en la resistencia de los muros.

El proceso de preparación del barro, mezclado y moldeado es el tradicional. El mezclado se realiza con los pies y eventualmente con lampas, al barro se le agrega paja o ichú de tal manera que esta se mezcle uniformemente, luego de esto se deja descansar el barro por dos o tres días y se procede al moldeado y secado.

El moldeado se realiza utilizando moldes sin fondo y vaceando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal. Muchas veces no se dispone de un tendal adecuado, por lo que el desmolde se realiza sobre cualquier superficie, la cual muchas veces no es plana ni limpia, además no se espolvorea arena fina sobre esta superficie, lo que ocasiona que el adobe se adhiera al suelo con su consecuente deterioro, en zonas muy calurosas no se dispone de tendales techados con lo que las unidades de adobe pierden rápidamente agua produciendo contracciones en el secado y la aparición de grietas en los bloques.

Respecto al control de calidad, éste no se realiza, no se afectan pruebas de campo ni de laboratorio.

1.2 COMPORTAMIENTO SISMICO Y TIPOS DE FALLA EN LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

El colapso de muchas viviendas de adobe a raíz de movimientos sísmicos no sólo se debe a las características mecánicas del material como son baja resistencia a la tracción y al corte, sino también a fallas en la estructuración de las viviendas como son: dimensionamiento inadecuado de los muros en su espesor, largo y altura; elevada cantidad de vanos, lo cual origina concentración de esfuerzos, distribución deficiente de muros en alguna dirección lo que provoca torsiones importantes en planta. Otras fallas son de carácter constructivo como son: mala calidad del adobe, trabas inadecuadas y deficiencias en los encuentros de los muros, deficiente mano de obra, falta de protección de los muros contra la erosión, ausencia de cimiento y sobrecimiento, techos muy pesados, etc. (Figura 1).

Los principales tipos de fallas estructurales son la falla por flexión de los muros en dirección normal a su plano y la falla por corte.

La falla por flexión normal al plano del muro se debe principalmente a la escasa rigidez horizontal que da el techo a los muros, lo cual hace que las fuerzas de inercia no sean transmitidas a los muros que están en la dirección del movimiento, sino que éstas se transmitan a los muros

en la otra dirección generando en estos muros esfuerzos de tracción por flexión, ya que el muro actúa como una losa apoyada en su base y en los elementos verticales que lo arriostran (Figura 2), cuando el nivel de esfuerzos por tracción es alto, se produce el agrietamiento del muro en sus extremos y puede producirse el volteo de éste, lo cual ha sido observado frecuentemente en sismos pasados.

La falla por corte se produce cuando el muro toma cargas horizontales en su plano, esta falla se caracteriza por la aparición de grietas diagonales en el muro, producidas por excesivos esfuerzos cortantes en las juntas horizontales (Figura 3).

Otro tipo de falla, pero poco común, es la falla por compresión, ésta podría ocurrir por excesivos momentos de volteo inducidas a una edificación, lo que origina grandes compresiones en la parte inferior del muro produciendo su falla. Igualmente, otro tipo de falla es la de tracción por momentos de volteo, cargas sísmicas verticales y cargas de gravedad. También se ha observado otros tipos de falla como son la caída de los techos, la cual ha causado gran cantidad de víctimas. Las caídas de los techos se produce debido a fallas en las conexiones y su deficiente anclaje con la viga collar, en otros casos la falla se ha producido en la estructura misma del techo debido a coberturas muy pesadas.

1.3 PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Las deficiencias en las viviendas de adobe, en lo referente a su capacidad para soportar sismos, han sido observadas y estudiadas por décadas por numerosos investigadores, lo cual nos permite establecer recomendaciones y procedimientos para mejorar su resistencia. Estos procedimientos son: Mejoramiento del proceso constructivo y del esquema estructural, adición de refuerzos horizontal y vertical en los muros, colocación de una viga solera y mejoramiento de la resistencia de los morteros.

1.3.1 MEJORAMIENTO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO Y DEL ESQUEMA ESTRUCTURAL

Realizar una adecuada selección del material para ser usado en la fabricación de los adobes, la tierra no debe ser de cultivo y debe estar libre de materias orgánicas. La tierra debe estar formada por el 25 a 45% de limos y arcilla y el resto de arena, la proporción máxima de arcilla será del 15 al 17%.

En zonas lluviosas se recomienda la utilización de emulsiones asfálticas (adobe estabilizado con 1.5 a 2.0% de asfalto RC-250), para preservar la construcción frente a la humedad, erosión, etc. Asimismo, se recomienda la

utilización de estabilizantes vegetales, que son más económicos ya que constituyen recursos locales de las zonas en que se apliquen. El uso del estabilizante de Tuna ha dado muy buenos resultados frente a la humedad, sobre todo en la protección de enlucidos.

Debe añadirse paja o ichú al barro para fabricar adobes. Para el secado de los adobes se debe utilizar una superficie horizontal y limpia, este tendal deberá ser techado en épocas muy calurosas o lluviosas.

Las dimensiones del adobe no deben ser muy grandes de tal manera que pueda permitir su maniobrabilidad, se recomienda el uso de adobes cuadrados, ya que facilita el proceso constructivo de los muros. Los adobes deben ser limpiados y mojados antes de ser asentados, con la finalidad que no absorban el agua del mortero y haya una buena adherencia entre el adobe y el mortero.

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

El terreno de cimentación debe corresponder en lo posible a suelo firme (suelo tipo I de las Normas Básicas de Diseño Sismo-Resistente), no se construirán en suelos blandos ni en terrenos cuya capacidad portante sea menor que 1.5 kg/cm^2 .

Los cimientos y sobrecimientos para los muros de adobe deben seguir el mismo proceso de ejecución constructiva que se utiliza para una cimentación convencional; estos se deberán hacer de preferencia de concreto ciclópeo. Se recomienda una profundidad mínima para el cimiento de 40 cms y una altura mínima para el sobrecimiento de 25 cms.

La longitud de los muros tomados entre dos contrafuertes o dos muros perpendiculares a él, no debe exceder a diez veces su espesor. La altura máxima de los muros no debe ser mayor que 8 veces su espesor. Debe limitarse al empleo de muchos vanos y en lo posible estos deberán estar centrados y reforzados con dinteles debidamente empotrados. Se recomienda que los vanos estén alejados de las esquinas una distancia igual a tres veces el espesor del muro y como mínimo 90 cms. 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 arriostrar los muros largos.

Los techos en lo posible deben ser livianos y deberán estar anclados adecuadamente a la viga solera. Es importante estudiar la pendiente de los techos y la longitud de los aleros de acuerdo a las condiciones climáticas de cada lugar. La pendiente puede variar de 15 a 30% y los aleros

perimetrales tendrán una longitud mínima de 50 cm para impedir que los muros sean humedecidos por el agua de lluvia.

1.3.2 ADICION DE REFUERZOS HORIZONTAL Y VERTICAL EN LOS MUROS

Uno de los métodos más efectivos para mejorar la resistencia de los muros de adobe ante solicitaciones sísmicas es la colocación de refuerzos interiores horizontales y verticales, éstos pueden ser de caña (Figura 4) o acero, tanto el refuerzo horizontal como el vertical proporcionan al muro cierta ductilidad, lo cual evita de cierta manera la falla frágil de estas construcciones.

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 encuentros de muros, este refuerzo deberá estar anclado a la cimentación y posteriormente fijarse a la viga solera. Se usará caña madura y seca para asegurar la adherencia con el mortero.

1.3.3 COLOCACION DE UNA VIGA SOLERA

Existen muchos procedimientos propuestos para mejorar la resistencia de las viviendas de adobe, entre los más importantes se encuentra, la colocación de una viga solera

perimetral en el extremo superior de los muros, la cual deberá estar debidamente anclada al muro con el propósito de que actúe como un arriostre horizontal, esta viga solera permite una mejor fijación de la estructura del techo y proporciona una mejor continuidad entre todos los muros. Según los materiales que se encuentran en la región, la viga solera puede ser (tal como se muestra en la Figura 5) 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.

1.3.4 MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE LOS MORTEROS

Debido a que la albañilería de adobe no constituye un material homogéneo y continuo, ya que es un ensamblaje de bloques de adobe y mortero, la resistencia de los muros de adobe depende fundamentalmente de la adherencia lograda entre las unidades de adobe con el mortero. Bastantes investigaciones se han realizado con el fin de determinar el efecto de la resistencia del mortero en la resistencia al corte de los muros de adobe, en todas se encontró que un incremento en la resistencia del mortero produce un incremento en la resistencia al corte del muro. De lo anterior, se concluye que para desarrollar totalmente la resistencia de la unidad de albañilería, la adherencia entre el mortero y los bloques de adobe debe ser por lo menos lo

suficiente para desarrollar completamente la resistencia a la tracción del bloque de adobe cuando el muro está sujeto al corte o tracción diagonal, esto podría forzar a que la grieta atravesase el adobe o la junta, resultado un mayor esfuerzo a la que se produciría si la falla fuera por adherencia.

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, yeso, cemento, etc. aumentan la resistencia del mortero.

En la Figura 6, se presenta en forma resumida las principales recomendaciones básicas en base a la información existente, las cuales se deben tomar en consideración para mejorar la resistencia de las construcciones de adobe frente a sollicitaciones sísmicas.

1.4 PROPIEDADES MECANICAS DEL ADOBE

Un muro de albañilería tiene como característica principal, estar constituido por unidades prismáticas, pequeñas en relación al tamaño del elemento, unidas por

mortero con propiedades aglutinantes. Debido a la falta de homogeneidad en la albañilería, se hace difícil y poco confiable la correlación de resultados en base a ensayos en unidades aisladas y muros. En primer lugar nos referimos a las propiedades mecánicas del bloque de adobe. La resistencia a la tracción y al corte de los bloques de adobe es baja, en cambio su resistencia a la compresión es relativamente alta en adobes fabricados en base únicamente de tierra. Se debe resaltar que los parámetros encontrados en ensayos efectuados en bloque, sólo nos indicará las características de resistencia del adobe como unidad.

Se recomienda sólo ensayos de compresión para la unidad de albañilería y que el número mínimo de especímenes a ensayar será de seis y que la resistencia a la compresión no debe ser menor de 12 kg/cm². En lo que se refiere a la resistencia, a la compresión y al corte de la albañilería esta se puede evaluar mediante los ensayos de compresión axial y ensayos de corte directo o compresión diagonal, respectivamente.

1.4.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LA ALBAÑILERIA

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 construídas (tierra, arcilla, paja, aglomerantes, etc.).

Los factores que influyen son:

- A) La resistencia de los bloques de adobe.
- B) La calidad del mortero.
- C) La relación entre el espesor de las juntas y la altura de las piezas.
- D) La calidad de la mano de obra.

La resistencia a la compresión de la albañilería se puede determinar mediante el ensayo de pilas que nos proporciona un índice de la resistencia de un muro a la acción de cargas verticales (Figura 7).

El tipo de falla más común en este ensayo es la formación de grietas verticales en los adobes producida por 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 entre 3 y 4, ya que los especímenes podrán ser manipulados

fácilmente.

1.4.2 RESISTENCIA AL CORTE DE LA ALBAÑILERIA

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 escalonadas en los muros, estas grietas generalmente se producen en las juntas y eventualmente cruzan los bloques de adobe.

La resistencia al corte de la albañilería se puede determinar mediante ensayos de corte directo (Figura 8) o mediante ensayos de compresión diagonal (Figura 9). El primero nos proporciona un índice de la resistencia de muros a cargas horizontales en su plano, cuando fallan en la junta de mortero que une los bloques. Se trata de una falla debida básicamente a esfuerzos tangenciales. El ensayo de compresión diagonal, nos proporciona un índice de la resistencia de un muro a cargas horizontales en su plano, tanto para el caso en que la falla se debe a esfuerzos tangenciales en las juntas como para el caso en que ésta se deba a esfuerzos de tracción inclinada. De todos los ensayos, este ensayo de compresión diagonal es el más apropiado, ya que nos da un índice de la calidad de la albañilería; sin embargo, este ensayo es de difícil ejecución.

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 cortante puede expresarse:

$$V = u + fv \dots \dots \dots (1)$$

donde:

- V : Esfuerzo cortante
- u : Esfuerzo de adherencia
- f : Coeficiente de fricción
- v : Esfuerzo de confinamiento

CAPITULO II

ESTUDIO DE ESFUERZOS ADMISIBLES PARA EL ANALISIS Y DISEÑO

Los esfuerzos admisibles que nos interesa conocer para el análisis y diseño de construcciones de adobe son:

- 1) Esfuerzos a compresión en muros,
- 2) Esfuerzos al corte en muros y
- 3) Esfuerzos a tracción del refuerzo.

Además debemos mencionar que la resistencia del adobe en el caso de tracción por flexión es muy pequeña; en general no debe considerarse ninguna resistencia a la tracción del adobe en los casos de tracción directa y tracción por flexión, sin embargo la norma E-080 de adobe (Referencia 2) considera un valor máximo de 0.4 kg/cm^2 para el caso de tracción por flexión.

2.1 ESFUERZO ADMISIBLE A COMPRESION EN MUROS

En el diseño de muros para cargas verticales, es

necesario determinar un esfuerzo permisible de compresión que considere en forma implícita la influencia de los otros factores actuantes. Matemáticamente el esfuerzo admisible de compresión puede expresarse:

$$f_m = \phi_r \phi_c \phi_e \phi_l f'_m \dots \dots \dots (2)$$

donde:

f_m = esfuerzo admisible

f'_m = esfuerzo de rotura nominal

$\phi_r, \phi_c, \phi_e, \phi_l$ = coeficientes de reducción por variabilidad de la resistencia real, variabilidad de las cargas, y por la excentricidad y la esbeltez, respectivamente.

Haciendo una evaluación de estos coeficientes, principalmente por similitud con los valores correspondientes en estructuras de concreto armado y de acuerdo a la Referencia (3), la expresión puede escribirse:

$$f_m = 1/5 f'_m \dots \dots \dots (3)$$

Para la determinación del esfuerzo de rotura nominal (f'_m), se han realizado una serie de ensayos de compresión axial en muretes de adobe (pilas).

Se estudió la influencia de diversas variables en la

resistencia a compresión de las pilas, las principales fueron:

- Esbeltez de las pilas (Relación entre la altura de la pila y la menor dimensión).
- Calidad del mortero. Se estudió la influencia de diversos tipos de mortero en la resistencia a la compresión.
- Espesor de juntas.
- Tiempo de secado.

En el Cuadro No. 1 se presenta el resumen con los principales valores obtenidos en todos los ensayos de compresión axial.

Observaciones

La inclusión en el mortero de materiales tales como el cemento, la cal o el yeso (aglomerantes), mejoran notablemente la resistencia en compresión y el módulo de elasticidad (mayor rigidez) de las pilas.

La esbeltez de las pilas no fue una variable influyente tal como se pensaba inicialmente. La resistencia de las pilas se mantiene prácticamente constante en un rango bastante amplio de esbelteces (desde 1:1.5 hasta 1:5). Desde el punto de vista de una normalización de ensayos, la esbeltez 1:4 (pilas de 8 adobes) es adecuada, ya que los especímenes son manejables. Además el número de juntas es

adecuado para representar el comportamiento de los muros bajo este tipo de sollicitación.

El tiempo de secado parece no ser una variable importante, ya que en los ensayos efectuados se observa que la resistencia en compresión y el módulo de elasticidad aumenta con el tiempo.

El uso de juntas gruesas produce especímenes muy difícil de manejar (transporte) y reduce la resistencia de las pilas.

Es conveniente calcular el módulo de elasticidad en base a los registros de los flexímetros laterales, ya que existen diferencias importantes con respecto a las lecturas de los flexímetros superiores. Estos registran todos los acomodos de la pila dando como resultado módulos de elasticidad más bajos.

El mecanismo de falla en estos especímenes bajo este tipo de sollicitación es bastante complejo y difícil de precisar. Generalmente debido a las deficiencias de las pilas, el equipo de ensayo y a la heterogeneidad del adobe, se presentan fenómenos de flexo-compresión que complican el esquema de falla. En general se ha podido observar un esquema de fisuras verticales tanto en el adobe como en el mortero que preceden a la falla. Además como el material es frágil la falla es violenta y hay fenómenos de aplastamiento

en el adobe y mortero.

De los resultados obtenidos en todos los ensayos y de las observaciones indicadas, se proponen los siguientes valores para el diseño por compresión en muros de adobe:

Para morteros de barro con/sin aglomerantes:

$f_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ con un módulo de Elasticidad de $1,700 \text{ kg/cm}^2$.

Para morteros de arena con aglomerantes:

$f_m = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ con un módulo de Elasticidad de $4,500 \text{ Kg/cm}^2$.

2.2 ESFUERZO ADMISIBLE AL CORTE EN MUROS

La norma de adobe E-080 (limitada a un piso) propone un valor de $V = 0.25 \text{ kg/cm}^2$ para evaluar el esfuerzo de corte admisible de los muros de adobe solicitados por acciones sísmicas. Sin embargo, el propósito de este acápite es estudiar la expresión propuesta por el Reglamento Nacional de Construcciones (Referencia 4) con el objeto de determinar valores de esfuerzos admisibles al corte para edificaciones de adobe de dos pisos.

La expresión propuesta en el Reglamento para evaluar dicho esfuerzo es:

$V_r = u + fv$: Resistencia al corte (kg/cm^2)

u = cohesión (kg/cm^2)

f = coeficiente de fricción aparente

Donde los parámetros u y f se deberán determinar a partir de ensayos de corte directo. A falta de información específica, se usará el siguiente esfuerzo admisible:

$$V_m = 0.45V_r = 0.054 + 0.03v \dots \dots \dots (4)$$

Esta expresión ha sido cuestionada en diferentes investigaciones (Refs. 4 y 5).

En la Referencia (5) se recogieron los resultados provenientes de 32 ensayos de corte directo, con cargas de confinamiento que variaban entre 0.0 y 0.7 kg/cm^2 , dando como resultado la siguiente expresión:

$$V_r = 0.13 + 1.09v \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots \dots \dots (5)$$

$$v_m = 0.45 V_r = 0.059 + 0.49v \dots \dots \dots (6)$$

Ensayos similares realizados por otro investigador (Ref 6) sobre un total de doce especímenes, dieron como resultado:

$$V_r = 0.15 + 1.09v \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(7)$$

$$V_m = 0.45V_r = 0.068 + 0.49v \dots\dots\dots(8)$$

Comparemos las expresiones (4), (6) y (8) se observa que no existe ninguna concordancia en el valor de "f", lo cual hace pensar que en la expresión (4), podría existir algún error (en el punto decimal ?)

Es por esta discrepancia que se ha llevado a cabo por numerosos investigadores un extenso programa de ensayos de corte directo tal como aparece en el Reglamento (Ref. 4).

A continuación se presenta los resultados de una investigación muy interesante realizada en la Pontificia Universidad Católica (Ref. 10), cuyo objetivo es evaluar la resistencia al corte de muros de adobe mediante ensayos de corte directo.

- Descripción del ensayo

Se planeó construir un dispositivo para ensayar los especímenes de adobe que no introdujera fenómenos extraños, ya que en anteriores experiencias, se observó una fuerte dispersión en los resultados, provenientes en parte del equipo utilizado y de la forma como se definió la falla (observación visual).

El resultado es el dispositivo que se muestra en la Figura 10. Nótese que la aplicación de la carga horizontal, se hizo mediante un marco flotante el cual garantiza que la carga horizontal sea igual en los dos medios adobes.

Las cargas vertical y horizontal se aplicaron mediante gatas hidráulicas y se midieron con la ayuda de celdas de carga. Se colocaron bases de medición en los dos medios adobes, a los cuales se fijó un LVDT para registrar el desplazamiento horizontal relativo.

Los especímenes se fabricaron con adobes de 20 x 40 x 8 cm con más de un año de secado, nivelándose las superficies de aplicación de cargas con mortero de cemento. El tiempo de secado de los especímenes fue de un mes y el único curado que se empleó fue el de hacerlos secar a la sombra. Una plancha metálica de 1" de espesor ayudó a repartir la carga vertical de confinamiento.

Para estudiar la influencia del espesor de las juntas en la resistencia al corte en este tipo de ensayo, se confeccionaron especímenes con juntas de 1 y 2 cm de espesor.

- Análisis de los resultados

Se realizaron un total de 70 ensayos, con cargas de confinamiento que variaban entre 0.2 y 2.0 kg/cm² y con

espesores de juntas de 1 y 2 cms. respectivamente.

Los resultados se muestran en el Cuadro No. 2.

De los resultados obtenidos se efectuó un ajuste por mínimos cuadrados (regresión lineal), dando como resultado las siguientes expresiones:

Espesor de junta 2 cms.

$$\text{Fisuración } V_r = 0.18 + 0.50v \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{Rotura } V_r = 0.18 + 0.75v \dots \dots \dots (10)$$

Espesor de junta 1 cm.

$$\text{Fisuración } V_r = 0.25 + 0.56v \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Rotura } V_r = 0.16 + 0.83v \dots \dots \dots (12)$$

- Observaciones y Conclusiones

Los coeficientes de correlación lineal para las cuatro regresiones fueron del orden de 0.99, lo cual indica el buen grado de ajuste de los resultados para este tipo de ensayo.

En la Referencia (8) aparece la expresión $V_r = 0.26 + 1.39v$ para evaluar el esfuerzo cortante de rotura. Esta expresión fue deducida de ensayos de compresión diagonal sobre muretes cuadrados construídos con el mismo tipo de adobe y morteros utilizados en esta investigación.

Comparándola con la expresión (10), notamos que los resultados provenientes de estos dos tipos de ensayos no son comparables aún cuando la falla en ambos ensayos fue por las juntas. Los ensayos de compresión diagonal presentan una fuerte dispersión y son de difícil ejecución.

En la Referencia (5) aparece la expresión $V_r = 0.10 + 0.55v$ para el esfuerzo cortante de fisuración, proveniente de ensayos en muros a escala natural construídos con el mismo tipo de adobe y mortero. En estos muros la falla fue a lo largo de las juntas, exactamente igual a la que se obtiene en los ensayos de corte directo.

Nótese la concordancia que hay con la expresión (9), excepto en el término correspondiente a la cohesión. Este término depende mucho de la calidad del mortero, del tamaño del espécimen (en los muros grandes se presentan esfuerzos de flexión). Además este término se obtiene del ajuste de los resultados por mínimos cuadrados, ya que no se tiene valores para $v=0$, debido a que estos ensayos eran de difícil ejecución y poco confiables, de allí la diferencia entre las expresiones (11) y (12) en el término correspondiente a la cohesión.

La similitud que existe entre las expresiones (10) y (12), hace pensar que para el estado de rotura del espesor de la junta no juega un papel decisivo en este tipo de sollicitación.

Por lo tanto, se sugiere la expresión (10) para evaluar la resistencia al corte en muros de adobe, ya que 2 cms. de espesor de juntas es más representativo de lo que ocurre en los muros reales, además el mortero empleado en esta investigación tiene muy poca adherencia con los adobes (Ref. 8) y por lo tanto el valor de la cohesión obtenido podría ser un límite inferior.

Sin embargo, esta expresión vale para el tipo de mortero utilizado en esta investigación (mortero de barro). Como se sabe la adición de aglomerantes al mortero aumentan notablemente su resistencia al corte. En la Referencia (9) se estudió la albañilería de adobe con variaciones de mortero, en la cual se encontró que con morteros de cemento-arena es posible incrementar hasta en un 300% la resistencia al corte de los muros de adobe (con relación al empleo de mortero de barro). Respecto a los morteros de cemento-yeso o cal-arena, se encontró un incremento de la resistencia de hasta 2.5 veces con respecto al mortero de barro.

De los anteriormente mencionado, se proponen las siguientes expresiones para evaluar el esfuerzo admisible por corte que involucra un coeficiente de seguridad de 2.5.

Para morteros de barro con/sin aglomerantes:

$$V_m = 0.40 \quad V_r = 0.07 + 0.30v$$

Para morteros de arena con aglomerantes:

$$V_m = 0.40 V_r = 0.14 + 0.60v$$

En la Figura 11 se muestran las rectas que representan estas expresiones; así mismo se muestra la recta $V = 0.054 + 0.03v$ (expresión del R.N.C). Nótese la gran diferencia de pendientes con la expresión que nos muestra el Reglamento Nacional de Construcciones.

Si consideramos que la compresión unitaria normal al plano es aproximadamente 0.6 kg/cm^2 y 1.0 kg/cm^2 para edificaciones de uno y dos pisos respectivamente, entonces tendremos lo siguiente:

Para morteros de barro con/sin aglomerantes:

1 Piso: $V_m = 0.25 \text{ kg/cm}^2$ (Valor de la Norma vigente)

2 Pisos: $V_m = 0.37 \text{ kg/cm}^2$

Para morteros de arena con aglomerantes:

1 Piso: $V_m = 0.50 \text{ kg/cm}^2$

2 Pisos: $V_m = 0.74 \text{ kg/cm}^2$

2.3 ESFUERZO ADMISIBLE A TRACCION DEL REFUERZO

Los refuerzos que tendrán los muros de adobe como se mencionó en el acápite 1.3.2 podrán ser de caña o acero.

En cuanto a la caña, ésta se comporta elásticamente casi hasta la rotura. Echazú (Referencia 11) determinó, experimentalmente, un valor medio del módulo de elasticidad de 152,000 kg/cm² con un coeficiente de variación de 6.22% y un valor medio de la resistencia a la fluencia de 1350 kg/cm² con un coeficiente de variación de 17.7%. Para determinar el valor del esfuerzo permisible a tracción de la caña se consideró un factor de reducción de 1/4 (Ref. 3), con la intención de tomar en cuenta la pérdida de resistencia de la caña por su envejecimiento y por los cambios en su contenido de humedad, ya que por este motivo se encontró una disminución de la resistencia del orden del 25%. En otras experiencias se ha encontrado una disminución menor.

En cuanto al acero el factor de reducción será menor; por ser éste un material más resistente al envejecimiento y a los deterioros que podría ser objeto. Se tomará un factor de reducción de 1/2.5.

De lo mencionado anteriormente podemos concluir que los esfuerzos permisibles tanto de la caña y el acero serán:

Caña: $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

Acero: $f_s = 1680 \text{ kg/cm}^2$ para un esfuerzo de fluencia de 4200

CAPITULO III

ESTUDIO DE LA CONFIGURACION ESTRUCTURAL

3.1 GENERALIDADES

La mayoría de Códigos reconoce la complejidad del Diseño Sísmico de las edificaciones y define alcances u objetivos generales. En el caso de la Norma Peruana el criterio de Diseño Sismo-Resistente se expresa señalando:

Las edificaciones se comportarán ante los sismos considerando:

- a) Resistir sismos leves sin daños.
- b) Resistir sismos moderados considerando la posibilidad de daños estructurales leves.
- c) Resistir sismos severos con la posibilidad de daños estructurales importantes con una posibilidad remota de ocurrencia del colapso de la edificación.

Se considera que el colapso de una edificación ocurre al fallar y/o desplomarse (caerse) parcial o totalmente su

estructura con la posibilidad de ocurrencia de muertes de sus habitantes.

La elaboración de un espectro de diseño (coeficiente sísmico C) trata de determinar el coeficiente con el cual se deben diseñar las estructuras, buscando lograr un comportamiento elástico durante los sismos leves, cuya frecuencia de ocurrencia es alta, y un comportamiento inelástico durante sismos severos cuya probabilidad de ocurrencia es menor.

Para asegurar un comportamiento inelástico en los elementos estructurales se diseña considerando una serie de requisitos que buscan proporcionar ductilidad.

El diseño así enfocado ya no resulta ser un cálculo matemático exacto sino un arte, en el cual los números sirven en forma relativa, interesando más los conceptos de comportamiento y los tipos de falla que los cálculos "exactos".

Dada la condición del Perú de país sísmico, no será factible realizar ningún análisis o diseño sin considerar fuerzas de sismo. Las fuerzas de sismo no deben ser consideradas como una sollicitación cuya verificación debe hacerse adicionalmente, sino con la misma importancia que se concede a las cargas de gravedad.

En regiones sísmicas es de gran importancia que la forma estructural esté orientada hacia un buen comportamiento sísmico; en este objetivo tanto arquitectos como ingenieros deben actuar en forma coordinada ya que, un ingeniero estructural no podrá hacer que una forma estructural pobre se comporte "satisfactoriamente" durante un sismo.

El cuidado tanto en el diseño como en la construcción, son fundamentales para obtener una estructura sismo-resistente.

3.2 CRITERIOS DE ESTRUCTURACION Y DISEÑO EN ADOBE

3.2.1 SIMPLICIDAD Y SIMETRÍA

En base a los estudios realizados se ha demostrado que las estructuras de adobe simples se comportan mejor durante los sismos, ya que es más fácil predecir su comportamiento sísmico.

La simetría de la estructura en dos direcciones es deseable por las mismas razones; la falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos.

Las fuerzas de sismo en estructuras de adobe se podrán

idealizar actuando en el centro de masas mientras las fuerzas que absorben los elementos (muros) estarán ubicadas en el centro de rigidez; si no existe coincidencia entre el centro de masa y el centro de rigidez el movimiento sísmico no sólo ocasionará un movimiento de traslación, sino adicionalmente un giro en la planta estructural (torsión), la cual hace incrementar los esfuerzos debidos al sismo, pudiéndose sobrepasar los esfuerzos admisibles.

3.2.2 RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

Las estructuras de adobe deben tener resistencia sísmica adecuada en ambas direcciones de estudio. El sistema de resistencia sísmica debe existir en ambas direcciones, de tal manera que se garantice la estabilidad de la estructura como un todo, como de cada uno de sus elementos. Por lo tanto, debe existir en cada dirección una longitud mínima de muros, de ser posible todos colaborantes.

Otro antecedente importante que debe ser tomado en cuenta en la concepción de la estructura de adobe, es la ubicación del refuerzo (caña o acero). El diseño debe tender a proporcionar a los muros una cierta ductilidad ya que el adobe es un material de naturaleza frágil en donde un aumento de la carga en los muros se traduce en un aumento de la resistencia con disminución de la ductilidad.

3.2.3 UNIFORMIDAD Y CONTINUIDAD

Las estructuras de adobe deben ser continuas tanto en planta como en elevación, de manera de evitar concentraciones de esfuerzos.

Asimismo, se recomienda que el espesor de todos los muros de la edificación debe ser el mismo.

3.2.4 RIGIDEZ LATERAL

Para que una estructura de adobe pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes, será necesario proveerla de elementos que aportan rigidez lateral en sus direcciones de estudio. Son los muros los que van a cumplir este requisito de absorber los esfuerzos cortantes producidos por la fuerza sísmica horizontal.

3.2.5 TECHOS: (DIAFRAGMA RIGIDO O DIAFRAGMA FLEXIBLE)

En los análisis de vivienda de adobe es usual considerar como hipótesis básica la existencia de un techo rígido o flexible. En el primer caso la fuerza se repartirá de acuerdo a sus rigideces laterales; mientras que para el caso de techo flexible la fuerza sísmica se repartirá de acuerdo a sus áreas de influencia. Ambas condiciones deben ser verificadas para el diseño, tomando el valor más

desfavorable.

3.2.6 CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE MUROS

La longitud de un muro tomado entre dos contrafuertes o dos muros perpendiculares a él, no debe ser mayor que 10 veces su espesor.

La altura máxima de los muros no debe ser mayor que 8 veces su espesor.

En lo posible los vanos deberán estar centrados. El ancho de un vano no debe ser mayor que 1.20 mts. La distancia entre una esquina y un vano no debe ser inferior a 3 veces el espesor del muro y como mínimo 0.90 mts. La suma de los anchos de vanos en una pared, no debe ser mayor que la cuarta parte de su longitud.

3.2.7 EL DISEÑO EN ADOBE

Se considerarán las siguientes partes:

a) Como muro de corte:

Se verificará el esfuerzo cortante en sus elementos.

b) Flexión como losa (Fuerza sísmica perpendicular al muro).

Se determinará la armadura en una o dos direcciones de acuerdo al número de bordes arriostrados.

c) Transferencia de esfuerzos a los diferentes elementos:
Diseño del refuerzo para tomar la tracción que se transfiere a un muro o solera transversal.

d) Diseño de la viga collar (solera). La solera se puede considerar como una viga continua apoyada en los muros o soleras transversales, sometidas a una carga horizontal distribuída igual a la reacción del muro correspondiente. Se tomará en cuenta la fuerza de tracción indicada en el acápite (c).

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO DE ANALISIS Y DISEÑO

Para resolver el problema de la seguridad estructural ante sollicitaciones de sismo, se ha considerado para el estudio una edificación de adobe representativa de un piso (Fig. 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18). Hay que señalar que dicha vivienda ha sido reestructurada según los principios básicos de configuración estructural indicados en los capítulos anteriores.

4.1 ANALISIS

4.1.1 CASO DE TECHO RIGIDO

Al considerar techo rígido, la fuerza sísmica se repartirá entre los muros de acuerdo a sus rigideces.

Las rigideces se han calculado con la teoría elástica para muros de corte.

Para el cálculo de la fuerza sísmica y su punto de

aplicación se considera que la fuerza es proporcional a la masa y que el techo es infinitamente rígido.

Determinación de Rigideces de Muros

La rigidez de cada elemento dentro de un muro específico se determinará con la expresión (13):

$$K = \frac{Et}{4(h/L)^3 + 3(h/L)} \dots\dots\dots(13)$$

donde:

K = Coeficiente de rigidez del muro en Ton/m²

E = Módulo de elasticidad del adobe en Ton/m²

t = Espesor del muro en el sentido considerado en m.

h = Altura del muro en m.

L = Longitud del muro en el sentido considerado en m.

Debe notarse que la ecuación (13) toma en cuenta las deformaciones por fuerza cortante y por flexión, por ser estas deformaciones las más significativas.

- Muro 1-4 (Ver. Fig. 19):

$$K = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.10}{9.60} \right)^3 + 3 \left(\frac{1.10}{9.60} \right)} = 2.859 Et$$

$$K_{25} = K_5 = \frac{Et}{\frac{0.80 \cdot 3}{4 \cdot 1.20} + \frac{0.80}{3 \cdot 1.20}} = 0.314 Et$$

$$K_{34} = K_4 = \frac{Et}{\frac{0.80 \cdot 3}{4 \cdot 2.40} + \frac{0.80}{3 \cdot 2.40}} = 0.871 Et$$

$$K_{67} = K_7 = \frac{Et}{\frac{1.10 \cdot 3}{4 \cdot 4.40} + \frac{1.10}{3 \cdot 4.40}} = 1.231 Et$$

Los elementos 2,3,4,5 están dispuestos en paralelo:

$$K_{2345} = 2.370 Et$$

Asimismo, los elementos 6 y 7 están dispuestos en paralelo

$$K_{67} = 2.462 Et$$

Los subconjuntos (2,3,4,5), (6,7) y el elemento 1 están dispuestos en serie

$$K_{1234567} = 1 / \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_{2345}} + \frac{1}{K_{67}} \right) = 0.849 Et$$

$$K_{1-4} = 0.849 Et$$

- Muro 5-8 (Ver Fig. 20):

$$K_1 = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.10 \cdot 3}{9.60} \right) + 3 \left(\frac{1.10}{9.60} \right)} = 2.859 Et$$

$$K_2 = K_3 = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.90 \cdot 3}{4.40} \right) + 3 \left(\frac{1.90}{4.40} \right)} = 0.618 Et$$

Los elementos 2 y 3 están dispuestos en paralelo:

$$K_{23} = 1.236 Et$$

El subconjunto 2,3 y el elemento 1 están dispuestos en serie.

$$K_{123} = 1 / \left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_{23}} \right) = 0.863 Et$$

$$K_{5-8} = 0.863 Et$$

- Muro 9-12 (Ver fig. 21):

$$K_1 = K_6 = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.10 \cdot 3}{9.60} \right) + 3 \left(\frac{1.10}{9.60} \right)} = 2.859 Et$$

$$K_2 = K_5 = \frac{Et}{\frac{0.80 \cdot 3}{4 \left(\frac{\quad}{1.20}\right)} + \frac{0.80 \cdot 3}{3 \left(\frac{\quad}{1.20}\right)}} = 0.314 Et$$

$$K_3 = K_4 = \frac{Et}{\frac{0.80 \cdot 3}{4 \left(\frac{\quad}{2.40}\right)} + \frac{0.80 \cdot 3}{3 \left(\frac{\quad}{2.40}\right)}} = 0.871 Et$$

Los elementos 2,3,4,5 están dispuestos en paralelo:

$$K_{2345} = 2.370 Et$$

El subconjunto (2,3,4,5) y los elementos 1 y 6 están dispuestos en serie.

$$K_{123456} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_{2345}} + \frac{1}{K_6}\right)} = 0.892 Et$$

$$\frac{K_{9-12}}{\quad} = 0.892 Et$$

- Muro 1-9 y 4-12 (Ver Fig. 22):

$$K_1 = \frac{Et}{\frac{2.40 \cdot 3}{4 \left(\frac{\quad}{7.00}\right)} + \frac{2.40 \cdot 3}{3 \left(\frac{\quad}{7.00}\right)}} = 0.840 Et$$

$$\frac{K_{4-12}}{K_{1-9}} = K_{1-9} = 0.892 Et$$

- Muro 2-10 (Ver fig. 23):

$$K_1 = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.10}{7.00} \right) + 3 \left(\frac{1.10}{7.00} \right)} = 2.054 Et$$

$$K_2 = K_3 = K_4 = \frac{Et}{4 \left(\frac{1.90}{1.80} \right) + 3 \left(\frac{1.90}{1.80} \right)} = 0.127 Et$$

Los elementos 2,3,4 están dispuestos en paralelo:

$$K_{234} = 0.381 Et$$

El subconjunto 2,3,4 y el elemento 1 están dispuestos en serie.

$$K_{1234} = \frac{1}{\left(\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_{234}} \right)} = 0.321 Et$$

$$\frac{K_{1234}}{K_{2-10}} = K_{2-10} = 0.321 Et$$

- Muro 3-11 (Ver Fig. 24):

$$K_1 = \frac{Et}{4 \left(\frac{0.78}{7.00} \right) + 3 \left(\frac{0.78}{7.00} \right)} = 2.943 Et$$

$$K_{2-3} = K_{3-4} = K_{4-1} = \frac{Et}{\frac{1.90}{4} + \frac{1.90}{3}} = 0.127 Et$$

Los elementos 2,3,4 están dispuestos en paralelo:

$$K_{234} = 0.381 Et$$

El subconjunto 2,3,4 y el elemento 1 están dispuestos en serie.

$$K_{1234} = 1 / (1/K_1 + 1/K_{234}) = 0.337 Et$$

$$K_{3-11} = 0.337 Et$$

Resumen de las Rigideces Laterales

Dirección X

$$K_{1-4} = 0.849 Et$$

$$K_{5-8} = 0.863 Et$$

$$K_{9-12} = 0.892 Et$$

Dirección Y

$$K_{1-9} = 0.840 Et$$

$$K_{2-10} = 0.321 Et$$

$$K_{3-11} = 0.337 Et$$

$$K_{4-12} = 0.840 Et$$

Ubicación del Centro de Masa

Se considerará que la mitad del peso de todos los muros y el peso total del techo están aplicados en la parte superior de la edificación.

Peso específico de los muros : 1.60 Ton/m³

Techo de madera : 0.07 Ton/m²

Espesor de los muros : 0.40 m

MURO	CENTRO DE MASA DE ELEMENTOS VERTICALES	PESOS (P)	COORDENADAS		MTOS ESTATICOS	
			X	Y	PX	PY
1-4	.5(9.60x2.70x0.40x1.60)	8.29	4.80	0	39.79	0
	-.5(0.80x0.80x0.40x1.60)	-0.20	1.60	0	-0.32	0
	-.5(0.80x1.90x0.40x1.60)	-0.49	4.80	0	-2.35	0
	-.5(0.80x0.80x0.40x1.60)	-0.20	8.00	0	-1.60	0
5-8	.5(9.60x2.70x0.40x1.60)	8.29	4.80	3.50	39.79	29.02
	-.5(0.80x1.90x0.40x1.60)	-0.49	4.80	3.50	-2.35	-1.72
9-12	.5(9.60x2.70x0.40x1.60)	8.29	4.80	7.00	39.79	58.03
	-.5(0.80x0.80x0.40x1.60)	-0.20	1.60	7.00	-0.32	-1.40
	-.5(0.80x0.80x0.40x1.60)	-0.20	4.80	7.00	-0.96	-1.40
	-.5(0.80x0.80x0.40x1.60)	-0.20	8.00	7.00	-1.60	-1.40
1-9	.5(7.00x2.40x0.40x1.60)	5.38	0	3.50	0	18.83
2-10	.5(7.00x3.00x0.40x1.60)	6.72	3.20	3.50	21.50	23.52
	-.5(1.90x0.80x0.40x1.60)	-0.49	3.20	2.20	-1.57	-1.08
	-.5(1.90x0.80x0.40x1.60)	-0.49	3.20	4.80	-1.57	-2.35
3-11	.5(7.00x2.68x0.40x1.60)	6.00	6.40	3.50	38.40	21.00
	-.5(1.90x0.80x0.40x1.60)	-0.49	6.40	2.20	-3.14	-1.08
	-.5(1.90x0.80x0.40x1.60)	-0.49	6.40	4.80	-3.14	-2.35
4-12	.5(7.00x2.40x0.40x1.60)	5.38	9.60	3.50	51.65	18.83
Techo	9.60x7.00x0.07	4.70	4.80	3.50	22.56	16.45
	Σ	49.11		Σ	234.56	172.90

Luego:

-

$$X = \frac{\Sigma PX}{\Sigma P} = \frac{234.56}{49.11} = 4.776 \text{ m}$$

$$Y = \frac{\sum PY}{\sum P} = \frac{172.90}{49.11} = 3.521 \text{ m}$$

Determinación del Centro de Rigideces

Se considerará que la fuerza cortante en cada dirección principal de la edificación es tomada únicamente por los muros paralelos a dicha dirección.

D I R X	MURO	K _x	X _x	Y _x	K _x .X	K _x .Y
	1-4	0.849	---	0	---	0
	5-8	0.863	---	3.50	---	3.021
	9-12	0.892	---	7.00	---	6.244
	Σ	2.604			Σ	9.265
D I R Y	MURO	K _y	X _y	Y _y	K _y .X	K _y .Y
	1-9	0.840	0	---	0	---
	2-10	0.321	3.20	---	1.027	---
	3-11	0.337	6.40	---	2.157	---
	4-12	0.840	9.60	---	8.064	---
	Σ	2.338		Σ	11.248	

Coordenadas del Centro de Rigidez:

$$X_K = \frac{\sum K_y X}{\sum K_y} = \frac{11.248}{2.338} = 4.811 \text{ m}$$

$$Y_K = \frac{\sum K_x Y}{\sum K_x} = \frac{9.265}{2.604} = 3.558 \text{ m}$$

Determinación de la Fuerza Cortante Sísmica

Según el R.N.C., se tiene:

$$H = \frac{ZUSC P}{R_d}$$

Donde:

Z : Factor de Zona

U : Factor de uso e importancia

S : Factor de Suelo

C : Coeficiente sísmico elástico

R_d : Factor de reducción por ductilidad

P : Peso a considerarse

Para este estudio se ha considerado los valores siguientes:

Z = 1.00 (Zona sísmica 1)

U = 1.00 (Edificaciones comunes)

S = 1.20 (Suelo tipo II)

C = 0.40; los períodos de vibración de las viviendas de adobe son menores a 0.30 seg.

R_d = 1.50 (Por ser construcciones de adobe)

P = 49.11 Ton.

De lo anterior se obtiene:

H = 15.72 Ton

Determinación del cortante que toma cada muro

Para encontrar el cortante que toma cada muro se considerará:

- a) Cortante directo debido a la fuerza sísmica.
- b) Cortante debido al efecto de torsión.
- c) Cortante debido a la torsión accidental.

El momento de torsión, considerando la no coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigideces y una torsión accidental, se determinará según las siguientes fórmulas:

$$M_{ti} = H_i (1.5e + 0.05B)$$

$$M_{ti} = H_i (e - 0.05B)$$

donde e y B son las excentricidades y Base respectivamente según dirección de análisis.

Eje X:

$$V_{Total} = 1 + \frac{\sum K_x}{\sum K_i d_i^2} \cdot e_y \cdot V_i \dots \dots \dots (14)$$

sabemos que: CR = (4.811, 3.558)

CM = (4.776, 3.521)

e = -0.037

Y

Podemos considerar de (14) $\alpha_{1,2} = 1 + \frac{\sum K_x}{\sum K_d^2} \cdot e_{1,2} \cdot Y_i$

Donde: $\sum K_x = 2.604$

$\sum K_d^2 = 61.74$

$e_1 = 0.295 \dots \dots \dots \alpha_1 = 1 + 0.01 Y_i$

$e_2 = -0.387 \dots \dots \dots \alpha_2 = 1 - 0.02 Y_i$

Eje Y:

Igualmente encontramos:

$e_x = -0.035$

$e_1 = 0.428 \dots \dots \dots \alpha_1 = 1 + 0.02 X_i$

$e_2 = -0.515 \dots \dots \dots \alpha_2 = 1 - 0.02 X_i$

MURO	CORTANTE DIRECTO (Vd) (Ton)	Xi (m)	Yi (m)	α_1	α_2	VTOTAL
1-4	5.13	---	-3.558	0.96	1.07	5.49
5-8	5.21	---	-0.058	1.00	1.00	5.21
9-12	5.38	---	3.442	1.03	0.93	5.54
1-9	5.65	-4.811	---	0.90	1.10	6.22
2-10	2.16	-1.611	---	0.97	1.03	2.22
3-11	2.27	1.589	---	1.03	0.97	2.34
4-12	5.65	4.789	---	1.10	0.90	6.22

4.1.2 CASO DE TECHO FLEXIBLE

Determinación del cortante que toma cada muro

El cortante que toma cada muro es proporcional a su área de influencia.

Es decir:

$$FCD = H / A_{T}$$

Donde:

FCD = Factor de distribución de cortante

H = Fuerza cortante sísmica

A_{T} = Área techada total

Luego:

$$V_i = A_i FCD$$

Donde:

V_i = Cortante que toma cada muro i

A_i = Área de influencia del muro i

MURO	AREA DE INFLUENCIA	m ²	Vi (Ton)
1-4	9.60 x 1.75	16.80	3.93
5-8	9.60 x 3.50	33.60	7.86
9-12	9.60 x 1.75	16.80	3.93
			$\Sigma = 15.72$ Conforme
1-9	7.00 x 1.60	11.20	2.62
2-10	7.00 x 3.20	22.40	5.24
3-11	7.00 x 3.20	22.40	5.24
4-12	7.00 x 1.60	11.20	2.62
			$\Sigma = 15.72$ Conforme

4.1.3 FUERZAS CORTANTES DE DISEÑO

En general el diseño se considerará para la condición respectivo de techo rígido o techo flexible. En el caso de duda acerca de la rigidez del techo, de las dos condiciones expuestas se toma para cada muro el valor cortante más desfavorable. En este estudio se sigue el último criterio.

MURO	CORTANTE (TECHO RIGIDO)	CORTANTE (TECHO FLEXIBLE)	CORTANTE DE DISEÑO (TON)
1-4	5.49	3.93	5.49
5-8	5.21	7.86	7.86
9-12	5.54	3.93	5.54
1-9	6.22	2.62	6.22
2-10	2.22	5.24	5.24
3-11	2.34	5.24	5.24
4-12	6.22	2.62	6.22

4.2 DISEÑO

Sólo se tratará el diseño estructural de los muros, las otras partes de la construcción deberán diseñarse siguiendo las normas usuales que las rigen.

4.2.1 ESFUERZOS ADMISIBLES

Según lo estudiado en el Capítulo II de la tesis, se tomará para este estudio los siguientes valores de esfuerzos admisibles:

- a) Esfuerzo de compresión: $f_m = 2.00 \text{ kg/cm}^2$ (Mortero de barro)
- b) Esfuerzo de corte : $V_m = 0.25 \text{ kg/cm}^2$ (Mortero de barro)
- c) Esfuerzo de tracción del refuerzo : $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ (caña)

4.2.2 DISEÑO DE MUROS

Verificación del esfuerzo cortante en cada elemento de los muros

- Muro 1-4:

$$V_1 = 1.000V = 5.49 \text{ Ton} \quad 960 \times 40 \quad 0.14 \text{ kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

$V_2 = 0.132V = 0.72 \text{ Ton}$	120 x 40	0.15	kg/cm ²	Conforme
$V_3 = 0.368V = 2.02 \text{ Ton}$	240 x 40	0.21	kg/cm ²	Conforme
$V_4 = 0.368V = 2.02 \text{ Ton}$	240 x 40	0.21	kg/cm ²	Conforme
$V_5 = 0.132V = 0.72 \text{ Ton}$	120 x 40	0.15	kg/cm ²	Conforme
$V_6 = 0.500V = 2.75 \text{ Ton}$	440 x 40	0.16	kg/cm ²	Conforme
$V_7 = 0.500V = 0.75 \text{ Ton}$	440 x 40	0.16	kg/cm ²	Conforme

- Muro 5-8:

$V_1 = 1.000V = 7.86 \text{ Ton}$	960 x 40	0.20	kg/cm ²	Conforme
$V_2 = 0.500V = 3.93 \text{ Ton}$	440 x 40	0.22	kg/cm ²	Conforme
$V_3 = 0.500V = 3.93 \text{ Ton}$	440 x 40	0.22	kg/cm ²	Conforme

- Muro 9-12:

$V_1 = 1.000V = 5.54 \text{ Ton}$	960 x 40	0.14	kg/cm ²	Conforme
$V_2 = 0.132V = 0.73 \text{ Ton}$	120 x 40	0.15	kg/cm ²	Conforme
$V_3 = 0.368V = 2.04 \text{ Ton}$	240 x 40	0.21	kg/cm ²	Conforme
$V_4 = 0.368V = 2.04 \text{ Ton}$	240 x 40	0.21	kg/cm ²	Conforme
$V_5 = 0.132V = 0.73 \text{ Ton}$	120 x 40	0.15	kg/cm ²	Conforme

$$V_6 = 1.000V = 5.54 \text{ Ton} \quad 960 \times 40 \quad 0.14 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

- Muro 1-9 y 4-12:

$$V_1 = 1.000V = 6.22 \text{ Ton} \quad 700 \times 40 \quad 0.22 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

- Muro 2-10 y 3-11:

$$V_1 = 1.000V = 5.24 \text{ Ton} \quad 700 \times 40 \quad 0.19 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

$$V_2 = 0.333V = 1.74 \text{ Ton} \quad 180 \times 40 \quad 0.24 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

$$V_3 = 0.333V = 1.74 \text{ Ton} \quad 180 \times 40 \quad 0.24 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

$$V_4 = 0.333V = 1.74 \text{ Ton} \quad 180 \times 40 \quad 0.24 \quad \text{kg/cm}^2 \text{ Conforme}$$

Muros con cargas perpendiculares a su plano

Para este tipo de sollicitación se tomará como muro representativo el muro 1-5 por ser éste el de mayor longitud. (L = 3.50 mts)

Un muro sometido a fuerzas perpendiculares a su plano se comporta como una losa. La fuerza perpendicular debida al sismo se considera como una carga repartida, que puede calcularse usando la expresión:

$$W_P = ZSC \frac{W}{P} \dots \dots \dots (15)$$

donde:

- W_P : Carga perpendicular sísmica, en T/m²
- Z : Factor de zonificación sísmica
- C_P : Coeficiente sísmico de fuerzas perpendiculares
- W : Peso del muro por unidad de área
- S : Factor de suelo

Para este estudio tenemos los siguientes valores:

Z = 1 (Alta sismicidad)

$C_P = 0.25$

W = 1.6 x 0.40 = 0.64 T/m²

S = 1.20 (Suelo tipo II)

Por lo tanto: $W_P = 0.192$ T/m²

En general es conveniente que el muro de adobe esté arriostrado en sus cuatro bordes. En el borde superior debe haber una viga solera, que puede ser de madera, concreto o suelo estabilizado, convenientemente reforzadas.

En este estudio se considera que para fuerzas sísmicas perpendiculares el muro de adobe está apoyado sólo en elementos de arriostres verticales con la finalidad de determinar solamente refuerzo horizontal por facilidades constructivas.

El momento máximo actuante por metro de altura será $W L^2/10$, el cual considera que en los apoyos hay un cierto giro y no se puede considerar que estos son simplemente apoyados.

Por lo tanto:

$$M \text{ máx} = \frac{W L^2}{10} = \frac{(0.192) (3.50)^2}{10} = 0.235 \text{ T-m}$$

$$A_c = \frac{M \text{ máx}}{f_c j d} = \frac{23,500}{(300) (0.875) (35)} \quad \begin{array}{l} j = 0.875 \\ d = (t-5) \text{ cm} \\ f_c = 300 \text{ kg/cm}^2 \end{array}$$

$$A_c = 2.56 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Colocando el refuerzo de caña cada 4 hiladas, se tiene:

$$A_{\text{caña}} = 0.40 \times 2.56 = 1.02 \text{ cm}^2$$

Si consideramos que el área efectiva de caña es 0.40 cm^2 entonces se colocarán 3 varillas cada 4 hiladas.

CAPITULO V
PROCEDIMIENTO SIMPLE DE ANALISIS Y DISEÑO SISMO-RESISTENTE
DE CONSTRUCCIONES 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 válido para el diseño de viviendas de adobe de un piso.

Para este procedimiento se ha tomado en cuenta consideraciones y parámetros calculados en el Procedimiento de Análisis y Diseño determinado en los capítulos anteriores.

Las principales consideraciones que hay que tener en cuenta para este procedimiento son las siguientes:

- a) Se ha considerado el caso de techo inclinado.
- b) Se considera la condición de techo rígido para los muros exteriores y techo flexible para los muros interiores.

- c) Aumento del cortante directo por torsión del 10% (α 1.10) para los muros exteriores.
- d) Considerando la influencia de la diferencia de alturas y presencia de pequeños vanos de los muros interiores respecto a los muros exteriores, se ha tomado que las rigideces de los muros exteriores pueden estimarse como 2.5 veces las rigideces de los muros interiores.
- e) Debido a que el peso del techo es pequeño en relación al peso propio de los muros de adobe, se considera que la fuerza cortante que toma cada muro en condición de techo flexible son iguales.
- f) Este procedimiento es válido para viviendas representativas similares a la expuesta en esta tesis. Figs. (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18).

Para este estudio se consideraron las siguientes etapas:

5.1 DETERMINACION DE LAS FUERZAS SISMICAS HORIZONTALES

Según el R.N.C., se tiene:

$$H = \frac{ZUSC P}{Rd} \dots\dots\dots(16)$$

Para este estudio se ha considerado los valores siguientes:

$$Z = 1, 0.70 \text{ (Zonas sísmicas 1 y 2)}$$

U = 1.00 (Edificaciones comunes)

S = 1.20 (Suelo tipo II), no se permite las construcciones de adobe en suelos tipo III.

C = 0.40

Rd = 1.50 (Por ser construcciones de adobe).

De lo anterior se obtiene:

Zona sísmica 1 : $H = 0.32 P$ (17)

Zona sísmica 2 : $H = 0.22 P$ (18)

donde : $P = PD$

Si consideramos:

Altura promedio de muros = 3.00 m.

Peso específico del adobe = 1.60 Ton/m³

Se obtiene la siguiente expresión:

$$P = A (Wd + 0.5 \times 1.60 \times 3.00 \times Am)$$

Donde:

Wd = Carga de techo = 0.07 Ton/m²

Am = Area de muros por m² de edificación

A = Area en planta de la edificación.

Para viviendas típicas se ha podido evaluar el valor del área de muros por m² de edificación (Am) : 0.27 m²/m². Este valor se ha obtenido haciendo variar longitudes y espesores de muros de la siguiente forma:

- a) Para $t = 0.30 \text{ m}$ $1 \leq l \leq 3 \text{ m}$
- b) Para $t = 0.40 \text{ m}$ $3 \leq l \leq 4 \text{ m}$
- c) Para $t = 0.50 \text{ m}$ $4 \leq l \leq 5 \text{ m}$

Luego: $P = 0.72A \dots\dots\dots(19)$

Reemplazando (19) en (17) y (18), obtenemos:

Zona sísmica 1: $H = 0.23 A \dots\dots\dots(20)$

Zona sísmica 2: $H = 0.16 A \dots\dots\dots(21)$

5.2 FUERZA CORTANTE EN EL PLANO DEL MURO

De acuerdo a lo estudiado en el Capítulo II de la tesis, la fuerza cortante resistente del muro V_m , en Ton, está expresada por:

$$V_m = 2.5 L t \text{ (Mortero de barro)} \dots\dots\dots(22)$$

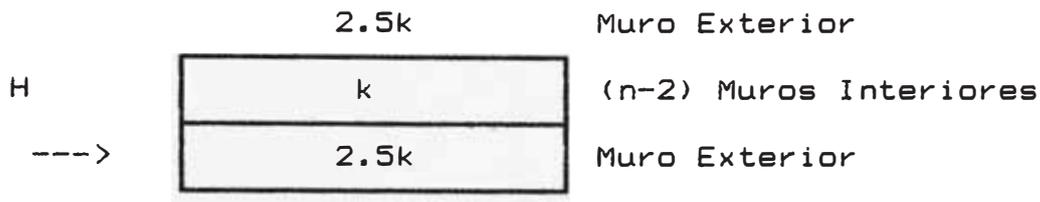
donde: L = Longitud del muro por eje (descontando vanos), en m.

t = Espesor del muro, en m.

Deberá verificarse que la fuerza cortante actuante, sea menor o igual que la fuerza cortante resistente.

Muros Exteriores

Tomando en consideración los acápites (b), (c) y (d), se tiene lo siguiente:



$$V = \frac{\alpha \sum k_i}{\sum k_i} H \quad \text{donde: } \alpha = \text{factor de corrección por torsión}$$

($\alpha=1.10$)

$$k_i = \text{rigidez del muro exterior} = 2.5k$$

$$\sum k_i = \text{sumatoria de rigideces en la dirección de análisis} = k(n+3)$$

H = Fuerza cortante total.

Por lo tanto, la fuerza cortante actuante V, para cada muro exterior está expresada por:

$$V = \frac{2.75}{(n+3)} H \dots \dots \dots (23) \quad \text{donde: } n = \text{número de líneas de muros en la dirección de análisis.}$$

De (22) y (23) se tiene que la longitud total mínima de muros exteriores en la dirección de análisis es:

$$L_{\text{mín}} = \frac{2.2}{(n+3)} \frac{H}{t} \dots \dots \dots (24)$$

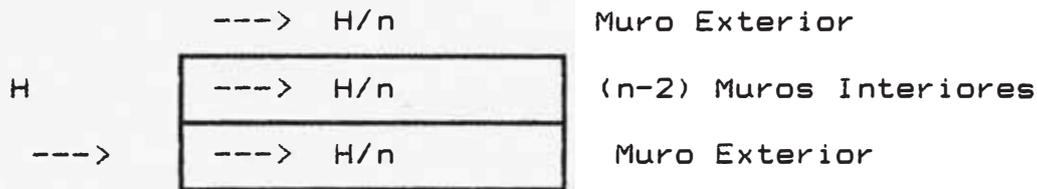
Reemplazando (20) y (21) en (24), obtenemos lo siguiente:

$$\text{Zona sísmica 1: } L_{\text{mín}} = \frac{0.51}{(n+3)} \frac{A}{t} \dots \dots \dots (25)$$

$$\text{Zona sísmica 2: } L_{\text{mín}} = \frac{0.35 A}{(n+3) t} \dots\dots\dots (26)$$

Muros Interiores:

Tomando en consideración el acápite (e), tenemos lo siguiente:



La fuerza cortante actuante V , para $(n-2)$ muros interiores está expresada por:

$$V = (n-2) \frac{H}{n} \dots\dots\dots (27)$$

Igualando la fuerza cortante actuante en todos los muros interiores, $(n-2)$, con la fuerza cortante resistente por dichos muros, se tiene que la longitud total mínima de muros interiores en la dirección de análisis es:

$$L_{\text{mín}} = 0.40 (n-2) \frac{H}{nt} \dots\dots\dots (28)$$

Reemplazando (20) y (21) en (28), obtenemos lo siguiente:

$$\text{Zona sísmica 1: } L_{\text{mín}} = \frac{0.09 (n-2) A}{nt} \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{Zona sísmica 1: } L_{\text{mín}} = \frac{0.06 (n-2) A}{nt} \dots\dots\dots (30)$$

5.3 FUERZA DE COMPRESION DEBIDA A LAS CARGAS DE GRAVEDAD

De acuerdo al estudio, considerando las cargas de gravedad del muro de adobe, sin enlucir y techo de madera, se tiene:

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

$2.2 h$.

ii) Para un muro exterior la carga axial actuante en toneladas, puede estimarse por: $P = 2.5 t h$, donde, t , es el espesor del muro de altura h en metros; y el esfuerzo actuante de compresión en T/m^2 será de: $\sigma = 2.5 h$.

Analizando estas expresiones para los casos extremos se tiene:

a) Para un muro interior de altura 4m, el esfuerzo de compresión actuante es de $8.8 T/m^2$, que es apreciablemente menor que $20 T/m^2$, que es el esfuerzo admisible de compresión.

b) Para un muro exterior de altura 3m, el esfuerzo de compresión actuante es de $7.5 T/m^2$ que es menor a $20 T/m^2$.

De lo anterior se concluye que en el caso de análisis sismo-resistente de viviendas de adobe de un piso no es necesario verificar los esfuerzos de compresión debido a cargas de gravedad.

5.4 FUERZA DE COMPRESION POR CARGAS DE GRAVEDAD, DE SISMO Y MOMENTO DE VOLTEO

Como cargas de gravedad consideraremos el peso propio de los muros de adobe. Las fuerzas axiales de compresión o de tracción debido a la componente sísmica vertical, de acuerdo a la Norma Peruana de Diseño sismo-resistente son:

Zona sísmica 1: $P_v = 0.30 P$

Zona sísmica 2: $P_v = 0.20 P$

La fuerza de compresión por momento de volteo se debe a las fuerzas sísmicas horizontales en el plano del muro.

Los esfuerzos totales de compresión actuantes deben ser menores o iguales al esfuerzo de compresión admisible especificado en el Capítulo II de la presente tesis, $f_m = 20 \text{ T/m}^2$ (Mortero de Barro).

Sabemos que:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{MC}{I} \dots\dots\dots (31)$$

Muros Exteriores

- Zona sísmica 1: $P = 1.3 (\delta tLh) = 2.08 tLh \dots \dots \dots (32)$

$$A = Lt \text{ (área en compresión)} \dots \dots \dots (33)$$

Cálculo del Momento de volteo (M):

$$M = V_{ext} h \dots \dots \dots (34)$$

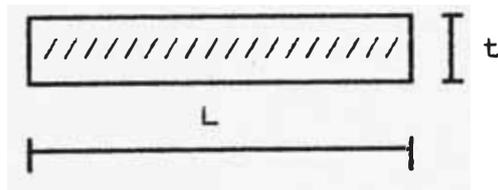
(23) en (34):

$$M = \frac{2.75}{(n+3)} Hh \dots \dots \dots (35)$$

(20) en (35):

$$M = \frac{0.63 Ah}{(n+3)} \text{ en T-m} \dots \dots \dots (36)$$

Sección del Muro:



$$C = L/2 \dots \dots \dots (37)$$

$$I = \frac{tL^3}{12} \dots \dots \dots (38)$$

Reemplazando (32), (33), (36), (37) y (38) en (31) obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_c = 2.08 h \left(1 + \frac{1.82A}{(n+3)tL^2} \right); \text{ en Ton/m}^2 \dots \dots \dots (39)$$

- Zona sísmica 2: $P = 1.2 (\delta tLh) = 1.92 tLh \dots \dots \dots (40)$

Momento de Volteo (M):

(21) en (35):

$$M = \frac{0.44}{(n+3)} Ah \text{ en T-m.} \dots \dots \dots (41)$$

Reemplazando: (33), (37), (38), (40) y (41) en (31) obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_c = 1.92h \left(1 + \frac{1.39A}{(n+3)tL^2} \right); \text{ en Ton/m}^2 \dots \dots \dots (42)$$

Muros Interiores:

- Zona sísmica 1:

Cálculo del momento de volteo (M):

$$M = V_{int.} h \dots \dots \dots (43)$$

(27) en (43)

$$M = (n-2) \frac{H}{n} h$$

Para un muro interior se tiene: $M = \frac{H}{n} h \dots \dots \dots (44)$

(20) en (44):

$$M = 0.23 \frac{Ah}{n} \dots \dots \dots (45)$$

Reemplazando: (32), (33), (37), (38) y (45) en (31), obtenemos:

$$\sigma_c = 2.08 h \left(1 + \frac{0.66A}{ntL^2} \right); \text{ en Ton/m}^2 \dots \dots \dots (46)$$

- Zona sísmica 2:

Momento de Volteo (m):

(21) en (44):

$$M = 0.16 \frac{Ah}{n} \dots\dots\dots (47)$$

Reemplazando: (33), (37), (38), (40) y (47) en (31) obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_c = 1.92 h \left(1 + \frac{0.50A}{ntL^2} \right); \text{ en Ton/m}^2 \dots\dots\dots (48)$$

En las expresiones (39), (42), (46) y (48) se aprecia que los esfuerzos de compresión son menores si la planta de la edificación es cuadrada y si el muro en estudio tiene un menor porcentaje de vanos. Igualmente, se aprecia que la altura h de los muros exteriores debe ser lo menor posible, en general es conveniente que no sea mayor de 3m, por consiguiente no es recomendable el uso de techos a una sola agua que conduce a alturas de muros exteriores mayores de 3 m.

Del estudio de las expresiones deducidas anteriormente, considerando un porcentaje de vanos del 25% de la longitud del muro, para 2 relaciones de longitudes en planta (1:1 y 1:2) y 3 líneas de muros en la dirección menor, se obtienen valores de espesores mínimos y alturas máximas permisibles para construcciones de adobe en zonas sísmicas 1 y 2, y en suelo tipo II, que se muestra en el Cuadro 3.

5.5 FUERZA DE TRACCION POR CARGAS DE GRAVEDAD, DE SISMO Y MOMENTO DE VOLTEO

Los esfuerzos de tracción a determinarse son resultante de la combinación de las cargas de gravedad, de las cargas axiales de tracción por sismo y de los momentos de volteo.

Sabemos que:

$$\sigma_t = \frac{P}{A} - \frac{MC}{I} \dots\dots\dots (49)$$

Muros Exteriores

- Zona Sísmica 1: $P = 0.7 (\delta tLh) = 1.12tLh \dots\dots\dots (50)$
 Reemplazando: (33), (36), (37), (38) y (50) en (49);
 obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_t = 1.12h (1 - \Omega)$$

$$\Omega = \frac{3.39A}{(n+3)tL^2} \dots\dots\dots (51)$$

- Zona Sísmica 2: $P = 0.8 (\delta tLh) = 1.28tLh \dots\dots\dots (52)$
 Reemplazando: (33), (37), (38), (41) y (52) en (49);
 obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_t = 1.28h (1-\Omega)$$

$$\Omega = \frac{2.06 A}{(n+3)tL^2} \dots\dots\dots (53)$$

Muros Interiores

- Zona Sísmica 1:

Reemplazando: (33), (37), (38), (45), (50) en (49);
obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_t = 1.12h (1-\Omega)$$

$$\Omega = \frac{1.23A}{ntL^2} \dots\dots\dots (54)$$

- Zona Sísmica 2:

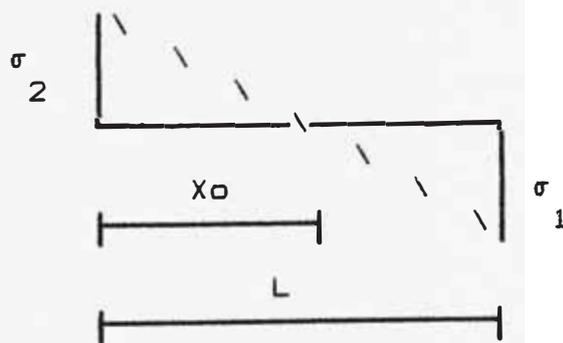
Reemplazando: (33), (37), (38), (47), (52) en (49);
obtenemos lo siguiente:

$$\sigma_t = 1.28h (1-\Omega)$$

$$\Omega = \frac{0.75A}{ntL^2} \dots\dots\dots (55)$$

En las fórmulas anteriores t y L están en metros.

CALCULO DEL REFUERZO EN TRACCION



$\sigma = \sigma_t =$ esfuerzo en tracción
2

Xo= Zona de Muro en tracción

Sabemos que: $\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{2P}{A} \dots\dots\dots (56)$

Por semejanza:
$$\frac{X_o}{L} = \frac{\sigma_t}{\sigma_1 + \sigma_2} \dots\dots\dots (57)$$

(57) en (58) :
$$\frac{X_o}{L} = \frac{\sigma_t}{\frac{2P}{A}} \dots\dots\dots (58)$$

Sabemos que:

$$\sigma_t = Bh (1-\Omega) \dots\dots\dots (59)$$

$$P = BLth \dots\dots\dots (60)$$

"B" es una constante que depende de la zona sísmica en estudio.

Reemplazando: (33), (59), (60) en (58); obtenemos lo siguiente:

$$X_o = \frac{L(1-\Omega)}{2} \dots\dots\dots (61)$$

Además conocemos que:

$$T = \frac{\sigma_t X_o t}{2} \dots\dots\dots (62)$$

El refuerzo por tracción puede consistir en varillas de acero o áreas de caña. Las áreas de acero o caña (cm²) pueden calcularse usando las expresiones siguientes:

$$A_s = \frac{1.25 T}{0.9f_y} \dots\dots\dots (63)$$

$$A_c = \frac{T}{0.3} \dots\dots\dots(64)$$

donde: T en Ton y fy en Ton/cm²

En las expresiones 51, 53, 54, 55, 61 y 62 se aprecia que los esfuerzos de tracción dependen principalmente de la relación en planta de la edificación, obteniéndose esfuerzos de tracción menores si la planta es cuadrada. La fuerza de tracción es directamente proporcional al esfuerzo de tracción, el espesor del muro y la longitud del muro en tracción.

Del estudio de las expresiones indicadas anteriormente, considerando un porcentaje de vanos del 25% de la longitud del muro y para dos relaciones de longitudes en planta (1:1, y 1:2), y 3 líneas de muros en la dirección menor, se obtienen valores de los esfuerzos de tracción, que se muestran en los Cuadros 4 y 5 para varios valores de altura de muros.

En plantas rectangulares, el esfuerzo de tracción en los muros en la dirección de análisis de la longitud mayor, puede tomarse igual al que se indica en los Cuadros 4 y 5 para muros en planta cuadrada.

Del estudio se recomienda que para edificaciones ubicadas en la Zona Sísmica 1:

- i) La altura de los muros exteriores debe limitarse a 3m y en general la relación en planta debe tender a 1 y no debe sobrepasar a 2.
- ii) El espesor mínimo de los muros debe ser 0.40 m.

5.6 MUROS CON CARGAS PERPENDICULARES A SU PLANO

La fuerza perpendicular debida al sismo se considera como una carga repartida que puede calcularse según:

$$W_p = ZSC_pW \dots \dots \dots (66)$$

Donde: W_p = Carga perpendicular sísmica, en T/m²

Z = Factor de zonificación sísmica

C_p = Coeficiente sísmico = 0.25

W = Peso del muro por unidad de área, (1.6t) en T/m²

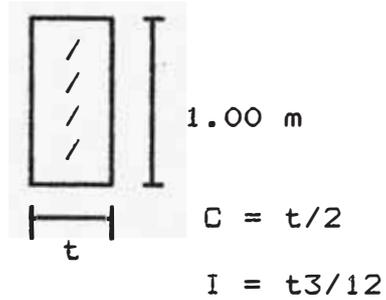
S = Factor de suelo

Valores de W_p se muestran en el Cuadro 6.

Se considera para este estudio el muro de adobe apoyado sólo en elementos de arriostres verticales espaciados a 10 veces el espesor del muro, $10t$, y que el momento máximo actuante es $W_pL^2/10$, se tiene que los esfuerzos de tracción por flexión en T/m² está dado por:

$$\sigma_t = \frac{M_{\text{máx}} C}{I}$$

$$\sigma_t = \frac{W_p (10t)^2 (t/2)}{(10) (t^3/12)}$$



==> $\sigma_t = 60.00 W_p \dots\dots\dots (67)$, en T/m²

Los esfuerzos de tracción se muestran en el Cuadro 7.

Se ha realizado el diseño estructural para fuerzas perpendiculares sísmicas considerando las condiciones siguientes:

- Momentos actuantes despreciando la contribución del adobe de las normas vigentes.
- Refuerzo de acero usando un valor de $f_s = 1680 \text{ kg/cm}^2$ para un esfuerzo de fluencia de $4,200 \text{ kg/cm}^2$.
- Refuerzo de caña usando un valor de $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$.
- Peralte efectivo de $d = (t - 5)\text{cm}$; y valor de $j = 0.875$.

Los refuerzos así obtenidos deben colocarse en cada extremo del espesor del muro cada 0.40 m, aproximadamente cada 4 hiladas.

Los resultados se muestran en el Cuadro 8, donde los momentos están en T-m, los espesores de los muros en m y los refuerzos de acero y caña en cm².

5.7 RESUMEN DE FORMULAS DE PROCEDIMIENTO SIMPLE DE ANALISIS Y DISEÑO SISMO-RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE DE UN PISO

1) Fuerza cortante en el Plano del Muro.

Se necesita una longitud mínima (Lm) de muros en las dos direcciones principales de análisis. La distribución de muros debe ser simétrica.

Zona Sísmica 1:

$$\text{- Muros Exteriores: } L_m = \frac{0.51 A}{(n+3) t}$$

$$\text{- Muros Interiores: } L_m = \frac{0.09(n-2)A}{nt}$$

Zona Sísmica 2:

$$\text{- Muros Exteriores: } L_m = \frac{0.35 A}{(n+3) t}$$

$$\text{- Muros Interiores: } L_m = \frac{0.06(n-2)A}{nt}$$

Donde: A = Area en planta en m²

n = Número de líneas de muros en la dirección de análisis.

t = Espesor del muro.

2) Fuerza de compresión debida a las cargas de gravedad.

En general para edificaciones de una planta esta condición de carga no es crítica.

3) Fuerza de compresión por cargas de gravedad, de sismo, y de momentos de volteo.

Usando el Cuadro 3 se encuentra el espesor del muro de adobe para valores máximos de altura tanto para muros exteriores como interiores. Considera las zonas sísmicas 1 y 2, así como dos relaciones en planta.

En general los esfuerzos totales de compresión actuantes en muros exteriores e interiores están dados por las expresiones (40), (43), (47) y (49).

4) Fuerza de tracción por cargas de gravedad, de sismo y momentos de volteo.

La fuerza de tracción, T , se determina con la siguiente expresión:

$$T = \sigma_t X_o t/2; \text{ en Ton}$$

donde: σ_t = Esfuerzo de tracción dado en los Cuadros 4 y 5 según sea el caso, en T/m^2

X_o = Longitud de zona en tracción. La relación X_o/L está dada en los Cuadros 4 y 5.

L = Longitud neta del muro por eje, en m.

t = Espesor del muro, en m.

El refuerzo usando acero o caña se calcula usando las expresiones:

$$A_s = 1.4 T/f_y$$

$$A_c = 3.3 T$$

5) Fuerzas Sísmicas Perpendiculares el plano del Muro.

El refuerzo horizontal para fuerzas sísmicas perpendiculares de muros arriostrados verticalmente a espaciamiento no mayores de 10 veces el espesor del muro, está dado en el Cuadro 8; este refuerzo debe colocarse en los dos extremos del espesor del muro.

En dicho Cuadro se consideran las zonas sísmicas 1 y 2, los tipos de suelos I, II, tres dimensiones de espesores (0.30m, 0.40m, 0.50m). Igualmente permite escoger refuerzo de acero de $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ o de caña de $f_c = 300 \text{ kg/cm}^2$.

5.8 EJEMPLO DE APLICACION

Se diseñará una edificación de adobe representativa de un piso ubicada en una zona sísmica 1 y cimentada sobre suelo cohesivo tipo II. (Figs. 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18).

1) Fuerzo cortante en el plano del muro.

Dirección X:

$$\text{- Muros Exteriores: } L_m = \frac{0.51 A}{(n+3) t} = 14.28\text{m} < 14.40 \text{ m}$$

CONFORME

$$\text{- Muros Interiores: } L_m = \frac{0.09(n-2)A}{(n+3) t} = 5.04\text{m} < 8.80 \text{ m}$$

CONFORME

Dirección Y:

Muros Exteriores: $L_m = 12.24 \text{ m} < 14.00 \text{ m}$ CONFORME

Muros Interiores: $L_m = 7.56 \text{ m} < 10.80 \text{ m}$ CONFORME

2) Fuerza de compresión debida a las cargas de gravedad.

Esta condición de carga no es crítica. CONFORME

3) Fuerza de compresión por carga de gravedad, de sismo y de momento de volteo.

Muros Exteriores

Con la relación en planta de $9.6/7 = 1.37$, se considerará igual a 2; del Cuadro 3, se tiene: $h_{\text{máx}} = 2.60\text{m}$. Como la altura de los muros exteriores es de 2.40m es conforme la verificación.

Muros Interiores

$h_{\text{máx}} = 3.25 \text{ m} > h = 3.00 \text{ m}$ CONFORME

4) Fuerza de tracción por carga de gravedad, de sismo y momento de volteo.

Dirección Y:

Muros Exteriores

Del Cuadro 4 se tiene: $\sigma_t = 6.56 \text{ t/m}^2$ (interpolando)

$$X_o = 1.22 L; L = 7.00 \text{ m}$$

$$\text{Luego } T = \sigma_t X_o t / 2 = 11.20 \text{ Ton.}$$

$$A_c = 37.33 \text{ cm}^2 \text{ (Area de caña)}$$

Se recomienda concentrar el 50% en el extremo y el resto en forma uniforme a lo largo del muro.

Muros Interiores.

Del Cuadro 5 se tiene: $\sigma_t = 5.00 \text{ T/m}^2$ (interpolando)

$$X_o = 0.75L; L = 5.40 \text{ m}$$

Luego: $T = 4.05 \text{ Ton}$

$$A_c = 13.50 \text{ cm}^2$$

Dirección X:

Muros Exteriores

Del Cuadro 4 se tiene: $\sigma_t = 4.06 \text{ T/m}^2$ (interpolando)

$$X_o = 0.76; L = 7.20 \text{ m}$$

Luego: $T = 4.44 \text{ Ton}$

$$A_c = 14.80 \text{ cm}^2$$

Muros Interiores

Del Cuadro 5 se tiene: $\sigma_t = 2.76 \text{ T/m}^2$ (interpolando)

$$X_o = 0.41L; L = 8.80 \text{ m}$$

Luego: $T = 1.99 \text{ Ton}$

$$A_c = 6.83 \text{ cm}^2$$

5) Fuerzas sísmicas perpendiculares al plano del muro con $Z = 1$, suelo tipo II, $t = 0.40 \text{ m}$, del Cuadro 8, se tiene:
 $A_c = 1.04 \text{ cm}^2/\text{cada } 4 \text{ hiladas (en cada cara)}$.

De esta aplicación se puede apreciar que la condición más crítica es la de fuerzas de tracción debido a momentos

de volteo, cargas de gravedad y fuerzas sísmicas verticales.

CAPITULO VI

PROPUESTA DE NORMAS DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE

6.1 REQUISITOS GENERALES

- El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos estructurales que se señalan en la presente norma.

- Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.

- Podrá utilizarse un segundo piso de material más liviano (madera, quincha, etc); pero garantizando su comportamiento integral.

- Las dimensiones y requisitos que se estipulan en las secciones siguientes, tienen únicamente el carácter de mínimos y no eximen de manera alguna del estudio y

cálculos correspondiente que serán los que deben definir las dimensiones y requisitos a usarse en el diseño, de acuerdo con la función de los elementos y de la construcción.

- No se harán construcciones de 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/cm². Tampoco se harán construcciones de adobe sobre taludes, riberas de ríos, etc.

6.2 DEFINICIONES

6.2.1 ADOBE

Bloque macizo hecho con barro sin cocer y un componente como paja, ichú, etc.

6.2.2 ADOBE ESTABILIZADO

Adobe en el que se ha incorporado otros materiales (asfalto RC-250, goma de tuna, etc) con el fin de mejorar sus condiciones de estabilidad ante la presencia de humedad.

6.2.3 MORTERO

Material de unión de los adobes. Puede ser de barro

con paja o barro con paja y otros componentes como asfalto, cemento, cal, arena gruesa, etc.

6.2.4 ALTURA LIBRE DE MURO

Es la distancia vertical entre elementos de arriostre horizontales.

6.2.5 MURO ARRIOSTRADO

Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontal y/o verticales.

6.2.6 EXTREMO LIBRE DE MURO

Es el borde vertical u horizontal no arriostrado de un muro.

6.2.7 VIGAS SOLERAS

Son elementos que conectan a los techos con los muros y adecuadamente diseñados, actúan como elementos de arriostre horizontal. Su uso es obligatorio.

6.3 ESTRUCTURACION

6.3.1 RECOMENDACIONES BASICAS DE ESTRUCTURACION EN ZONAS SISMICAS

- Usualmente la falla de estructuras de adobe debida a

SISMOS es frágil. El mecanismo más común es el vaciamiento de los muros a causa de la pérdida de estabilidad lateral que ocurre cuando falla o se destruye el amarre de las esquinas o encuentros, lo que puede conducir a un colapso progresivo.

- En general la relación en planta de las edificaciones de adobe deben tender al valor de 1, y como máximo al valor de 2. Los vanos deben ser pequeños y centrados al medio de los muros.
- Podrá separarse partes de la estructura si la relación en planta excede de 1:2, mediante juntas sísmicas.
- Se definirá obligatoriamente un sistema que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.

6.3.2 EL CONJUNTO ESTRUCTURAL DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE ESTARA COMPUESTO DE:

- a) Cimentación
- b) Muros
- c) Elementos de arriostre horizontal
- d) Elementos de arriostre vertical
- e) Entrepiso y/o techo
- f) Refuerzos.

6.4 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 zonas no lluviosas de comprobada regularidad e imposibilidad de inundación, se permitirá el uso de mortero de barro con/sin aglomerantes. Asimismo, todos los cimientos deberán estar amarrados.

El sobrecimiento deberá ser de concreto ciclópeo o mampostería de piedra, y tendrá una altura tal que sobresalga como mínimo 25 cm sobre el nivel del suelo. En algunos casos podrá reforzarse el sobrecimiento con armaduras para controlar posibles asentamientos.

6.5 MUROS

6.5.1 Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros.

Esto se conseguirá definiendo sus dimensiones, utilizando arriostres o refuerzos. En el caso de usarse refuerzos de cualquier tipo para garantizar la estabilidad de un muro, se deberá demostrar técnicamente la factibilidad del sistema utilizado.

- 6.5.2 Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización. Deberá verificarse la calidad y la resistencia a la compresión del adobe, usando ensayos de campo y/o gabinete.
- 6.5.3 La longitud de los muros tomados entre arriostres verticales o dos muros perpendiculares a él, no debe exceder a diez veces su espesor y la altura máxima de los muros no deberá ser mayor que ocho veces su espesor.
- 6.5.4 Debe limitarse al empleo de muchos vanos y en lo posible estos deberán estar centrados y reforzados con dinteles debidamente empotrados. Se deberá verificar que los vanos estén alejados de las esquinas una distancia igual a tres veces el espesor del muro y como mínimo 90 cm. El porcentaje máximo de vanos deberá ser el 25% de la longitud del muro en cada dirección de análisis.
- 6.5.5 Los muros deberán estar perfectamente amarrados en sus encuentros, se recomienda el uso de mochetas que permita una mayor longitud de anclaje del refuerzo horizontal, y el uso de contrafuertes que es una solución para arriostrar los muros largos.

6.6 ELEMENTOS DE ARRIOSTRE

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

6.6.2 Los elementos verticales de arriostre tendrán una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir las 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 veces el espesor del muro.

6.6.3 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.

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

6.7 TECHOS

6.7.1 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.

6.7.2 Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan en los muros empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.

6.7.3 Es de notar que la rigidez horizontal proporcionada por el diafragma de los sistemas de techo en construcciones de adobe no es tan grande como para que se le considere en general como techo rígido y tampoco es despreciable como para considerarlo como techo flexible. Para muros exteriores se considerará como condición crítica la de techo rígido y para los muros interiores la de techo flexible.

6.7.4 En el caso de utilizar tijerales, el sistema estructural del techado deberá garantizar la estabilidad lateral del mismo.

6.7.5 La pendiente de los techos deberá estar comprendida entre 15 a 30% y los aleros tendrán una longitud mínima de 50 cm para impedir que los muros sean humedecidos por el agua de la lluvia.

6.8 REFUERZOS

6.8.1 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).

6.8.2 Se cuidará especialmente los anclajes y empalmes de los refuerzos para garantizar su comportamiento eficaz.

6.8.3 Los materiales utilizados como refuerzo serán:

- Caña o similares, en tiras, colocados horizontalmente cada cierto número de juntas (máximo cada cuatro hiladas) en todos los muros unidos 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. Deberá coincidir los niveles superiores de los vanos (puertas y ventanas).

Adicionalmente, se colocarán cañas o elementos de características similares como refuerzos verticales, ya sea en su plano central entre unidades de adobe, o en alvéolos de mínimo 5 cm de diámetro dejados en los bloques.

En ambos casos se asegurará la adherencia rellenando los vacíos con mortero.

El refuerzo vertical de caña deberá estar anclado a la cimentación y fijado a la solera superior. Se usará caña madura o seca.

- Madera. Se usará en dinteles de vanos y vigas soleras sobre los muros.

La viga solera se anclará al muro y al dintel si lo hubiese. El empotramiento de un dintel aislado no deberá ser inferior a 40 cm.

6.9 MORTEROS

6.9.1 Los morteros se clasificarán en dos grupos:

Tipo I (en base a cemento y arena)

Tipo II (en base a tierra con o sin aglomerantes)

6.9.2 MORTERO TIPO I

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

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

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

6.9.3 MORTERO TIPO II

La composición del mortero deberá 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 volumen (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.

6.10 RECUBRIMIENTOS

Los muros de adobe simple, deberán protegerse mediante enlucidos resistentes a la acción de la erosión y el intemperismo. El material del recubrimiento deberá ser semejante al material del muro para que se adhiera y no se desprenda.

6.11 ESFUERZOS ADMISIBLES

6.11.1 RESISTENCIA A COMPRESION DE LA UNIDAD

- La resistencia a compresión de la unidad es un índice de la calidad de la misma y no de la mampostería.

La resistencia a la compresión se determinará ensayando cubos labrados cuya arista tendrá como dimensión la menor de la unidad de adobe. Se empleará un valor de la resistencia (f_o), calculado en base al área de la sección transversal. Este

valor será el sobrepasado por el 80% de las piezas ensayadas.

El número mínimo de piezas a ensayar será de seis (6) y deberán estar completamente secas.

El valor de f_o no será menor de 12 kg/cm².

6.11.2 RESISTENCIA A COMPRESION DE LA MAMPOSTERIA

La resistencia a compresión de la mampostería podrá determinarse por:

A. Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usarse en obra. Las pilas estarán compuestas por el número de adobes enteros necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura/espesor) de tres o cuatro (3 ó 4).

El número mínimo de adobe será de cuatro (4) y el espesor de juntas será de 2 cm.

Se tendrá especial cuidado de mantener la verticalidad de los especímenes. El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días. El número mínimo de pilas a ensayar será de tres (3).

La inclusión en el mortero de materiales tales como el cemento, la cal o el yeso (aglomerantes), mejoran notablemente la resistencia en compresión y el módulo de elasticidad de las pilas.

El esfuerzo admisible a compresión del muro (f_m) se obtendrá con la expresión:

$$f_m = 0.2 f'_m$$

donde: f'_m = esfuerzo de compresión último de la pila. Este valor será el sobrepasado por 2 de cada tres de las pilas ensayadas.

B. Alternativamente cuando no se realicen ensayos de pilas, se podrán usar los siguientes valores de diseño:

- Para morteros de barro con/sin aglomerantes:

$f_m = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ con un módulo de elasticidad de $1,700 \text{ kg/cm}^2$

- Para morteros de arena con aglomerantes:

$f_m = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ con un módulo de elasticidad de $4,500 \text{ kg/cm}^2$.

6.11.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MAMPOSTERIA

La resistencia al corte de la mampostería se podrá determinar por:

A. Ensayos de corte directo o ensayos de compresión diagonal con materiales y tecnología a usarse en obra. Se ensayarán un mínimo de tres(3) especímenes.

La adición en el mortero de aglomerantes mejoran notablemente la resistencia al corte de la mampostería.

El esfuerzo admisible al corte del muro (V_m) se obtendrá

con la expresión:

$$V_m = 0.40 (u + fv)$$

donde: u = Esfuerzo de adherencia

f = Coeficiente de fricción

v = Esfuerzo normal de confinamiento.

Alternativamente cuando no se realicen ensayos de muretes, se podrán usar los siguientes esfuerzos admisibles al corte:

- Para morteros de barro con/sin aglomerantes:

1 piso : $V_m = 0.25 \text{ kg/cm}^2$

2 pisos : $V_m = 0.37 \text{ kg/cm}^2$

- Para morteros de arena con aglomerantes:

1 piso : $V_m = 0.50 \text{ kg/cm}^2$

2 pisos : $V_m = 0.74 \text{ kg/cm}^2$

6.11.4 La resistencia del adobe en el caso de tracción por flexión es muy pequeña; en general no debe considerarse ninguna resistencia a la tracción del adobe en los casos de tracción directa y tracción por flexión.

6.12 DISEÑO DE MUROS

Se considerarán las siguientes partes:

A. Como muro de corte:

Se verificará el esfuerzo cortante en sus elementos, considerando corte directo más corte por torsión teórica y accidental según las normas básicas de diseño sismo-resistente.

B. Flexión como losa (fuerza sísmica perpendicular al muro).

Se determinará la armadura en una o dos direcciones de acuerdo al número de bordes arriostrados; preferentemente la armadura principal será el refuerzo horizontal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Este trabajo de Tesis es una propuesta de Normas de Diseño Sismo-Resistente de Construcciones de Adobe, cuya finalidad fue la de mejorar y/o modificar las Normas vigentes de Adobe E-080 en algunos acápites; estableciendo recomendaciones tanto en el aspecto constructivo como en el de diseño.
2. Al analizar los resultados encontrados en el estudio de esfuerzos admisibles, se observa que la inclusión en el mortero de materiales tales como el cemento, la cal o el yeso (aglomerantes), mejoran notablemente la resistencia en compresión, la resistencia al corte y el módulo de elasticidad (mayor rigidez de las pilas).
3. Una ventaja adicional de la utilización de morteros superiores (arena con aglomerantes), es la posibilidad de confinar los muros con materiales dúctiles, de manera de incrementar la ductilidad general de las construcciones. En cambio, cuando se usan morteros Tipo II (barro con/sin aglomerantes), no se consigue

que los elementos confinantes trabajen monolíticamente con los muros.

4. En este trabajo se presenta un procedimiento simple de análisis sismo-resistente de edificaciones de adobe de un piso, que consiste en una secuencia de verificaciones usando tablas, expresiones deducidas y recomendaciones.
5. Se concluye que las condiciones críticas de diseño para edificaciones de adobe de un piso son:
 - a) Fuerzas de tracción y compresión debido a momentos de volteo, cargas sísmicas verticales y cargas de gravedad.
 - b) Fuerzas sísmicas perpendiculares al plano del muro.
6. En zonas sísmicas debe considerarse una longitud de muros mínima en cada dirección. Para la zona sísmica 1, los muros con espesor mínimo de 0.40 m. satisfacen la condición de fuerza cortante en el plano del muro para edificaciones de un piso siempre y cuando el porcentaje de vanos no exceda el 25%.
7. En general la relación en planta de las edificaciones de adobe de un piso deben tender al valor de 1, y como máximo al valor de 2.
8. En general, para edificaciones de un piso, la fuerza de

compresión debida a las cargas de gravedad no es una condición crítica de diseño.

9. En general el espesor de todos los muros de la edificación debe ser el mismo.

10. La altura máxima de los muros exteriores debe ser de 3 m., especialmente en la zona sísmica 1. Por consiguiente en caso de techos inclinados se recomienda que sea a dos aguas.

11. De la comparación del análisis efectuado tanto por el método riguroso y el simplificado propuesto para edificaciones de adobe de un piso, 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 25% es un requisito indispensable para el uso de estos métodos.

12. Las conclusiones más importantes en este trabajo desde el punto de vista de la resistencia sísmica de la mampostería de adobe son:

a) El componente del suelo más importante es la arcilla, pues proporciona la resistencia. Desafortunadamente, también motiva la contracción del secado.

b) Es indispensable controlar la microfisuración del mortero debida a la contracción de secado.

c) La paja, y en menor grado la arena gruesa, son aditivos naturales eficientes para el control de la microfisuración de secado del mortero y el consiguiente mejoramiento de la calidad de la mampostería de adobe.

13. En lo referente a la altura máxima entre muros transversales, espesores mínimos, empleo de refuerzo de caña, etc. indicados en la propuesta de normas elaborada en la presente Tesis, se ha comprobado que el cumplimiento de estas especificaciones conduce a un comportamiento aceptable de las viviendas de adobe ante sismos severos. El refuerzo evita la falla más grave de las viviendas de adobe, que es la separación de los muros en las esquinas.

14. Si las dimensiones de los muros cumplen las especificaciones de las normas propuestas y se utilizan vigas soleras y refuerzo de caña, la falla por flexión de los muros es controlada, y por lo tanto, el diseño de las viviendas de adobe consistirá básicamente en verificar que los esfuerzos cortantes en los muros paralelos a la dirección de análisis, no sobrepasen los valores admisibles estudiados.

15. Los adobes no requieren tener una elevada resistencia a la compresión. Los adobes hechos en forma tradicional

son adecuados siempre y cuando sean de calidad aceptable, lo que implica que sean manipulables, de tamaño uniforme y estén libres de rajaduras. Con el fin de prevenir el agrietamiento de los adobes, se recomienda agregar una pequeña cantidad de paja al barro, y si fuera necesario, secarlos a la sombra.

16. Se recomienda que las vigas del techo deben fijarse firmemente a la viga solera.

17. Se recomienda que la cimentación sea de concreto ciclópeo, con el fin de proteger al muro de la lluvia y la humedad, y evitar asentamientos diferenciales. Asimismo, utilizar un sobrecimiento que eleve al muro sobre el nivel del suelo.

18. En la técnica de construcción tradicional es común que el mortero de barro se fisure debido a la contracción por secado. En consecuencia, las viviendas tradicionales de adobe tienen poca rigidez y resistencia. Aun ante sismos de mediana intensidad, el daño que se produce es importante.

19. La mejora de los materiales, técnicas constructivas, calidad de la mano de obra, etc., incrementa la resistencia y rigidez de los muros antes de que ocurra el agrietamiento causado por un sismo severo. Sin embargo, luego que se agrietan los muros, estos

beneficios se pierden. Por lo tanto, no es suficiente mejorar la tecnología constructiva para las estructuras de adobe ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico.

20. Creemos que es importante realizar una tarea de divulgación y de asesoramiento técnico de las construcciones de adobe desarrolladas en varias instituciones del país, especialmente en la Universidad Nacional de Ingeniería, el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda 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 especialmente importante, si se tiene en cuenta la experiencia de sismos pasados, donde la mayoría de las fallas, se debieron a una deficiente estructuración, lo que evidencia la necesidad de difundir la tecnología adquirida.

21. Con la finalidad de reformular las ideas acerca de la difusión de la tecnología de la construcción y diseño en adobe, se recomiendan algunos métodos de difusión como por ejemplo:

a) Programas de radio y televisión, complementados con un sistema de consultas por correo.

- b) Cursos para albañiles (adoberos). Distribución de un folleto especializado. Institucionalización de algún tipo de diploma o certificado oficial de reconocimiento.
- c) Cursos comunales en escuelas para adultos, escuelas técnicas, asociaciones vecinales, etc.
- d) Distribución de folletos "populares" de divulgación, a través de instituciones gubernamentales, religiosas o educativas.

22. Parece que la difusión más efectiva podría hacerse en los lugares donde hubiere mayor potencial para la construcción. En particular, resultaría especialmente conveniente desarrollar programas educativos acelerados en las zonas de rehabilitación de desastres naturales.

REFERENCIAS

- (1) Estudio de la Industria de la Vivienda en el Perú, Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda, Lima, Perú, 1985.
- (2) Norma Técnica de Edificación E-080 Adobe. ININVI 1985.
- (3) Proyecto de Bloque Estabilizado. Roberto Morales M., Alejandro Sánchez O., Ricardo Yamashiro K.
- (4) Reglamento Nacional de Construcciones. Normas de Diseño Sismo Resistente.
- (5) Investigación en Adobe. Julio Vargas N., Gianfranco Ottazi P. III Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Cuzco
- (6) Influencia del tipo de mortero en el comportamiento de Muros de Adobe Sometidos a la Acción de Fuerzas Horizontales
M. Benites, Proyecto de Investigación.
Pontificia Universidad Católica del Perú, 1980.
- (7) Ensayos de Corte Directo en Adobe. Gianfranco Ottazi

P. Reporte Interno del Departamento de Ingeniería.
Pontificia Universidad Católica del Perú.

- (8) Investigación Comparativa del Adobe. Gianfranco Ottazi P., Julio Vargas N. IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Chiclayo.
- (9) Albañilería de Adobe con Variaciones de Mortero. Julio Vargas N. Departamento de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica.
- (10) Comportamiento de Elementos de Albañilería de Adobe en Ensayos de Corte. Gianfranco Ottazi P., Daniel Torrealva D. PUC.
- (11) Estudio del Suelo - Cemento y de la caña de Guayaquil - Parte 1, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1971.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Yamashiro, R., Sánchez, A., Morales R., "Diseño Sísmico de Construcciones de Adobe y Bloque Estabilizado" Primera Parte: Propuesta de Diseño de Construcciones de Adobe y Bloque Estabilizado. Dpto. de Estructuras y Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1975.
- 2) Morales R., Sánchez. A., Yamashiro, R., "Diseño Sísmico de Construcciones de Adobe y Bloque Estabilizado" - Segunda Parte: Un procedimiento de Diseño de Construcciones de Adobe. Dpto. de Estructuras y Construcción, Unversidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1975.
- 3) "Seismic Design for Buildings", Departments of The Army, the Navy, and the Air Force, Washington D.C., U.S.A., 1973.
- 4) Morales R., Torres R., Rengifo L., Irala C., "Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe", Dpto. de

Estructuras, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1985.

- 5) Irala C., "Structural Performance of Adobe Buildings", Bulletin of Internal Institute of Seismology and Earthquake Engineering B.R.I., Vol. 21 Tsukuba, Japan, 1985.
- 6) Morales R., Sánchez A., Morales O., Torres R., "Estudio Sísmico de Construcciones de Adobe de dos pisos", Anales del III Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Cuzco, 1980.
- 7) Vargas J., Bariola J., Blondet M., "Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe", Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Publicación DI 84-01, Abril 1984.
- 8) Blondet M., Vargas., "Investigación sobre Vivienda Rural", Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Ministerio de Vivienda, 1978.
- 9) "Adobe Estabilizado", Programa COBE, Oficina de Investigación y Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima 1977.
- 10) "Diseño Sísmico Experimental de Muros de Adobe", Tesis

de Grado UNI 1986. Carlos Irala C.

- 11) Vargas J., Heredia E., Bariola J., Mehta P.,
"Preservación de las construcciones de Adobe en áreas
lluviosas", Departamento de Ingeniería, Pontificia
Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 1986.
- 12) "La construcción con Tierra en el Perú", Revista el
Ingeniero Civil. Vol. No. 24.
- 13) Vargas J., "Construcciones de Adobe, bases para un
código Sismo-Resistente" PUC, 1980.