

4
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES - ACATLAN

PROPIEDADES DEL ADOBE Y SU APLICACION A
VIVIENDAS DE TIPO ECONOMICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:



JOSE LUIS BAUTISTA SANCHEZ.
RAFAEL MARTINEZ SALDIERNA.

11115 CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAG.
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	
1.1 Primeras construcciones de adobe	4
1.2 Uso del adobe en México	9
1.3 Uso del adobe en algunas partes del mundo	19
CAPITULO 2. SITUACION ACTUAL DE LA VIVIENDA	
2.1 Analisis socio-económico	21
2.1.1 Vivienda y población	22
2.1.2 Desarrollo económico y vivienda	24
2.2 Vivienda	25
2.2.1 Desarrollo de la vivienda (1970-1988)	25
2.2.2 Programa Nacional de Vivienda 1987	26
2.3 Déficit habitacional	26
CAPITULO 3. CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	
3.1 El suelo. Generalidades	29
3.2 Plasticidad de la tierra	30
3.2.1 Cohesión	33
3.2.2 Contracción volumétrica	34
3.2.3 Absorción	36
3.3 Pruebas de campo para la selección de la tierra	37
CAPITULO 4. ELABORACION DE LAS PIEZAS	
4.1 Adobe tradicional	49
4.2 Adobe estabilizado	55
4.2.1 Cemento	59

4.2.2 Cal	71
4.2.3 Asfalto	74
4.2.4 Otros	77

CAPITULO 5. PROPIEDADES MECANICAS DE LA MAMPOSTERIA DE ADOBE (ESTUDIO EXPERIMENTAL)

5.1 Información experimental existente	80
5.1.1 Resistencia a compresión de las piezas	80
5.1.2 Resistencia a compresión del mortero	81
5.1.3 Resistencia a compresión de la mampostería ..	82
5.1.4 Resistencia a la tensión diagonal	85
5.2 Estudio experimental	90
5.2.1 Especímenes	91
5.2.2 Descripción de los ensayos	92
5.2.3 Resultados	93
5.2.4 Modos de falla	94
5.2.5 Resistencia de la mampostería	94

CAPITULO 6. RECOMENDACIONES GENERALES

6.1 Condiciones de habitabilidad	95
6.1.1 Regionalización (vivienda-clima)	96
6.1.2 Características térmicas de la tierra	99
6.1.3 Procesos de radiación y conducción	100
6.1.4 Recomendaciones	101
6.2 Seguridad estructural	103
6.2.1 Comportamiento y deficiencias ante la acción del agua	103
6.2.2 Comportamiento y deficiencias ante fuerzas sísmicas	104
6.2.3 Recomendaciones de refuerzo	107

CAPITULO 7. ANALISIS SISMICO

7.1	Antecedentes	113
7.1.1	Origen de los sismos	114
7.1.2	Clasificación de los sismos	114
7.1.3	Conceptos importantes	118
7.2	Método simplificado para análisis sísmico de estructuras de adobe (Criterio de los esfuerzos permisibles)	120
7.2.1	Ecuaciones de cortante y momento flexionante máximos	121
7.3	Diseño mediante relaciones geométricas	124
7.4	Criterio de la resistencia	125

CAPITULO 8. PROYECTO DE VIVIENDA

8.1	Aspectos constructivos	127
8.1.1	Cimentación	127
8.1.2	Muros	129
8.1.3	Viga-cadena	130
8.1.4	Cubierta	130
8.1.5	Consideraciones generales	132
8.2	Diseño de los elementos estructurales	134
8.2.1	Vivienda con muros de tabique rojo recocido	136
8.2.2	Vivienda con muros de adobe estabilizado	139
8.2.3	Vivienda con muros de adobe normal	142
8.3	Revisión por sismo	143
8.3.1	Diseño sísmico para la vivienda con muros de tabique rojo recocido	143
8.3.2	Diseño sísmico para la vivienda con muros de adobe estabilizado	145
8.3.3	Diseño sísmico para la vivienda con muros de adobe normal	151

CAPITULO 9. COMPARACION ECONOMICA

9.1	Costo de la vivienda de tabique recocido	160
9.2	Costo de la vivienda de adobe estabilizado ..	171
9.3	Costo de la vivienda de adobe normal	179
9.4	Resultado	186
	CONCLUSIONES	188
	BIBLIOGRAFIA	192
	ANEXO DE FIGURAS Y TABLAS	

INTRODUCCION

Uno de los principales problemas en nuestro país y en muchos otros, es sin duda, el que se refleja en gran parte de su población: el de habitar en viviendas inadecuadas e insuficientes. No solamente deben brindar albergue a sus moradores, sino que deben ofrecerles un ámbito propio para su bienestar espiritual, mejor unión con la familia y estímulo para su propia situación.

Desde hace miles de años, el hombre ha utilizado la tierra como material de construcción, sin embargo, es innegable que por diversas causas, tales como la falta de una orientación adecuada, la influencia perniciosa de los comerciantes de la construcción y la aparición de materiales industrializados y a su facilidad de ejecución, en los centros de población rural, nació un afán de imitación hacia las construcciones de la ciudad, dando como resultado una construcción híbrida, en la que se han perdido el espíritu y la propiedad de estilo que son tradicionales en la arquitectura de cada región.

Actualmente, los materiales industrializados son muy caros y la necesidad de casas habitación cada vez mayor. Afortunadamente a renacido el interés por la edificación con tierra, debido a que sus cualidades: térmicas, acústicas y principalmente su bajo costo de construcción, son parámetros que pueden ser determinantes al compararlos con materiales convencionales como el concreto, el acero, el tabique recocido, etc.

Existen diversos métodos de construcción con tierra propios de cada región, entre ellos están: el adobe, el apisonado, el

bajareque y el aglomerado. La primera de estas técnicas es la de uso más frecuente en México, debido a ello, este trabajo se enfoca al adobe.

El adobe es un material que tiene la ventaja de ser muy económico, ya que para su producción hecha mano de los recursos locales: mano de obra y materia prima. No obstante, existen desventajas que limitan el uso del adobe en construcciones de más de un nivel, estas desventajas son: su baja resistencia a fuerzas sísmicas y a la acción del agua.

La finalidad de este trabajo consiste en dar a conocer las ventajas de la tierra con fines constructivos, y con ello, motivar que su uso se retome entre la gente de bajos recursos económicos.

En primer lugar, se comentan las técnicas constructivas usadas en las primeras edificaciones de tierra. La composición granulométrica de la tierra juega un papel determinante en el comportamiento mecánico de la mampostería de adobe. Es por ello que se mencionan algunos ensayos de campo fáciles de realizar, que definen si la tierra ensayada es adecuada o no para la fabricación de las piezas. Se señalan diferentes procedimientos para estabilizar un suelo, en el caso de que la tierra ensayada sea inadecuada.

Las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe es uno de los temas más importantes que se trata en esta tesis. Se presentan los resultados obtenidos en el estudio experimental realizado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Además, se indican los criterios generales que se utilizan

actualmente para la revisión de la seguridad de construcciones de adobe de un nivel.

En base a pruebas y a la experiencia obtenida en muchos años, se han observado e identificado las deficiencias de las construcciones de tierra, por lo que se dan algunas recomendaciones para mejorar el comportamiento estructural de éstas.

Finalmente, se hace un análisis de costos de los materiales empleados en tres tipos de viviendas para hacer la comparación económica:

- a) Vivienda con muros de tabique recocido
- b) Vivienda con muros de adobe estabilizado
- c) Vivienda con muros de adobe normal

CAPITULO I ANTECEDENTES

1.1 PRIMERAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Entre las grandes preocupaciones del hombre desde su aparición en la faz de la tierra, se encuentra el de dar solución adecuada a la necesidad de tener un lugar que le de protección y cobijo contra las inclemencias del tiempo. La primera solución que se tuvo fue la de quedarse en cavernas, después de esta etapa, existen evidencias de que a finales del periodo neolítico se empleaban bloques de tierra secados al sol para la construcción de sus viviendas, sobre todo en zonas donde la vegetación era escasa y donde no había formaciones rocosas que les pudieran servir de protección; por lo que el único material a su alcance en forma abundante era la tierra.

Las primeras ciudades sobre la superficie terrestre de las cuales se tiene conocimiento se construyeron con tierra, se ubicaron en el reino de Sumeria, Baja Mesopotamia en las cercanías del Tigris. Entre las más famosas ruinas, están las de una ciudad llamada Uruk (Uruk) donde se estableció la cultura Elamita durante más de diez siglos, aproximadamente se inició en el año 3400 antes de Cristo, al sudeste de Irán (zona montañosa), actualmente forman un promontorio de 18 m de altura y 180 m de diámetro.

La civilización Caldea, construyó monumentos con arcilla. Un ejemplo digno de mencionar es la gran muralla China, en donde la tierra se utilizó en gran escala con fines constructivos a través de la historia de ese país; como en su región noroeste, en donde

los chinos recogen un polvo amarillento (arrastrado por el viento de los desiertos cercanos), que en mezcla y compacto parece cemento. El polvo está formado por partículas de tierra o arena llamado "loess". Desde la época neolítica usaban este material rellenando moldes de madera, apisonándolo y al decimbrarlo, queda una pared muy resistente.

La tierra también se usó en algunas partes de la India y el Continente Asiático.

En Pakistán se han descubierto las ruinas de un edificio construido con tierra de una antigüedad de unos tres mil años.

En el valle de Mesopotamia (Babilonia), debido a la escasez de piedra natural, solo se empleó como material de construcción el adobe; es importante mencionar que el adobe estaba hecho de una mezcla de asfalto natural con tierra para mejorar la resistencia al intemperismo, esta mezcla también se utilizaba en los cimientos. Las plantas de las ruinas muestran diversas formas, entre las que se encuentran: la elíptica (ruina de Nínive) y la circular; entre los métodos de edificación usados con mayor frecuencia está el de trama repellada o bajareque. El método apisonado era usado en los muros exteriores de fortificaciones, eran cubiertos por algo parecido a clavos hechos de arcilla cocida con cabeza plana y ancha, para protegerlos de la humedad. En otros casos, se revestían con lajas de piedra, ladrillos de arcilla cocida y azulejos vidriados.

En lo que respecta al espesor de los muros, estos iban de 3 a 6 m para las grandes construcciones (edificios); para las viviendas y de otro tipo, eran en promedio de 0,5X0,4X0,12 m. En

Persia utilizaron el método del anisonado, aunque también hacían bloques de 0.35x0.35 m con un grosor de 12 a 17 cm, secados al sol y unidos con mortero de la misma tierra.

Por ejemplo, en Asiria las paredes se construían con bloques de tierra húmeda, sin mortero; no obstante, se mostraban resistentes después de secarse; de la región aprovechaban el asfalto natural en los recubrimientos impermeabilizantes.

El palacio de Sargón, estaba construido con paredes de tierra anisonada de 14 m de altura, contaba con 210 salones y 30 patios, para esto se utilizó 1.3 millones de metros cúbicos de tierra y grandes cantidades de piedra.

La tierra no solo sirvió para construir muros, sino que se empleó para los techos, se pueden mencionar dos tipos de procedimientos: el primero consistía en poner sobre vigas de madera cañas o ramas de árboles, una mezcla de tierra con agua y asfalto natural como impermeabilizante (entortado de barro), el segundo tipo de cubierta tiene forma de cúpula, está hecha de tierra protegida por una capa impermeable.

En el antiguo Egipto, el adobe se empleó en gran escala; debido a la gran aceptación de la construcción con tierra, pasaron de las plantas elípticas a las estructuras hechas a base de bloques rectangulares. Se debe hacer mención que a Egipto se atribuye el hecho de usar por primera vez las piezas de adobe para la construcción de arcos.

Hubo otros materiales como la piedra y la madera, que fueron empleados paralelamente al uso de la tierra, sin embargo, por su alto costo se destinaban para edificios religiosos y otras

estructuras; mientras que la tierra era para fortificaciones y viviendas ordinarias.

En Grecia, se usó el adobe básicamente en viviendas populares. Como excepción, cabe mencionar el templo el Peristilo, en el cual la estructura principal del techo se prolongó hasta después de los muros, descansando sobre unos pilares; de esta manera se formó una terraza alrededor del edificio, protegiendo los muros de las lluvias.

El método de construcción con tierra se fue introduciendo paulatinamente en el norte de África y el suroccidente de Asia. De la misma manera en que se transmitió de la antigua Grecia a la antigua Roma en donde se observaban columnas revestidas con yeso aunque la edificación con tierra se realizó en los suburbios por falta de espacio en la ciudad.

Durante la segunda guerra púnica en España, Aníbal mandó construir con tierra las torres de Atalaya.

Fueron los romanos los encargados de dar a conocer la técnica de construcción con tierra en el resto de Europa, en los territorios que actualmente se conocen con el nombre de Francia, Alemania e Inglaterra; a pesar de que el clima no es seco, se construyeron muchos edificios con tierra.

El método llamado bajareque fue muy empleado en Europa central, debido a la existencia de madera en la región.

Mientras tanto, en la época prehispánica en América, la tierra se utilizaba para la construcción de viviendas y para los centros ceremoniales, la madera y la piedra. Esto se puede observar en las ruinas de las culturas Inca, Maya y Azteca.

En 1906, los conquistadores levantaron el palacio de los gobernantes (uno de los primeros) en Sta. Fe, Nuevo México.

En los países que más se utilizó fué en México y Perú, extendiéndose después a las regiones secas del sudoeste de Norteamérica. Las construcciones que se hacían antes de la llegada de los españoles hechas a base de tierra, piedra y madera, sufrieron variaciones debido a la influencia de los europeos: la piedra se dejó de utilizar en las viviendas (en las pocas ocasiones en que se hacía), y las técnicas de adobe y tapial cambiaron: apareció la quincha, una construcción a base de madera, barro y caña, de buen comportamiento sísmico. Esta nueva técnica se impuso en Perú, mediante dispositivos legales para los segundos pisos, después de los terremotos de los siglos XVII y XVIII.

Para el año de 1806 se publica en los E.U.A., un libro que trata sobre la construcción con tierra de apisonados para edificios de granjas, hecho que motivó a emplear el método en varias edificaciones como la iglesia de la Santa Cruz en Nebraska, el Fuente Niobara, etc.

También en Francia y Alemania se toma en cuenta la construcción con tierra como tema de interés en algunos capítulos de libros de texto. Existen en Alemania varios edificios hechos de tierra; mientras que en Francia, durante los siglos XVIII y XIX, se usó extensamente el método apisonado.

Después de un gran incendio que devastó parte de Moscú a principios del siglo XVIII, se hizo necesaria la prohibición del uso de la madera, dando paso a la tierra como principal material

para las paredes. En el año de 1790 se estableció en Nikolsk, distrito de Iversk, una escuela especial para enseñar los métodos de construcción con tierra. En el siglo XIX, estos métodos se pusieron en práctica y se difundieron por toda Rusia, en especial, en las zonas donde el clima era cálido y seco (con madera escasa).

1.2 USO DEL ADOBE EN MEXICO

Existen pocos vestigios de lo que fue la vivienda de los pueblos prehispánicos, esto se debe al tipo de organización social, religiosa y política que tenían; donde era primordial para ellos la vida ritual, ceremonial y pública. Como consecuencia de ésto, los edificios de mayor importancia eran los destinados a altares, centros ceremoniales y tumbas. Estos eran construidos con piedra y mampostería, es por ello que han llegado hasta nuestros días. Del mismo material se edificaban los palacios donde habitaban los sacerdotes-caciques, clase dominante de esa época. En cambio, la vivienda popular era construida generalmente con maderas y vegetales, que como materia orgánica rápidamente entraba en descomposición.

Importantes descubrimientos arqueológicos, han dado una idea aproximada del tipo de vivienda de los antiguos pueblos; así como los conocimientos que aportan los indígenas actuales que aun construyen conforme a su tradición, como en algunas partes de Yucatán, Oaxaca, Veracruz y del Valle de México.

El adobe fue muy usado por los aborígenes y por los españoles, quienes a su vez lo adoptaron de los árabes; se empleó principalmente en las construcciones de menor importancia, aunque

en ocasiones se usaba en grandes edificios, como por ejemplo, el templo de la orden tercera en Patzcuaro que tenía alrededor de 18 m de altura; también, la primitiva catedral de Guadalajara se construyó con adobe.

Para llevar un orden se describirá la manera de construir sus viviendas de los distintos pueblos de México.

a) La vivienda preclásica y primitiva septentrional.

Las aldeas se construían, por lo general, en zonas lacustres, aprovechaban los recursos naturales del lago para cultivar. Levantaban sus casas con una estructura a base de varas entrelazadas (zarzo), cubiertas con arcilla y con techo de paja. En el noroeste de México (Sinaloa y Sonora), las plantas de las viviendas eran redondas con paredes inclinadas dándole forma cónica y con una abertura en el vértice del cono por donde salía el humo del hogar. El diámetro de estas casas era de 12 m aproximadamente. Un conjunto de edificios de esta clase formaban a la población.

En el sudoeste de los Estados Unidos de Norteamérica y noroeste de México, después de las casas de planta circular, aparecen una especie de "casas largas", cuya planta arquitectónica estaba formada por una doble cruz con habitaciones a los lados y un pasillo al centro. Al principio eran unifamiliares de tres hasta seis pisos. El material que se usaba para la edificación, era adobe en muros, con entrepisos y techos de madera con una mezcla de paja y barro.

b) La vivienda Teotihuacana.

Los teotihuacanos construyeron grandes edificios de vivienda

comunal, formados por cincuenta o sesenta habitaciones, hechas con adobe o pedacera de piedra o tabique, con recubrimientos de yeso. Entre los detalles constructivos que sobresalen están: reforzar muros y columnas con madera; usar techos planos, donde gruesas vigas de madera sostienen una hilera de palos redondos y sobre los cuales son atravesados carrizos delgados. En las azoteas se coloca una capa de tierra con pendiente pluvial y como recubrimiento un entonado de mezcla (polvo de tezontle y cal). Los muros de las habitaciones, con frecuencia, llevan en su parte inferior refuerzos en talud, a manera de contrafuertes. Los edificios se sostienen sobre cimientos muy firmes; los pisos y muros son recubiertos con un mortero hecho a base de polvo de tezontle y cal.

c) La vivienda Tolteca.

La planta de las casas de los toltecas estaba formada por una disposición ortogonal en planta de sus muros y techos planos. El material que utilizaban para la construcción de sus edificios eran la cal y canto, y piedras de cantera de tezontle. Un detalle interesante desde el punto de vista arquitectónico, son los pilares y atlantes del templo de Tlahuizcalpantecuhlli (Tula). Los atlantes son columnas esculpidas que, al igual que los pilares rectangulares, soportan las vigas del techo. Además constituyen una aportación en el campo de la prefabricación, ya que están formados cada uno de ellos por cuatro trozos de piedra que se ajustan y embonan perfectamente entre sí. La altura total de estas columnas es de 4.65 metros.

d) La vivienda Azteca.

Las primeras casas-habitación de los aztecas, eran chozas con techumbre de paja, muros hechos de zarzo (varas entrelazadas) cubierto con lodo y su cimentación eran las chinampas.

Las chinampas eran una especie de islas artificiales, fabricadas con lodo, que se recogía de los bordes pantanosos de los lagos del Valle de México, consolidadas con carrizo y tule primero, y después con árboles cuyas raíces las liaban al suelo; inicialmente estaban destinadas al cultivo, pero como la población crecía, se fueron adoptando como cimentación.

Las casas de los nobles y de las nobles más acaudaladas las edificaban con carrizos, de adobe o piedra y lodo; con techo de paja o de hojas de maquey a manera de tejas; la estructura principal estaba sostenida por un tronco de árbol, estaban cimentadas sobre estacas, debido a lo fangoso del terreno de la ciudad de México.

Las viviendas de los señores eran de piedra, generalmente de dos pisos y techos de terrado con vigas de madera.

e) La vivienda Maya.

Aunque no se tienen muchos indicios de sus procedimientos constructivos, se sabe que actualmente continúan viviendo de acuerdo a su tradición; habitan en chozas de planta ovalada, con muros de zarzo cubiertos de arcilla y techos de paja o de hoja de palmera a dos aguas. Cada casa tiene jardín, rodeado de una barda de piedra. La cocina la ubican al aire libre, bajo la sombra de una palmera. Su cimentación consistía en asentar los postes de madera en agujeros excavados.

Es notoria la sustitución de un material por otro. del uso de la madera y materia putrescible, pasan al uso de la piedra y el mortero, conservándose las características fundamentales de la choza campesina.

El aspecto más interesante de las viviendas de los antiguos pueblos, es precisamente sus procedimientos constructivos. Estos son similares en varias regiones, aunque se usen diferentes materiales (están en función de las condiciones climáticas y que se encuentren en la localidad), se pueden generalizar los elementos constructivos: apoyos, cimentación, paredes y techos.

Apoyos. La columna no era utilizada en la vivienda indígena, solo en los casos en que se necesitaba soportar un portal techo o tabanco; se usaban elementos de madera, sin labrar, la mayoría de las veces troncos descortezados. Cuando las paredes de la casa eran de piedra o adobe, las vigas o estructura de la cubierta se apoyaban directamente sobre éstas; pero si la construcción era en su totalidad de materiales vegetales, los apoyos del techo consistían en troncos o ramas robustas más o menos derechos, de diámetro entre 10 y 20 cms. llamados "horcones". Algunas veces el extremo superior terminado en dos pequeños troncos en dirección divergente en forma de V. Eran colocados en cada uno de los cuatro ángulos de la casa, y dos más altos para sostener el caballete del techo. Los horcones son de uso generalizado y se puede considerar que son los más elementales y primitivos apoyos para sustentar la estructura de la vivienda aborigen.

Cimientos. Aproximadamente el 90% de las casas de los aborígenes carecía de cimientos, en especial las que estaban

fabricadas con materiales vegetales. Cuando eran de piedra o adobe, solo ocasionalmente se les construía ciementos, pues las paredes se desplantaban sobre el nivel del suelo. En algunos lugares sus técnicas constructivas evolucionaron, se hacía una zanja, se rellenaba de piedras y sobre esta se levantaba el ciemento con un ancho de acuerdo al material usado en los muros. Las piedras se pegaban con lodo o mortero de cal, a veces simplemente se acomodaban.

Paredes. Las paredes de las viviendas aborígenes son muy variadas por el gran número de materiales disponibles, en particular, los de procedencia vegetal. Sin embargo, el material más usado en todos los pueblos de México es la tierra.

La piedra era poco aprovechada por los aborígenes en sus viviendas, en parte por falta de materiales aglutinantes o bien carecer de experiencia en albañilería. En las ocasiones en que la usaban colocaban una piedra sobre otra, sin una mezcla que les sirviese de unión, a este método le llaman "tecorral".

En los lugares donde se encuentran capas de tepalcates (Yucatán), caliche, canteras suaves y piedras areniscas, se cortan bloques para formar las paredes de la vivienda. Estos bloques se acomodan unos encima de otros, adheridos por medio de mezcla o simple lodo.

Existen diversos métodos constructivos para levantar un muro con materiales vegetales, entre los que están pared de varas, de troncos, de carrizo, de paja, de palma, de ramazón, de pencas de maguey, de cactus, de otate y de bajareque.

Techos. En la mayoría de los casos este problema era resuelto con el empleo de vegetales. Por lo que no es de extrañarse la existencia de un gran número de métodos que son resultado de muchos años de experiencia, del uso inteligente de los materiales regionales, conformándose a las condiciones físicas del lugar.

En general los techos eran de dos y cuatro aguas, debido a que la mayoría de la población habitaba en las costas y donde las lluvias son muy fuertes.

El elemento estructural, que es la arazón de la estructura que sostiene el elemento protector (cubierta), varía de una región a otra. En la figura 1.1 se muestra una de las estructuras más comunes: muntales, soleras, contrasoleras, tijeras y caballete.

En zonas donde el clima es caluroso, un detalle característico es la elevación del caballete, con el objeto de que el calor irritado a través del techo no acobie a sus habitantes.

El acabado de los techos era primordialmente de zacate, de paja y de palma, por encontrarse en mayor abundancia. También lo hacían de ramas, de plantas cactáceas, de tejami (tablas de madera delgada de aproximadamente un metro de longitud, 12 a 18 cms de ancho y de 2 a 3 cms de espesor), de terrado, sistema llamado canas (secciones de troncos cortados longitudinalmente), y de teja.

f) La vivienda Colonial.

A los soldados españoles se les dio como recompensa,

terrenos para que construyeran sus casas, les proporcionaban indígenas para que no les costara la mano de obra y como tampoco pagaban los materiales, las levantaban a base de piedra.

Conforme avanza el siglo XVI y se pasa de la conquista a la colonia, las necesidades de vivienda se incrementan, las obras de adobe se sustituyeron por mampostería, también se cambia el tipo de cubierta hecha de techados permeables por una impermeable hecha con vigas, tierra y enladrillado. Como el terreno de la ciudad de México era muy fangoso y propenso a los sismos, se intentó retomar el uso de las chinampas como cimentación, con muy malos resultados.

Los edificios civiles en planta eran muy grandes, de uno o dos pisos como precaución ante los temblores; y de paredes muy anchas, como protección ante posibles ataques de los indígenas y como aislante térmico.

Para el siglo XVII, el hermetismo que mantenían los colonizadores cede un poco, y para el siglo XVIII se olvidan por completo de ello (se manifestaba en portones macizos, claraboyas, ventanas chicas y muy espaciadas), debido a la confianza social y prosperidad. En el siglo XVIII no hubo nada relevante en cuanto a las formas o materiales de construcción.

Para el siglo XIX, el único acontecimiento notable, aunque negativo, es el hecho de que hubo un estancamiento en la creatividad en el campo de la arquitectura.

A principios del siglo XX se aprovechaban mejor los espacios disponibles en cada vivienda. En 1925, debido al desarrollo del país y a la consecuente concentración de la población, aumenta la

demanda de casas habitación.

La iniciativa privada construye por todos los rumbos fraccionamientos con un gran número de viviendas unifamiliares y edificios de apartamentos para renta.

Por su parte, el Estado toma una mayor participación en la resolución del problema habitacional creando organismos para ayudar a las clases más necesitadas. Entre ellos se pueden mencionar el ISYSTE, IMSS, INDECO y el INFONAVIT.

Se han tenido algunas experiencias en el uso del adobe estabilizado. Hace algunos años al llevar a cabo el Programa de Mejoramiento Sanitario de la Vivienda y Espacios Públicos, se probaron los sistemas constructivos con ese material y con la participación organizada de la comunidad. Se remodelaron varias poblaciones. En los Estados de Durango, Coahuila y Chihuahua se tenía el problema de reubicar esas poblaciones, debido a que habían sufrido inundaciones o sismos por lo que se buscaba reducir los costos de vivienda, equipamiento y servicios, para cubrir todas las demandas urgentes que en ese momento se presentaban.

En esos Estados, el método de edificación con adobe era tradicional; sin embargo, después se le consideró como símbolo de pobreza y mala calidad. No obstante, se volvió a utilizar y hubo una revaloración de ese material al construirse unas cuatrocientas casas, escuelas, centros comunitarios, etc. Esto permitió comprobar las ventajas del adobe estabilizado con asfaltos en contra del adobe común. Así, se pudieron edificar casas bioclimatizadas en el desierto del Valle de Juárez, en los

suburbios de Gómez Palacio y en los poblados de la Laguna de Coahuila. Como techumbre se empleo el método tradicional de bóveda de ladrillo. La aceptación de la comunidad, su apoyo, el uso del material local y la fabricación en el mismo sitio logaron disminuir el costo de la vivienda hasta en un 45% dejando además, una gran enseñanza a los pobladores de capacidad en autoconstrucción.

Se tiene otro caso en el cual el Gobierno del Estado de Michoacán, en administraciones pasadas decidió crear una experiencia que consistía en lo siguiente: construir un conjunto de casas-habitación unifamiliares con todos los servicios, con un costo equivalente a una vivienda popular tradicional y que se hiciera con tecnología tradicional. La edificación fue de un total de 180 viviendas de una planta con tres habitaciones: cocina, baño, patio de servicio y un total de 50 metros cuadrados de construcción, con cimientos de mampostería, muros de adobe estabilizado y cubierta de bóveda de ladrillo sobre viguetas de concreto armado reforzado.

El bajo costo obtenido logró que la demanda fuera diez veces mayor a la oferta, además de que el tiempo de construcción disminuyó considerablemente.

En fecha más reciente, en los primeros meses de 1989, en el Estado de Zacatecas se construyeron casas de adobe a base de tierra estabilizada y comprimida (zablock).

El costo de una vivienda tradicional sobre una superficie de 63 metros cuadrados era de 19 millones 700 mil pesos, en cambio, con el empleo del zablock el costo de la construcción fue de 11

millones 820 mil pesos, que representan un 40% menos.

En conclusión, la tecnología de construcción con tierra, ya sea el adobe tradicional o el adobe estabilizado, representan una opción viable para la autosuficiencia en el desarrollo de comunidades rurales y urbanas.

1.3 USO DE ADOBE EN ALGUNAS PARTES DEL MUNDO

Desde el comienzo del siglo XX, los países con alto crecimiento demográfico como Rusia, China, India y África del Sur, se han esforzado por encontrar un tipo de vivienda que satisficiera la creciente demanda, el principal objetivo que se busca es abatir los costos de construcción de habitaciones, y que mejor que la tierra como material de edificación; por su abundancia hace que no sea factible tomarla como mercancía ni monopolizarla.

Sin embargo, no solo las naciones con problemas demográficos han buscado reducir el costo de edificación de viviendas enfocando a la población de bajo poder adquisitivo, la principal autoridad australiana propuso la alternativa de construir con adobe (en 1993), recibiendo una entusiasta respuesta por parte de los compradores de casas. El Ministerio de Vivienda del Estado de Victoria inicialmente planeó hacer 60 casas autoconstruidas para una demanda de 217 solicitantes. Este proyecto se ideó para las personas de bajos ingresos que estuvieran dispuestos a pagar con trabajo en lugar del depósito en efectivo que normalmente se requiere para la compra de una casa. Esto significaba que el comprador fabricaba y colocaba las piezas de tierra, con las que formaba los muros de su futura habitación, después de que un

arquitecto le hubiera construido los aovos de madera y el techo.

El empleo del adobe en Australia se retomó después de la segunda guerra mundial, principalmente en el condado de Eltham, en las afueras de Melbourne.

Por otra parte, a mediados de 1986, las estadísticas mostraron que un tercio de la humanidad (1500 millones de seres) vivían, se alojaban o simplemente se protegían de la intemperie mediante construcciones de tierra. Esta situación motiva a que los países se interesen por investigar sobre las propiedades de la tierra para la construcción.

La tierra es un material importante en América Latina, en Nuevo México (E.U.A.), en África y en todo el mundo prueba de ello es que en muchas partes se está investigando sobre el tema.

La tierra como material de construcción sigue siendo una alternativa que tiene muchas probabilidades de dar buenos resultados a millones de personas sin ningún tipo de cobijo o vivienda en condiciones miserables. La oferta oficial que en ese año (1986) dio Naciones Unidas de casas-habitación fabricadas con tierra fue de 540,000 por año, en los países en vías de desarrollo, distribuidas de la siguiente manera: 200,000 en Latinoamérica, 200,000 en África y 100,000 en Asia.

Ante los materiales usados en la actualidad (concreto y acero), la tierra va tomando una participación cada vez más ventajosa con su costo igual a cero, mientras que aquellos continúan con su carrera ascendente, aun si se los estabiliza con algún aglomerante, su costo es bajo comparándola con los mencionados concreto y acero.

CAPITULO 2

SITUACION ACTUAL DE LA VIVIENDA

En México existe un gran desequilibrio entre el desarrollo económico, el crecimiento de la población y los flujos migratorios de la sociedad rural a la urbana, que han dado lugar a una inadecuada distribución de la población en el territorio nacional.

La desigual ocupación del territorio y el mal control del crecimiento de la población influyen en el desarrollo del país, ya que cuando la población rebasa el desarrollo económico, también se supera la capacidad gubernamental para satisfacer las necesidades colectivas de empleo, vivienda, salud y educación.

Debido a que el problema de la vivienda no constituye un hecho aislado en sí, sino que es el resultado de otros hechos (económicos, sociales y culturales), en este capítulo se presenta un estudio sobre los factores que influyen en el problema de la vivienda.

2.1 ANALISIS SOCIO-ECONOMICO

2.1.1 Vivienda y población.

El problema de la vivienda después de la revolución, se definía como un desequilibrio entre el tamaño del territorio que se veía vasto, y el de la población, que se veía escasa. La política demográfica que se proponía en la Ley General de Población de 1937, era precisamente el aumento de la población. Hasta esa década los incrementos de la población habían sido reducidos.

La segunda Ley General de Población expedida en 1937, conservó los rasgos fundamentales de la anterior, incluyendo el objetivo de incrementar la natalidad, pues se consideró que la estrategia de industrialización que emprendía el país en forma promisorio, requeriría de abundantes recursos humanos.

De 1950 a 1970 la población pasó de 26 a 48 millones, año en que la tasa de crecimiento anual alcanzó 3.4%, la más alta en la historia del país (tabla 2.1).

Ante esta situación, se cambió nuevamente la Ley General de Población, ya que el crecimiento de la población empezaba a rebasar las posibilidades del desarrollo nacional. Entre 1975 y 1980 se inició un descenso en el ritmo de crecimiento de población. La tasa de natalidad pasó de 43 nacimientos por cada 1000 habitantes a 37.6.

Posteriormente, el Consejo Nacional de Población presentó el Programa Nacional de Población 1984-1988, cuyos objetivos eran regular el ritmo de población buscando un mayor equilibrio entre su aumento y el desarrollo económico y social del país.

En 1988, se estimaba que el ritmo de crecimiento anual de la población era de 1.9%, la tasa bruta de natalidad se redujo a 27 por cada 1000 habitantes.

Con respecto a la relación entre la construcción de viviendas y el crecimiento de la población se tienen los siguientes datos:

Durante el periodo 1937-1970 en el que se tenía una política demográfica de incrementar la población, se dio gran apoyo a programas de salud, educación y vivienda. Sin embargo, a finales

de la década de los ochentas el crecimiento de la población amenazaba con superar al desarrollo del país (fig. 2.1). Esta figura da una idea vaga del crecimiento de la población y el desarrollo de la vivienda. Durante 1970 a 1988 el promedio persona-vivienda ha sido constante (5 a 6 persona-vivienda). Sin embargo, este indicador no da una idea clara ni precisa de las características de las viviendas.

La fig. 2.1 indica que para el año de 1988 se tiene un promedio de 5.26 persona-vivienda, mientras que la tabla 2.2 complementa la información, señalando que para ese mismo año, se tiene un total de 16 millones de viviendas, las cuales un 67% son de dos cuartos, en ellas habitan un 69% del total de la población (11,870,000 habitantes). Es decir, más de la mitad de la población tiene viviendas de dos cuartos en las cuales habitan tres personas (aproximadamente en cada cuarto).

En cuanto a disponibilidad de servicios en la vivienda, se tiene que:

- Agua entubada
 - Disponen del servicio 79%
 - No disponen del servicio 21%
- Drenaje
 - Con drenaje 59%
 - Sin drenaje 41%

Por otro lado, existe un gran número de personas que no cuentan con casa propia (32% de la población), por lo que es necesario abatir los costos de construcción, y así lograr que estas personas tengan más posibilidades de adquirir su vivienda.

2.1.2 Desarrollo económico y vivienda.

A fines de 1987, la situación de la economía del país era grave ya que se tenían que resolver innumerables problemas por los cuales cruzaba el gobierno de México: la crisis económica internacional, el desplome de los precios del petróleo, el peso de la deuda externa, los riesgos de 1985 y el alarmante aceleramiento de la inflación hacia finales de 1987.

Ante esta situación el gobierno optó por un modelo de desarrollo orientado a cambiar de fondo las estructuras económicas, a fin de sentar bases sólidas para un crecimiento estable, cuyos resultados se harían patentes en el mediano y largo plazo. Esto tuvo un alto costo para el país. La austeridad en el gasto público, el desempleo y la inflación castigaron el poder adquisitivo de la mayoría de la población.

Por otro lado, la crisis económica también afectó la construcción de viviendas. Las instituciones especializadas en la vivienda, como el INFONAVIT y la Banca Comercial disminuyeron su apoyo a la construcción, pues ésta se había vuelto cada vez más problemática. Según datos del Banco de México, publicados en febrero de 1987, los costos de vivienda de interés social habían registrado altas de 5,110% si se tomaba como base los costos de 1974. Sin embargo, a principios de la década de los ochentas la mayoría de las instituciones financieras todavía seguían aplicando una política crediticia que se había diseñado en épocas de poca o nula inflación: en el momento de otorgar un crédito, se establecían los plazos en los cuales el beneficiario debería pagar el préstamo, los montos del capital que se cubrirían en

cada pago y la tasa de interés que se aplicaría. Conforme aumentaba la inflación, el valor nominal de las cantidades que se cubrían en cada plazo iba perdiendo terreno ante su valor real: las instituciones financieras recuperaban solo una fracción de lo que habían prestado, y se estaban descapitalizando.

Para poder resolver este problema, el INFONAVIT ha establecido un nuevo sistema de amortización que consiste en expresar en múltiplos de salario mínimo tanto el monto del crédito como los pagos correspondientes, para recuperar la inversión.

De ahora en adelante, el importe de los créditos que otorgue el instituto, se traduce a su equivalente en un número de veces el salario mínimo vigente, lo cual representa el adeudo con la institución. De este modo se garantizó que hubiera una recuperación crediticia que seguiera operando con subsidios, pero que evitará la descapitalización de los organismos públicos de vivienda.

2.2 VIVIENDA

2.2.1 Desarrollo de la vivienda (1970-1988).

La crisis económica que afectó al país en el año de 1982, repercutió gravemente en la industria de la construcción, tradicionalmente empleadora de la mano de obra. En épocas más favorables, buena parte de la inversión del sector privado, así como de los créditos del sistema bancario, se destinaban a esta industria. Pero en la década de los ochentas, la construcción había dejado de ser atractiva para los inversionistas por el alto costo de los insumos, la carestía de los créditos y el bajo poder

adquisitivo de la mayoría de la población. Por ello, el gobierno mexicano dio prioridad a la construcción de viviendas. Así, a finales de 1986, se habían realizado, entre diversas instituciones relacionadas con la vivienda, acciones que beneficiaron a más de 900,000 familias. A ellas se sumaron los resultados de los programas de reconstrucción iniciados después de los sismos de 1985, que atendieron a 90,000 familias.

De esta manera, si a los resultados de los programas normales de vivienda efectuados entre 1983 y 1986 se agregan los logros de los programas de reconstrucción y el Programa de vivienda 1987, se obtiene un total de 1,416,607 unidades de vivienda.

2.2.2 Programa Nacional de Vivienda 1987.

En 1987 se implantó el programa más ambicioso en este campo que se hubiera emprendido en el país. Con una inversión de 2.4 billones de pesos, provenientes en un 90% de recursos internos, en ese año se llevaron a cabo acciones para apoyar la construcción y mejoramiento en un poco más de 500,000 hogares.

El objetivo principal del programa fue descentralizar las actividades del país y fomentar el arraigo de las familias en aquellas ciudades medias que registraban el mayor déficit habitacional.

2.3 DEFICIT HABITACIONAL

Según datos de la SEMUE, se podía suponer que hacia finales de 1987 se habían construido o rehabilitado con recursos públicos y de particulares un total de 700,000 viviendas en el país que cubrirían la demanda anual de 500,000 unidades y

disminuirían cerca de 400,000 el déficit acumulado durante años.

Se calculaba que el déficit de vivienda, acumulada durante décadas alcanzaba en 1987 una cifra cercana a los 5 millones, esta cifra incluye las unidades rehabilitadas.

Las estimaciones de los organismos especializados indican que para el año 2,000 el déficit habitacional en México se acercara a 6 millones.

El Plan Nacional de desarrollo del gobierno contempla la solución del problema mediante un esfuerzo de promoción importante. En las líneas generales de acción los objetivos que se persiguen son las de impulsar la autoconstrucción, a través de la participación organizada de la comunidad, así como la creación de cooperativas de vivienda y de materiales de construcción.

El mismo Plan de desarrollo promueve el fomento de tecnologías y sistemas de construcción adecuados, social y regionalmente. También toca la necesidad de replantearse los sistemas de financiamiento, a fin de ampliar la cobertura y de que se capalicen un mayor número de viviendas hacia los sectores más desprotegidos.

CAPITULO 3

CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

INTRODUCCION

La seguridad estructural y durabilidad de una construcción de adobe, depende tanto de la calidad del suelo que se utiliza en la elaboración de las piezas, como al tipo de cargas a las que estará sujeta.

En este capítulo se estudiarán las características del suelo que influyen en la estabilidad y durabilidad de las viviendas de adobe. Al final del capítulo se mencionaran algunas pruebas de campo fáciles de realizar, que permitirán seleccionar el suelo adecuado para la fabricación de adobe.

Con respecto al comportamiento de la estructura ante las cargas actuantes, en el capítulo 5 se hará mención de las propiedades de la tierra como material de construcción.

3.1 EL SUELO

GENERALIDADES

Definición. - El suelo es el material que se localiza en las capas superficiales de la corteza terrestre, producto de la desintegración de las rocas por intemperismo. El material puede ser desde un relleno de desperdicio hasta arenas puramente cementadas, quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas.

Perfil. - La superficie terrestre está dividida en tres capas mas o menos diferentes, que reciben el nombre de horizontes (fig. 3.1), estos son:

Horizonte A, suelo superficial de material desintegrado o

transportado.

Horizonte R. es el bajo suelo.

Horizonte C. es la zona de material primario, lo que se llama roca fresca o roca madre.

Composición y características.- Las tierras de los horizontes A y B serán las que se utilicen en la fabricación del adobe, de estos horizontes nos interesa conocer su composición (contenido de arenas, limos y arcillas), para poder determinar sus características. Una vez conocidas sus características a través de pruebas de campo, se estará en posibilidades de recomendar si el suelo analizado es adecuado para la fabricación del adobe o si es necesario estabilizarlo.

Generalmente, el suelo está constituido por componentes de diversos tamaños, a continuación se presenta una clasificación de ellos (tabla 7.1).

Gravas: Son el componente más estable de los suelos en presencia del agua, pero carecen de cohesión seca, por lo que requieren de los limos y las arcillas para formar una estructura estable.

Arenas gruesas: Son el componente estable y sus propiedades mecánicas no se alteran sensiblemente con el agua.

Arenas: Son minerales duros, aunque estables, no poseen cohesión al estar secas, pero las caracteriza una fuerte fricción interna.

Limos: No tienen cohesión al estar secos y su fricción interna es menor que las arenas, pero en presencia de agua su cohesión aumenta, además de tener grandes variaciones en volumen debido a que se contraen y se expanden.

Arcillas: Son el componente que da cohesión a los suelos uniendo a los elementos más gruesos, pero en las arcillas húmedas se presentan cambios muy severos en la estructura del suelo, por su inestabilidad a diferencia de las arenas.

3.2 PLASTICIDAD DE LA TIERRA

La plasticidad es una característica del suelo fino que depende del comportamiento del agua en contacto con la superficie de los granos (arena), o polvo (limos), que forman la tierra. El autor Juárez Padillo, la define como "propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmenuzarse, ni agrietarse". Para fines de este estudio simplemente la plasticidad será una medida de la trabajabilidad del suelo.

La plasticidad de un suelo cuya medida es el índice de plasticidad (I.P.), no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Según Atterberg, existen diferentes estados de los suelos finos en función de su contenido de agua. Llamados estados de consistencia; estos estados son fases por las que pasa un suelo al irse secando. En el siguiente cuadro se resumen las propiedades y características del suelo para cada estado de consistencia.

ESTADO DE CONSISTENCIA	LIQUIDO	SEMILIQUIDO	PLASTICO	SEMISOLIDO	SOLIDO
PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DEL SUELO.	SUSPENSION	COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO VISCOSO	COMPORTAMIENTO PLASTICO	DISMINUYE VOLUMEN AL ESTAR SUJETA A SECADO.	EL VOLUMEN NO DISMINUYE CON EL SECADO.

L.L

L.P

L.C

I.P. = LL-LP

donde:

LL = limite liquido

LP = limite plastico

IP = indice de plasticidad (LL-LP)

LC = limite de contraccion

Para establecer las fronteras de cada uno de estos estados, el mismo Atterberg estableció las primeras convenciones para ello, nombrándolos límites de consistencia, siendo los más importantes para este estudio los siguientes:

a) Limite liquido (LL). Es el contenido de agua que tiene un suelo remoldado cuando al colocarse en la copa de Casagrande necesita 25 golpes para que cierre en una longitud de 1.1 cm. una ranura de dimensiones estándar.

b) Limite de plástico (LP). Es el contenido de agua con el que un cilindro de suelo se empieza a agrietar en toda su

longitud cuando alcanza un diametro de 3.2 mm.

c) **Límite de contracción (LC).** Es el contenido de agua a partir del cual el volumen del suelo permanece constante aunque la humedad disminuya.

En la elaboración de los adobes es muy importante la determinación del límite líquido del suelo que se utilizará en su fabricación, ya que corresponde al estado que contiene el agua mínima necesaria para poder ser remoldada y compactada sin que la pieza sufra deformaciones excesivas al secarse.

En mecánica de suelos, para determinar los límites de consistencia se realizan pruebas de laboratorio que implican la utilización de equipo costoso y personal adiestrado, por lo que es muy difícil que cualquier persona las realice. Sin embargo, algunos autores se han interesado en efectuar una serie de ensayos para poder simplificar estas pruebas y así lograr que cualquier persona con un poco de entrenamiento pueda llevarlas a cabo, con instrumentos rudimentarios y fáciles de realizar en cualquier lugar. Algunas pruebas sencillas para poder seleccionar el suelo adecuado en la elaboración del adobe se presentan al final de este capítulo.

Las propiedades del suelo que más intervienen en la estabilidad de las construcciones de adobe son:

- Cohesión
- Contracción
- Absorción

Estas propiedades están íntimamente relacionadas con la plasticidad del suelo. En lo que sigue se tratará la influencia

que tiene cada propiedad en los elementos estructurales.

3.2.1 Cohesión.

La cohesión se puede definir como la fuerza de atracción que se genera entre las partículas sólidas del suelo, esta se produce debido a la presión que se ejerce entre los mismos granos del suelo a causa de efectos capilares.

La plasticidad de un suelo depende de su cohesión, esto es, del comportamiento del agua en contacto con las superficies de los granos o polvos que forman la tierra. Estas superficies atraen al agua, debido al comportamiento eléctrico de las partículas del suelo y el agua, que por esta razón se adhieren a ellas.

Por otra parte, la magnitud de la cohesión está en función de su composición fisicoquímica del suelo; es decir, del tamaño, forma, composición química y de la fuerza con que sus superficies atraen el agua.

A la fuerza que se desarrolla entre las partículas del suelo y el agua, se le llamará "actividad" del mismo. De acuerdo a esto se ha visto que un suelo de partículas muy pequeñas y de material muy activo será muy plástico; en cambio, un suelo de granos gruesos y anquinosos tendrá las superficies de sus partículas alejadas entre sí al apoyarse unas sobre otras en pocos puntos; por lo que no se verá afectada por estos fenómenos y, en consecuencia, no tendrá plasticidad.

Como ya se mencionó antes, la magnitud de la cohesión depende de la fuerza de atracción entre las superficies de las componentes del suelo y el agua. Esta fuerza es muy fuerte en el

contacto y en la cercanía de las superficies y disminuye rápidamente con la distancia. Además, originan el fenómeno de la capilaridad. Por lo tanto, la cohesión es mayor cuando más cerca están las superficies de las partículas, unas de otras, lo cual sucede cuando en los suelos abundan las partículas pequeñas (arcillos y limos). Pero aun en estos suelos si están saturadas, al añadir más agua las partículas tienden a separarse y las tierras se ablandan, ocasionando que las componentes se disgreguen.

El fenómeno de la disgregación de las partículas de un suelo, debido al contenido de agua de éste, es muy importante, ya que este fenómeno influye en la estabilidad de las construcciones de adobe. La resistencia de los elementos estructurales a la disgregación, se relaciona con la resistencia a otros efectos como es la erosión por lluvia, humedad, etc.

Dado que ningún suelo tiene una resistencia a la disgregación absoluta, es necesario darles cierto grado de resistencia por medio de una estabilización.

3.2.2 Contracción volumétrica.

Debido a que las piezas de adobe se deben elaborar con la humedad correspondiente a su límite líquido, es razonable definir la contracción volumétrica como el índice de las variaciones de volumen del suelo esculpado durante el secado, a partir de su límite líquido, medida como porcentaje del volumen final.

La contracción de la tierra motivada por su secado, tiene trascendencia en la estabilidad de los elementos estructurales, ya que puede provocar el agrietamiento o la deformación excesiva

de piezas que se sequean muy rapido, creando problemas como: agrietar los morteros que se utilicen en aplanados o los que se usen para pegar los mampuestos de un muro; tambien, despegar el material de las superficies de los mampuestos tanto en las juntas (anulando la adherencia de unos con otros), como en los paramentos (desprendiendo los aplanados de los muros).

En pruebas de contracción volumétrica se obtuvieron los resultados mostrados en la fig. 3.2. Los valores obtenidos oscilaron desde prácticamente cero, en tierras muy arenosas, hasta algunas de 30% en tierras muy plásticas con altos contenidos de finos.

En la fig. 3.3, se presenta la influencia del porcentaje de arena en la contracción; en la fig. 3.4, se muestra la influencia del agua contenida en las componentes del suelo en las contracciones de éste.

En la fig. 3.3, obtenida de ensayos realizados sobre tierra arcillosa se observa que conforme se incrementan los porcentajes de arena en el suelo, la contracción disminuye. Desde este punto de vista, resulta conveniente que existan porcentajes del 30 al 35% de finos en el suelo.

En la fig. 3.4, se observa que la contracción lineal es significativa por encima del 10% del contenido de agua, punto en el cual la curva adquiere fuerte pendiente.

En base a los resultados obtenidos en las tres gráficas anteriores se puede concluir lo siguiente:

a) Los mayores valores de contracción volumétrica se presentarán en las tierras muy plásticas con exceso de agua.

b) Existen dos tipos de material en los cuales se obtiene un mínimo de contracción:

1. Tierras en que sea mínima el agua "activa" que separa a sus granos.

2. Tierras compactadas con una humedad adecuada. Esta humedad debe ser menor que la de saturación para permitir la reducción de volumen del material que se compacta.

3.2.3 Absorción (Permeabilidad).

El paso del agua a través de los poros del suelo, cuando están sujetos a procesos de humedecimiento y secado provocan variaciones dimensionales que ocasionan fisuras y grietas que comprometen la estabilidad de los elementos estructurales.

El factor más importante que altera el estado de humedad de un muro de adobe se debe a la lluvia. Cuando la lluvia actúa sobre la superficie de un muro, éste absorbe inicialmente el agua. Si la lluvia cae más rápidamente que el agua absorbida, ésta discurre sobre la superficie del muro. La acción del viento genera presión sobre la cara del muro verificándose la permeabilidad que sumada a la capilaridad, provocan la penetración del agua. Este fenómeno depende de dos propiedades del material: de la velocidad con que absorbe el agua (permeabilidad), y de la velocidad con que se seca.

Diversas pruebas de permeabilidad han permitido clasificar los componentes del suelo en función de su grado de permeabilidad.

En la tabla 2.2, se exponen las propiedades de las tierras y su posible empleo como material de construcción.

Con respecto a la velocidad del secado, se hacen las siguientes observaciones:

a) El secado de cualquier pieza depende solamente de la evaporación superficial de su agua va que, por ser lenta, permite que el flujo del agua interior hacia la superficie sea suficiente aun en tierras bastante impermeables.

b) La velocidad del secado se incrementa considerablemente si el aire que rodea a las piezas está en movimiento: es decir, si hay viento.

c) La velocidad del aire incrementa el secado hasta que llega a cierto valor a partir del cual su aumento no influye en la evaporación.

3.3 Pruebas de campo para la selección de la tierra.

Se presentan pruebas de campo rápidas y realizables con elementos simples, que permiten seleccionar la tierra adecuada para la fabricación de los adobes.

Compresión.

Para realizar esta prueba se debe seguir la siguiente metodología:

a) Se toma una muestra de tierra de aproximadamente 2 u 3 Kg.

b) Se deja secar hasta que se puedan pulverizar los terrones con la ayuda de un piso.

c) Se humedece la tierra pulverizada con una cantidad de agua tal que permita amasarla y moldearla fácilmente (prueba de Vicat).

d) Se fabrican 3 o más cilindros de 5 cm de diámetro por 10

cm de longitud, por medio de su extracción de un tubo de estas dimensiones interiores.

e) Se secan los cilindros colocándolos frente a un ventilador por un lapso de dos días. Un secado equivalente se puede obtener si las muestras se colocan en una corriente natural de aire a la sombra, durante un tiempo un poco mayor, o si se ponen al sol algunas horas.

f) Ya secos los cilindros se ensayan a compresión en una prensa o se rompen entre dos vigas (fig. 3.5.). Para esta última alternativa se coloca una viga tendida en el suelo y otra encima, sujetándolas entre sí en un extremo; la superior se apoya sobre el cilindro asentado en la inferior, dejando su extremo libre para recibir una carga. De acuerdo con la magnitud de la carga, con su posición y la del cilindro, se puede calcular la fuerza que conviene a este. Variando la posición de la carga, la fuerza se puede incrementar hasta provocar la rotura del cilindro. Las cabezas del cilindro se protegen con paños doblados para evitar concentraciones de esfuerzos en las superficies de contacto con las vigas.

g) La fuerza que produce la falla dividida entre su área, se considera representativa de la resistencia a compresión de la muestra.

Prueba de Vicat.

Fuente que las pruebas deben representar la forma de trabajo en las construcciones, las probetas de tierra se deben fabricar con la humedad correspondiente a su límite líquido, esta humedad es la más conveniente para moldear las piezas de adobe ya que es

la humedad máxima que es posible alcanzar sin que se lleguen a presentar deformaciones excesivas durante el secado.

El límite líquido de un barro se obtiene cuando al colocar una varilla de acero de $3/8"$ (aprox. 1 cm) de diámetro y 50 cm de largo parada en su superficie penetra aproximadamente 2 cm al soltarla (fig. 3.6).

Prueba de la cintilla o plasticidad.

Con esta prueba se puede conocer un indicio de la plasticidad del suelo.

Procedimiento:

- a) Amasar un poco de tierra con agua.
- b) Sobre una superficie libre fabricar una cintilla de aproximadamente 20 cm de longitud y 2 cm de diámetro.
- c) Colocar la cintilla en la orilla de la superficie, de tal manera que parte de su longitud cuelgue como se muestra en la fig. 3.7.

Posibles resultados:

- Si L es mayor a 10 cm, se trata de un suelo plástico (suelo arcilloso).
- Si L está entre 5 y 10 cm, se trata de un suelo no plástico (adecuado para la fabricación de adobe tradicional).
- Si L es menor a 5 cm, el suelo es arenoso y podrá ser utilizado para la fabricación de adobe estabilizado.

Prueba de olor.

Con esta prueba se puede determinar si la tierra contiene materia orgánica.

Procedimiento: Se toma un poco de material en su estado

humedo. si despiden un olor a moho entonces la muestra contiene materia organica.

Prueba de mordedura.

La prueba determina por medio del rechinado del material entre los dientes el contenido de arenas, limos, y arcillas de los suelos.

Procedimiento: Se toma un poco de material para ser aplastado entre los dientes. Sera un suelo arcilloso si no rechina; si rechina pero ligeramente, es un suelo limoso; sera arenoso, si rechina desagradablemente.

Prueba del color.

A traves de esta prueba se puede determinar el tipo de suelo de que se trate segun sea su color en estado seco.

Procedimiento: Se toma un poco de tierra en estado seco, y segun sea el color observado se puede tener los siguientes tipos de suelo:

- Suelos inorganicos: Presentan colores claros y brillantes.
- Suelos organicos: Presentan color castaño oscuro, verde olivo o negro.

Prueba del tacto.

Mediante esta prueba se determina a traves del tacto las particulas contenidas en los suelos.

Procedimiento: Colocar un poco de tierra en la palma de la mano, con el indice de la otra mano detectar la presencia de arenas, limos, y arcillas a partir de su grado de rugosidad.

Prueba del brillo.

La prueba sirve para detectar la presencia de arcillas

mediante el brillo de sus partículas.

Procedimiento: Amasar un poco de tierra con agua hasta formar una bola compacta, del tamaño de la mano. Se corta por la mitad para observar la superficie, si es brillante se trata de arcillas; si son poco brillantes se trata de limo y si es opaca se trata de arena.

Prueba de sedimentación.

Esta prueba es una de las más importantes, ya que se puede determinar de una manera confiable el porcentaje de las componentes del suelo.

Procedimiento: Se coloca un poco de tierra desmoronada en una botella, agregándole una cantidad igual de agua, se agita y se deja reposar hasta que el agua quede clara. Las arenas quedarán hasta abajo por ser las partículas más pesadas, seguida de los limos y por último se depositarán las arcillas que son las partículas más ligeras.

Prueba del lavado de las manos.

Con esta se define, mediante el lavado de las manos después de haber manipulado la tierra en estado húmedo, si contiene limos y/o arcillas.

Procedimiento: Manipular un poco de tierra en estado húmedo. Cuando al lavarse las manos, estas se sienten jabonosas (sin haber utilizado jabón en el lavado), y presentan dificultad a una rápida limpieza, se trata de arcillas; si al contrario, la tierra se presenta polvorosa y es fácil de enjuagar, se trata de limos.

Prueba de contracción lineal.

Con esta prueba se trata de definir la elasticidad del material.

Procedimiento: Se prepara un poco de tierra desmoronada y se le agrega agua hasta que tenga la humedad correspondiente a la del límite líquido (ver prueba de Vicat). Se llena un molde de madera previamente lubricado de $2 \times 2 \times 10$ cm. Se deja secar y se mide su contracción aplicando la fórmula que a continuación se indica:

$$CL = \frac{a + b}{L} \times 100 = (\%)$$

donde:

CL = Contracción Lineal.

a y b son las contracciones que sufre la muestra en sus extremos al secarse (fig. 3.8).

L = Longitud inicial de la muestra.

Prueba de contracción volumétrica.

Esta prueba al igual que la de contracción lineal, permite conocer los cambios en la estructura interna y resistencia de los adobes.

Procedimiento: Se prepara un poco de tierra desmoronada y se le agrega agua hasta que tenga la humedad correspondiente a la del límite líquido. Se coloca en un cubo de madera previamente lubricada de $10 \times 10 \times 10$ cm. Se deja secar totalmente y se mide la variación existente entre las dimensiones del recipiente y la pieza contraída. La fórmula para calcular la contracción volumétrica es:

$$CV = \frac{\text{Vol. inicial} - \text{Vol. final}}{\text{Vol. final}} \times 100$$

$$CV = \frac{10^3(a \cdot b \cdot c) - (a' \cdot b' \cdot c')}{(a' \cdot b' \cdot c')} = (\%)$$

donde a, b y c son las dimensiones de la muestra una vez que se ha secado (fig. 3.9).

Prueba de la dureza.

En base a esta prueba se puede determinar en forma aproximada la resistencia del suelo a compresión y definir al mejor para emplearlo en la edificación.

Procedimiento. Remoldear un poco de suelo y formar una pastilla de 5 cm de diámetro por 2 cm de espesor. Una vez seca, se toma con tres dedos para tratar de romperla. Si la pastilla es dura, se trata de una arcilla; en caso contrario, se tratará de un suelo arenoso.

Prueba de la permeabilidad.

La lluvia es una de las causas principales que puede provocar la destrucción de elementos fabricados con tierra, y la erosión de la lluvia se puede simular por medio de una prueba de goteo que se propone a continuación.

Procedimiento. Amasar un poco de tierra y rellenar un molde de madera de 10 x 10 x 2 cm y dejar secar. Se coloca la placa en el piso y a una altura de 2.5 m se deja caer una gota de un recipiente lleno de agua, en el cual se introduce una tela formando un pico al exterior del que caerá la gota. Cuando la placa resiste el goteo por más de tres horas con una intensidad de 50 a 60 gotas por minuto sin perforarse, se considera que el material es adecuado (fig. 3.10).

Prueba de agrietamiento.

Esta prueba tiene como objetivo detectar aquellas tierras que, debido al exceso de arcillas, presentan fuertes

contracciones al pasar de un estado de humedad a uno seco y, en consecuencia debilitan la estructura de las piezas que se fabriquen con ella.

Procedimiento. Llenar un molde de madera de 2 x 2 x 10 cm con lodo, con la humedad que represente la del límite líquido; se deja secar y se observa si la placa presenta fuertes agrietamientos.

Esta prueba junto con la de sedimentación darán la pauta para definir la forma, contenido y tipo de material a utilizar para mejorar la tierra.

Para facilitar la interpretación de los resultados de las pruebas antes mencionadas, y poder determinar si la tierra analizada es la adecuada para la fabricación de los adobes; al final del capítulo se presenta un formato en donde se pueden vaciar todos los resultados y observaciones obtenidas en dichas pruebas. Además, se presentan dos ejemplos realizados en la Ref. B.

A través de las pruebas descritas anteriormente se podrán determinar las características de los suelos de una manera confiable.

En general, los suelos más adecuados para la fabricación del adobe tradicional deben tener las siguientes características:

- a) La resistencia a compresión no deberá ser menor a 10 kg/cm^2 .
- b) El suelo debe ser no plástico (porcentaje de arcilla no mayor al 30%).
- c) El suelo debe ser inorgánico; esto es, cuando huele a moho.

d) Que en su estado seco se observen colores claros y brillantes.

e) Que contengan en su composición aproximadamente 50% de arena, 30% de limo y 20% de arcilla.

f) Además, la humedad con que se fabriquen las piezas de adobe debe corresponder a la del límite líquido.

Cuando un suelo no tenga las características anteriores, en lugares cercanos al sitio donde se desea construir la vivienda existe la posibilidad de estabilizar el suelo.

PRUEBAS PARA SELECCION DE TIERRA

PROYECTO:
VIVIENDA PARA EL PUESTRO RURAL

46.

UBICACION:
PATAMBO, MUNICIPIO DE COYUCA DE CATALAN, GUERRERO

MUESTRA			
UBICACION DEL BANCO		TERRENO PROXIMO ESCUELA	
FECHA DE ELABORACION		14 DE SEPTIEMBRE DE 1983	
1	OLOR	SIN COLOR 1	NO ORGANICA 2
2	MODEDURA	RECTINA	CONTIENE ARENA
3	COLOR (SECO)	ROJO FUERTE	POSIBLE CONTENIDO OXIDO FERROSO
4	TACTO	POCO JUGOSA	POSIBLE CONTENIDO LIMO - ARENA
5	BRILLO	POCO BRILLO	POSIBLE CONTENIDO LIMO - ARENA
6	SEDIMENTACION	ARENA	50 %
		LIMO	20 %
		ARCILLA	30 %
7	CINTILLA	SE ROMPIO A LOS 10 CM	MATERIAL BIENO PARA ADOBE
8	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD	PUEDA DE	VICAT
9	LAUADO DE MANOS	PEGAJOSA Y DIFICIL DE ENJUAGAR	ARENAS - ARCILLAS
10	CONTRACCION LINEAL	5 %	ARENAS - ARCILLAS
11	CONTRACCION VOLUMETRICA	14 %	ARENAS - ARCILLAS
12	DUREZA (PASTILLA)	NO SE ROMPIO	ARENAS - ARCILLAS
13	PERMEABILIDAD (GOTEO)	UNA GOTA / MIN	EN TRES HORAS NO PENETRO LA GOTA
14	AGRIETAMIENTO	NO SE AGRIETO	ARENAS - ARCILLAS

OBSERVACIONES:

TIERRA RECOMENDABLE PARA LA FABRICACION DE ADOBE TRADICIONAL

PRUEBAS PARA SELECCION DE TIERRA

PROYECTO:
VIVIENDA PARA EL MAESTRO RURAL

47.

UBICACION:
PATAMBO, MUNICIPIO DE COYUCA DE CATALAN, QUERETERO

MUESTRA		B	
UBICACION DEL BANCO		TIERRA PROXIMO AL RIO	
FECHA DE ELABORACION		14 DE SEPTIEMBRE DE 1983	
1	OLOR	SIN OLOR	1 NO ORGANICA 2
2	MODEDURA	NO RECTINA	ARCILLOSA
3	COLOR (SECO)	ROJO FUERTE	POSIBLE CONTENIDO OXIDO FERROSO
4	TACTO	LISO	ARCILLOSA
5	BRILLO	BRILLANTE	ARCILLOSA
6	SEDIMENTACION	ARENA	NO SE DETECTO
		LIMO	15 %
		ARCILLA	85 %
7	CINTILLA	SE ROMPIO DESPUES DE 15 CM	ARCILLOSA
8	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD	PRUEBA DE VICAT	
9	LAVADO DE MANOS	PEGAJOSA Y DIFICIL DE ENJUAGAR	ARCILLOSA
10	CONTRACCION LINEAL	6 %	ARCILLAS
11	CONTRACCION VOLUMETRICA	17 %	ARCILLAS
12	DUREZA (PASTILLA)	NO SE ROMPIO	ARCILLAS
13	PERMEABILIDAD (GOTEO)	UNA GOTTA / HR	EN 1 HR PERDIO LA GOTTA
14	AGRIETAMIENTO	SE AGRIETO	FIENTES CONTRACCIONES

OBSERVACIONES:

TIERRA NO RECOMENDABLE PARA FABRICACION DE ADOBE; SE RECOMIENDA PARA SU USO ESTABILIZAR LA TIERRA CON ARENA EN UN 5% DEL VOLUMEN.

PRUEBAS PARA SELECCION DE TIERRA

PROYECTO:

19.

UBICACION:

MUESTRA			
UBICACION DEL BANCO			
FECHA DE ELABORACION			
1	OLOR	1	2
2	MORDEDURA		
3	COLOR (SECO)		
4	TACTO		
5	BRILLO		
6	SEDIMENTACION	ARENA	
		LIMO	
		ARCILLA	
7	CINTILLA		
8	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD		
9	LAVADO DE MANOS		
10	CONTRACCION LINEAL		
11	CONTRACCION VOLUMETRICA		
12	DUREZA (PASTILLA)		
13	PERMEABILIDAD (GOTEO)		
14	AGRIETAMIENTO		

OBSERVACIONES:

CAPITULO 4

FABRICACION DE PIEZAS DE ADOBE

4.1 ADOBE TRADICIONAL

Después de que se comenzó a utilizar la tierra como material de construcción, se diversificaron las técnicas de edificación tratando de mejorar las propiedades de ese material ante el intemperismo; o bien, facilitar la fabricación de las piezas de tierra.

Son cuatro los procedimientos constructivos principales para la fabricación con tierra, aunque existe la posibilidad de que también haya una combinación entre esos métodos, como ocurre con el abisonado y el bajareque. Dichos métodos son:

a) Adobe. Palabra que se deriva de raíces moriscas y cuyo significado es mezclar o enlazar y que posteriormente se empleó para definir a una pieza hecha de tierra húmeda y secada al sol, o a una estructura de ese material.

El concepto actual de adobe es: un tabique de barro sin cocer; para su fabricación es necesario que la tierra no contenga basura, piedras grandes ni residuos vegetales; además, la proporción entre arena y arcilla debe ser la adecuada, ésta podría ser de dos a uno; en caso de no seguir estas indicaciones se tendrá un adobe de mala calidad y de poca resistencia.

b) Abisonado. Este método se basa en la compactación manual principalmente, o mecanizada de las paredes en el mismo sitio de la construcción, empleando una mezcla de tierra húmeda; una de las ventajas de este método es que los muros quedan de una sola pieza y de tamaño que sea necesario, dependiendo únicamente de la

disponibilidad de los moldes. No es conveniente el uso de suelos con alto porcentaje de arcilla, puesto que se podrían presentar agrietamientos en los muros a causa de la contracción por secado.

c) Trama repellada, también conocido como bajareque, los muros son formados con una hilera de horcones hincados en el suelo con una separación de 0.5 a 1.0 m. Entre estos soportes se coloca un entramado de varas entretrejidas, para después darles un recubrimiento con una mezcla de lodo con zacate o paja. En el bajareque no se usan clavos o productos metálicos, todos sus elementos están unidos por medio de cuñas de madera, simples ensambladuras y amarres de bejuco y lianas. Una importante ventaja de este método es que las paredes adquieren buena resistencia ante sismos y vientos huracanados, superando en esto a otras técnicas.

El bajareque está muy difundido en el sur y sureste del país. En la costa del Pacífico (Guerrero y Oaxaca), se le llama bajareque; en las huestecas, enjarre; y en algunas regiones del Golfo, embarro.

d) Aglomerado. Consiste en la fabricación de los muros en el lugar mismo en que se edifica, con lodo y paja, sin el uso de moldes. La desventaja principal del método es que siempre se presentan agrietamientos.

Estos son en forma muy general, los métodos de construcción con tierra; las características de las viviendas y de los procedimientos dependen del medio ambiente. Por ser el adobe el método más difundido en todo el país, se desarrollarán algunas de las etapas más importantes de este procedimiento constructivo.

Selección de la tierra.

Es necesario, antes de comenzar la construcción de una obra, conocer el material disponible en el sitio para no hacer grandes erogaciones transportándolo de un lugar a otro.

Los suelos más problemáticos son los que tienen un alto porcentaje de arcillas o material coloidal, debido a la contracción que presentan en el secado de las piezas de adobe. La experiencia y los ensayos tecnológicos han servido de base para establecer una posible solución, como es mejorar la tierra con aportes de otros materiales: tradicionalmente se les ha agregado paja, zacate, estiércol, hojas de pino, crines, etc.; en una proporción de una parte por cinco de tierra, sirviéndole de amarre.

La desventaja que se tiene al agregarle este tipo de fibras, es que reducen la resistencia a la compresión, pero aumenta su resistencia a la tensión en muchas ocasiones, en especial cuando el material está húmedo o se agrieta al secarse. De cualquier manera las piezas de tierra al secarse reducen su volumen, esta contracción se ve disminuida debido a las fibras vegetales, lo que provoca a su vez un agrietamiento en el material, hasta con que dichas fibras se dosifiquen correctamente para que esas grietas sean reducidas y tolerables.

Otro inconveniente es que existe la posibilidad de que entren en descomposición y de esta manera mantengan la vida de algunos insectos o animales que quedan plagar al material.

Es por eso que deber estar bien justificado el uso de esas fibras. Se usarán este tipo de fibras cuando la tierra sea

susceptible de agrietamientos considerables, tomando muchas precauciones.

Los resultados de los ensayos han concluido que la excesiva cantidad de arcilla puede mejorarse con la adición de arena; y emplear la mezcla preferentemente en el método de construcción a base de bloques de adobe, para que las contracciones que se presenten se produzcan durante el secado de estos elementos y no en el muro.

También es conveniente mencionar que un bajo contenido de coloides en un suelo, es adecuado para la construcción de muros de buena calidad. En general, se dice que un suelo muy arcilloso tiene potencialmente alto contenido coloidal. El origen de los coloides se encuentra en la descomposición de silicatos complejos y también de organismos animales o vegetales en las tierras de cultivo. Mientras que los suelos tendientes a ser arenosos son los apropiados para la edificación.

En el caso de tener un suelo con un índice de plasticidad demasiado alto, se sugiere revolver tierra de diferentes plasticidades para obtener una mezcla que tenga la plasticidad apropiada a su uso.

Fabricación.

Antes de proceder a explotar el banco de préstamo seleccionado, se aconseja efectuar un despalme de todo el elemento vegetal e iniciar la extracción del material en volúmenes pequeños para permitir un rápido secado, para después triturar los grumos y eliminar las gravas.

El procedimiento habitual consiste en: hacer una excavación, moler la tierra (triturar), y agregar agua hasta obtener una revoltura que se pueda moldear fácilmente, enseguida, se agrega una de las fibras ya mencionadas: paja, estiércol, etc.

El molde se acostumbra hacerlo de madera y con agarraderas a los lados. Hecho el molde con las características señaladas en la figura 4.1, se forra con lámina galvanizada para evitar que la tierra se pegue en las paredes, o en todo caso deben estar engrasadas o aceitadas. Se presentan dos alternativas usuales para elaborar el molde una en la que obtiene una sola pieza, y la otra, que cuenta con un molde dividido en cuatro partes para fabricar cuatro bloques simultáneamente.

El tamaño de la pieza de adobe es variable; sin embargo, se debe procurar que no sean muy robustas para que puedan manipularse sin dificultad. El espesor de las juntas en los muros no debe ser mayor a tres cas.

Ahora todo queda listo para elaborar los adobes, ésto se puede resumir en los siguientes pasos:

- Se vacía la revoltura en los moldes en tres capas, compactando cada una con pisón.
- Enrasar en la superficie con una regla de madera o con una pala.
- Retirar el molde y dejar que sequen las piezas al menos durante tres semanas.
- Realizar el proceso de curado, donde periódicamente se les riega agua; se pueden cubrir con paja para evitar erosiones y conservar mejor la humedad.

Puede ser que al retirar el molde, el adobe se deforme, esto significaría que tiene exceso de agua o bien, presente grietas o se rompa, lo que indicaría que le hace falta agua.

Es necesario limpiar el molde cada vez que se use, limpiándolo con un trapo húmedo, y luego agregándole un poco de arena.

La fabricación de las piezas de tierra ha evolucionado muy poco, una variación importante es el empleo de mezcladoras y pisones mecánicos. De esta forma se ha logrado conocer una nueva forma de mejorar la resistencia de la tierra, que es mediante un procedimiento de compactación mecánica. Aunque por aspectos económicos, el uso de esas máquinas debe ser aplicado a construcciones masivas.

El avance tecnológico aplicado a las construcciones de tierra ha permitido establecer las siguientes condiciones en la elaboración de las piezas.

- Empleo del agua necesaria para obtener la mayor compactación del producto.

- La mezcla debe ser uniforme y homogénea, para lograrlo se recomienda usar mezcladoras.

- Utilizar moldes rígidos, de acero o madera con planchas metálicas para que no se deformen con el uso y se tenga buena compactación.

- Se hace necesario una compactación mecánica para estabilizar el material.

La mayor compactación es función de emplear para cada suelo la cantidad óptima de agua y energía de compactación. Debe señalarse

que no todas las tierras son propicias para ser adisonadas y debe cuidarse la profundidad y tiempo del adisonado.

Secado.

El agua usada en la elaboración de las piezas debe eliminarse durante el secado, durante esta etapa ocurre la contracción de la unidad.

El adobe una vez moldeado posee escasa estabilidad propia. Deben pasar tres días para que las piezas de adobe vaciadas, puedan colocarse de canto y dejarlas así durante tres semanas. Después de ese lapso, pueden usarse en la construcción.

4.2 ADOBE ESTABILIZADO

A la estabilización de suelos se le puede definir como la aplicación de ciertos tratamientos a los suelos con la finalidad de mejorar sus propiedades y poder utilizarlos como material de construcción.

Esta es una alternativa viable para solucionar el problema que se presenta al encontrarse con suelos que no son apropiados para un determinado fin constructivo. De hecho, se pueden seguir otras dos opciones, como es la de aceptar el material local como se encuentre, o bien, sustituirlo por otro de mejor calidad y características adecuadas; pero a la larga, el quedarse con el material que no cumple con los requerimientos puede resultar muy costoso, y el reemplazarlo podría ocasionar un fuerte desembolso.

Existen varios procedimientos para la estabilización de la tierra, de los cuales se mencionan los siguientes:

- Estabilización por medios mecánicos. La compactación y las

mezclas entre suelos son los más utilizados.

- Estabilización por drenaje. Se basa en la extracción del agua intersticial en los suelos.

- Estabilización por medios eléctricos. Los más conocidos son la electroosmosis y los pilotes electrometálicos.

- Estabilización por empleo de calor y calcinación. Consiste en cocer las piezas de tierra (tabiques).

- Estabilización por medios químicos. Consiste en agregar un estabilizante específico, como son: el cemento, el asfalto, la cal u otros.

Debido a la gran diversidad de suelos y sus componentes, cada uno de estos métodos tienen aplicación limitada solo a alguno de ellos; es frecuente que se presenten variaciones significativas en un tipo de suelo en algunos metros o hasta en kilómetros, lo que provoca que cambie el tratamiento óptimo supuesto para ese suelo. Es por ello que no debe considerarse a la estabilización como un recurso en todos los casos eficiente y ventajoso, se debe tener presente en toda ocasión las propiedades que se necesitan mejorar y establecer una relación beneficio-costos; es decir, cuantificar los logros a obtener y comparar con el trabajo y el dinero por invertir. Además de que una mala elección en el método de estabilización para mejorar una determinada propiedad, puede provocar la reducción de algunas otras.

Entre las propiedades que con mayor frecuencia se desea mejorar, están:

a) Estabilidad volumétrica. Consiste en solucionar los problemas de expansión de los suelos arcillosos por cambio de humedad. Se trata de que la masa de arcilla expansiva se convierta en una masa rígida o en una granulada, con sus partículas unidas con suficiente fuerza para resistir las fuerzas de expansión, esto se logra por medios térmicos y químicos. Por experiencia y desde un punto de vista económico se ha logrado establecer que es más conveniente utilizar los procedimientos químicos para arcillas cercanas a la superficie.

b) Resistencia. Se han llegado a establecer varios métodos para aumentar la resistencia de muchos suelos, entre los que se pueden mencionar:

- Vibroflotación
- Precarga
- Brenaje
- Mecánica
- Química

Sin embargo, es necesario señalar que el incremento de resistencia que se debería ganar al aplicar uno de esos métodos estabilizantes se pierde al tener un suelo con alto contenido de materia orgánica.

c) Durabilidad. Se refiere a la resistencia al intemperismo. Esto afecta tanto a suelos naturales como estabilizados, sobre todo en estos últimos, como consecuencia de una mala elección del agente estabilizador. Como por ejemplo, puede ser que se ignore la susceptibilidad de los suelos arcillosos estabilizados con cemento a la presencia de sulfatos.

El concepto durabilidad es uno de los problemas actuales de los que se carece de un criterio adecuado, ya sea práctico o experimental, para establecer de una manera eficaz la durabilidad de un suelo estabilizado.

d) Compresibilidad. De alguna manera todos los métodos mencionados influyen en la compresibilidad de los suelos. La técnica más simple: la compactación es muy conveniente para modificar esta propiedad.

Debido a la gran diversidad de métodos de estabilización, cada país tiene preferencia por uno de ellos, a pesar de que existe incertidumbre en los resultados de muchos de ellos. No obstante, la técnica que se ha utilizado prácticamente en todas partes, es la mecánica, aunque en la actualidad los procedimientos químicos con cemento, cal y asfalto se van usando más frecuentemente en todo el mundo con aplicación particular a pavimentos.

Antes de hablar de la estabilización química, es necesario indicar algunos criterios para elegir suelos destinados a la construcción de estructuras con tierra estabilizada. Para esto se van a tomar las especificaciones de la American Society For Testing Materials (ASTM) y de la British Standards Institution (BSI) que son dos de los organismos que tienen más información sobre el tema.

El criterio se refiere a la selección del suelo para viviendas permanentes en cualquier clima donde la precipitación pluvial no alcance los 75 cm anualmente; debe limitarse a las siguientes condiciones:

- Distribución de las partículas. Normas BSI 1377, y ASTM D420-54T. Un mínimo de arena de 33% del total, un máximo de arcilla del 2% y un mínimo del 5%.

- Propiedades plásticas. Su índice de plasticidad estará entre 2.5 y 22%, con límite líquido menor al 40%.

- Contenido crítico de humedad entre 7 y 16%.

Como complemento a esta información, se indican en las tablas 4.1 y 4.2 los medios más adecuados para estabilizar cada tipo de suelo.

4.2.1 Estabilización con cemento.

Breve reseña.

El suelo-cemento es un material que se empezó a utilizar desde 1917; las primeras prácticas se hicieron en ese año, el procedimiento inicial consistía en hacer una mezcla de diferentes proporciones entre el suelo y el cemento. Aunque se usó a partir de esa fecha, realmente no tuvo éxito debido a la falta de experiencia práctica y de conocimientos científicos.

En 1932 se comenzó a dar impulso a la investigación científica del suelo-cemento, por parte del Departamento de Laminas Estatales de California del Sur, E.U.A.; enfocado principalmente a la construcción de caminos y promovido por la Asociación de Cemento Portland (PCA), a través de publicaciones dadas a conocer a nivel mundial.

Los países que, siguiendo el ejemplo de los E.U.A. alentaron el desarrollo del suelo-cemento, fueron Alemania y Argentina. Durante la segunda guerra mundial, Alemania empleó esa técnica en sus construcciones militares, mientras que Argentina la ha

aplicado a pavimentos.

Este procedimiento, además de aplicarse a la construcción de caminos, también se ha utilizado en programas de viviendas de interés social en países como India, Brasil, Colombia y África.

En México, se han tenido pocas aplicaciones por lo que se tiene poca experiencia en el campo de la construcción de pavimentos, mientras que en vivienda se tiene mucho interés en poder usar el suelo-cemento para tener una solución al problema habitacional.

Tipos de mezclas suelo-cemento y sus usos.

Aunque en general, a cualquier proporción entre suelo y cemento se conoce como "suelo-cemento", se hace una clasificación de acuerdo al grado de estabilización requerida en cuanto a resistencia y durabilidad.

a) Lo que se llama propiamente suelo-cemento es la mezcla ya definida, que debe cumplir con ciertas especificaciones mínimas de resistencia y/o durabilidad. Sus principales usos son: bases, sub-bases, acotamientos y taludes de pavimentos para caminos y calles, en cortinas, diques, vasos de presas, en algunos elementos estructurales como tabiques y otros similares.

b) Suelos modificados con cemento. Es una mezcla semejante a la anterior, pero con cantidades menores de cemento; no se controla tan cuidadosamente los requisitos de resistencia y durabilidad. Se emplea principalmente para aumentar el valor relativo de soporte y disminuir la plasticidad de los suelos; mejorar la subrasante, la sub-base, y la base de un pavimento, reduce el espesor del mismo.

c) Suelo-cemento plástico. Es la misma mezcla de suelo y cemento equivalente al concreto hidráulico pobre, en el que los agregados no cumplen con los requisitos. A este material se le agrega agua suficiente para producir un tiempo de fraguado y consistencia igual a la del mortero arena-cemento. Se usa en revestimientos de canales, en estructuras que controlan la erosión y en general, en taludes cuya inclinación sea mayor de 5:1.

Propiedades

Entre las propiedades más importantes que adquiere una mezcla de suelo-cemento están las siguientes:

- Resistencia a la compresión. Se han llevado a cabo experimentos para determinar la variación de la resistencia en diferentes tipos de suelo, se ha comprobado que aumenta casi linealmente con el contenido de cemento. La figura 4.2 muestra este comportamiento.

- Módulo de rotura (Resistencia a la flexión). La figura 4.3 indica la correlación del suelo: contenido de cemento y edad con el módulo de rotura, la tendencia de la gráfica es similar que la anterior (4.2), el módulo aumenta con la edad y con el contenido de cemento. Utilizando cuatro tipos de suelos con las propiedades señaladas en el cuadro 4.3, se hicieron espectáculos para módulo de rotura, vigas de 10.5 x 10.5 x 29 cm, moldeadas y compactadas, a contenido de humedad y densidad óptimos.

- Durabilidad. La resistencia al intemperismo se mejora con la adición de cemento a un suelo, aunque no existe un criterio para valorar esta propiedad.

- Contenido de humedad óptima y densidad máxima. El determinar estos valores no representa muchas dificultades, ya que prácticamente son iguales a las del suelo sin cemento.

- Resistencia a la tensión. Al igual que la resistencia a compresión, los factores que determinan el incremento de la resistencia a tensión son la cantidad de cemento y la edad. La figura 4.4 muestra una correlación entre ambas resistencias, la de compresión se midió con los métodos tradicionales y la de tensión con la prueba de tensión uniaxial sobre especímenes cilíndricos. Esta gráfica muestra que la resistencia a compresión supera con mucho a la de tensión para un contenido de cemento dado.

Factores que afectan las propiedades del suelo-cemento.

Las propiedades del suelo-cemento varían con los siguientes factores:

- La naturaleza del suelo
- La cantidad de suelo, cemento y agua en la mezcla
- Mezclado y compactado
- Condiciones de hidratación del cemento
- Condiciones de curado y edad de la mezcla
- Aditivos

Algunas propiedades del suelo-cemento son: resistencia a la compresión, a la flexión (módulo de rotura), módulo de elasticidad, cambios volumétricos, relación de Poisson, propiedades térmicas, etc. El índice de plasticidad de esta mezcla, es un valor que representa la factibilidad de estabilizar un suelo económicamente con cemento.

Entre los factores dentro del suelo que hacen variar las propiedades del suelo-cemento, se pueden mencionar: el tipo de suelo, el porcentaje de agregados retenido en la malla No. 4 (apertura 4.76 mm), el contenido de arcilla, el límite líquido, el índice de plasticidad, la composición química en general, la cantidad de materia orgánica, el contenido de sulfatos, el grado de pulverización y el contenido de humedad al tiempo de la compactación.

A excepción del contenido de materia orgánica que es una condición desventajosa en el tratamiento de los suelos, los demás factores son tan diversos como los tipos de suelos, y no se ha encontrado alguno que tenga una influencia dominante en las propiedades de la mezcla. Como consecuencia de esto se recomienda para cada obra en específico, hacer ensayos de laboratorio para encontrar la mejor proporción posible ante los factores anteriores que se consideren tengan mayor importancia.

A continuación se va a señalar la influencia que puede tener algunos de esos factores:

- Límite líquido e índice de plasticidad. Se ha observado que la elasticidad tiene mucha influencia en las propiedades de la mezcla suelo-cemento; sin embargo, existen casos en que otras características del suelo tienen influencia más fuerte, que han impedido se establezca una relación obvia entre la plasticidad y la proporción de la mezcla. Aunque se han encontrado tendencias generales en suelos homogéneos para una correlación entre plasticidad y contenido de cemento.

En la figura 4.5 se muestra que el índice de plasticidad disminuye con el tiempo y, con aumento de cemento esta disminución se acelera.

- Estado del suelo. La experiencia ha mostrado que la calidad de una mezcla depende en una gran medida del estado del suelo durante las etapas de mezclado y compactado. Para que el suelo-cemento quede bien mezclado se debe pulverizar lo mejor posible el material. de esta manera se ignorara aumentar las cualidades de la mezcla: en un suelo arcilloso-limoso se aconseja que el 100% pase la malla No. 4 (se excluye grava o piedra), aunque se permite que el 50% no cumpla ese requisito ya que no afecta demasiado las propiedades de la mezcla pero con la condición de que esté con la humedad igual o superior a la óptima en el momento de la compactación. Si se ignora esta condición, la calidad de la mezcla puede ser afectada seriamente.

La densidad depende en gran parte de la humedad, y a su vez la densidad influye sobre la resistencia del suelo-cemento.

- Contenido de humedad. Para suelos arenosos y limosos, la resistencia a compresión se incrementa si el contenido de humedad es un poco menor que la óptima. ocurre el mismo efecto para suelos arcillosos con una humedad un poco mayor que la óptima.

- Densidad. Es un factor que influye de manera importante en la resistencia y durabilidad de una mezcla de suelo-cemento. Para algunos suelos y contenidos de cemento se ha verificado que existe una relación casi lineal entre la resistencia y la densidad. Si hubiera una disminución del 5% en la compactación relativa, produciría una reducción en la resistencia mayor que si

la disminución fuera en el cemento en un 10 a 15% en peso.

La figura 4.6 muestra la relación general que existe entre densidad, contenido de humedad y resistencia a la compresión simple. Se tiene que para un mismo porcentaje de vacíos hay una relación directa entre el contenido de humedad y densidad. Asimismo, se muestra que un aumento en la densidad significa un aumento en la resistencia.

- Contenido de cemento. Aportando una determinada cantidad de cemento se pueden cambiar las propiedades de un suelo como son: la elasticidad, los cambios volumétricos, la resistencia, etc. Se han dado a conocer muchas relaciones entre el contenido de cemento y sus efectos en algunos tipos de suelos. En las figuras 4.7, 4.8 y 4.9, se muestran los efectos del cemento en suelos: arenosos, arcillosos limosos y limo arcillosos, respectivamente.

- Agua. Esta debe ser en cantidad suficiente para la adecuada hidratación del cemento. En el periodo de curado no es conveniente que se pierda agua por evaporación.

- Temperatura. Los indioses han realizado algunas investigaciones sobre la influencia de la temperatura en la resistencia de la mezcla suelocemento, llegando a las siguientes conclusiones:

a) La resistencia a la compresión aumenta, después de los siete días, cuando la temperatura se eleva de 2 a 3.5% por grado centígrado cuando la temperatura está cercana a los 25°C.

b) En clima frío (arriba de 0°C), la mezcla se endurece.

c) Suponiendo que solo la resistencia a la compresión

determina la calidad de una mezcla, entonces se requiere menos cemento en clima caluroso que en clima frío.

d) Como consecuencia del punto anterior y como la temperatura ambiente es variable, las mezclas de suelo-cemento construidas durante clima caluroso deberán ser de 50 a 100% más resistentes que mezclas semejantes elaboradas durante tiempo frío.

- Aditivos. Para mejorar las propiedades del suelo-cemento se han realizado varios experimentos usando aditivos, semejando a los del concreto. Algunos aditivos que se han usado son: la cal hidratada, cenizas muy finas, fluoruro de calcio, y algunos elementos orgánicos como cloruro de sodio, cloruro de potasio, perborato de potasio, hidróxido de potasio, etc. Antes de usar algún aditivo, es conveniente cambiar la proporción de la granulometría del suelo, tal vez así se logre la mejora requerida. Si se opta por emplear un aditivo es necesario cerciorarse de que no vaya a afectar a las demás propiedades positivas.

En el fraguado del cemento puede ocurrir un efecto desfavorable en el intento de mejorar la resistencia de un suelo, depende del hecho de que coincida o no con la contracción por secado de la mezcla, ya que el fraguado es relativamente rápido. Esto se tiene que dar después de que el elemento que se fabrique tenga la forma y compactación definitiva. Lo que sucede en el fraguado del elemento dentro del suelo, es un fenómeno que se puede interpretar de la siguiente manera: se forma una estructura sólida, donde el cemento envuelve las partículas de la tierra

quedando como material inerte.

En el caso de que el contenido de cemento sea pequeño, un 5% en peso, dicha estructura será débil, aunque de todos modos interviene en la contracción del suelo. La debilidad se acentúa si ocurre el secado en el momento del fraquado. Es necesario que la tierra pierda volumen libremente, de otra manera pierde resistencia dada por la plasticidad en estado seco, quedando solo con la resistencia proporcionada por la débil estructura del cemento, pudiendo ser menor que la de la tierra sola.

Cuando se emplea un contenido de cemento ordinario, 10% en peso, y el fraquado ocurre en las condiciones adecuadas de humedad y sin contracción, la estructura mencionada tendrá más resistencia, superando a la del suelo solo.

Independientemente de los resultados positivos o negativos en la mayoría de la resistencia mecánica de la mezcla, la cualidad que se obtiene es la impermeabilidad, a mayor cantidad de cemento se incrementa la resistencia a los efectos del agua.

Finalmente, el hecho de que la contracción por secado sea uno de los factores principales que determina la estabilización con cemento, limita su aplicación a tierras de poca plasticidad, para tener más posibilidades de éxito.

Recomendaciones

Los fenómenos químicos que ocurren en la mezcla suelo-cemento-agua no son comprendidos totalmente todavía, se sabe que consisten en reacciones del cemento con los componentes silíceos de los suelos; en suelos gruesos, forman conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; en los suelos arcillosos,

el proceso que se da es muy complejo y poco comprendido, pero se puede describir de la siguiente manera: debido al contacto del cemento y agua se forma hidrato de calcio que libera iones de ese elemento, muy avidos de agua, la toman de la que existe entre las laminillas de arcillas; los efectos de todo esto, son la disminución de la porosidad y plasticidad del suelo, así como el aumento en su resistencia y durabilidad.

El contenido de materia orgánica en un suelo resulta perjudicial en las aspiraciones de mejorar sus propiedades, ya que los ácidos orgánicos poseen fuerte atractivo por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento y los captan, haciendo difícil la aglutinación del cemento en los suelos arcillosos o la estabilización de las partículas laminares en las arcillas. Debido a esto, se recomienda que el contenido de materia orgánica sea menor a 2% en peso.

De la misma manera, es preciso evitar la presencia de sulfatos de calcio, de magnesio u otras sustancias avidas de agua, ya que quitan a los aglomerantes la humedad necesaria para realizar su función.

En cuanto al tipo de cemento a usar, se ha concluido que todos dan buenos resultados en la estabilización de suelos, con mayor frecuencia se utilizan los de fraguado y resistencia ordinarios. En el caso de que su suelo contenga materia orgánica, es conveniente emplear un cemento de alta resistencia para nulificar sus efectos desfavorables; y cuando la mezcla suelo-cemento se tenga que hacer en condiciones climatológicas de baja temperatura, resultan adecuados los de fraguado rápido o los

que tienen como aditivo el cloruro de calcio.

El tamaño de las partículas del cemento también tiene influencia en los resultados del mejoramiento de los suelos, normalmente su tamaño varía entre 0.5 y 100 micras, con un promedio de aproximadamente 20 micras. La hidratación de las partículas más grandes tal vez no se lleva a cabo nunca y las de 10 micras pueden tardar varios meses en lograrlo; en este sentido, lo que resulta más ventajoso es el uso de cemento fino debido a que, además de favorecer dicho fenómeno, se logran resistencias más altas; la única limitación en este caso es la cuestión económica que se presenta al usar los costosos cementos finos.

Otra alternativa que se puede seguir es la de sustituir las partículas gruesas del cemento normal por un relleno inerte, con esto se logra reducir el consumo de agua y se evitan las altas temperaturas en la etapa de hidratación, también, se reduce el agrietamiento.

La principal condición para que pueda ser tratado un suelo con cemento, es que tenga solo pequeñas cantidades de materia orgánica; como ya se había señalado, si se cumple se lograra mejorar su comportamiento mecánico; los inconvenientes que se tienen son: la dificultad de lograr un buen mezclado del cemento en arcillas suaves y húmedas o las que se encuentren en suelos gruesos que en realidad no requieren ser estabilizados debido a que tienen buenas propiedades y el uso del cemento probablemente causaría problemas como el agrietamiento.

Es recomendable que el suelo tenga las siguientes características: que menos del 50% pase la malla N^o. 200 (apertura igual a 0.75 mm), límite líquido inferior a 50% e índice plástico no exceda de 18%.

Cuando se tengan arcillas muy plásticas que rebasen los dos últimos valores indicados, puede ser necesario darle un tratamiento primario con el fin de reducir su plasticidad y mejorar su trabajabilidad; para esto se requiere mezclarle cal hidratada o el mismo cemento en 2 o 3% en peso, durante un periodo de curado de 2 a 3 días. Para finos menores que la malla N^o. 200 se puede seguir el mismo procedimiento, aunque existen más opciones como el lavado.

El agua que se debe agregar a la mezcla suelo-cemento debe estar libre de materia orgánica, sulfatos y sales; y en cantidad suficiente para los requerimientos de compactación, en primer lugar, y de la estabilización en segundo lugar.

El aspecto básico que rige la estabilización es la proporción suelo-cemento. Se ha establecido que entre mayor sea la cantidad de cemento en la mezcla, la mejoría en las propiedades del suelo serán más notorias; esto tiene como limitante la cuestión económica.

Para comprobar la durabilidad del suelo-cemento en los primeros años de su uso, se hacían especímenes con proporciones variables de cemento; se dejaban curar durante 7 días para que después fueran sometidos a 12 ciclos de congelamiento y deshielo o bien de humedecimiento y secado. La medida de durabilidad que tomaban era la pérdida de peso de los especímenes al cenitiales

el material suelto. Asimismo se medía el aumento de volumen por expansión de algunos suelos. En base a la poca experiencia o por criterio, se seleccionaba la proporción adecuada.

Los británicos tenían otra manera de verificar la calidad de la mezcla, hacían una prueba de compresión simple y exigían como mínimo una resistencia de $17.5/cm^2$ a una temperatura de 25° previamente, durante el periodo de curado de siete días, la humedad de los especímenes se mantenía constante. Se ha visto que en suelos gruesos como las gravas, se alcanza esa resistencia con un porcentaje de cemento muy bajo; al utilizar un porcentaje ordinario, 10% en peso, puede lograrse una resistencia de 100 kg/cm^2 con la consistencia de un concreto pobre y resistencia sobrada, pero muy propensa a agrietamientos. En la actualidad se aconseja que la resistencia no rebase los 55 kg/cm^2 para dar un comportamiento flexible a una capa de suelo-cemento y evitar la formación de grietas.

En general, no existe un método confiable para diseñar las proporciones de las mezclas suelo-cemento, por lo que se requiere de criterios auxiliares para definir la cantidad de cemento a usar, estos son la experiencia y la economía.

4.2.2 Estabilización con cal.

Antecedentes

Existen indicios de que la estabilización de la tierra con cal se utilizó por primera vez en la construcción de la Vía Ania, Ancoese a la antigua Roma.

Desarrollo

La adición de cal al suelo para mejorar sus propiedades es

una técnica similar al suelo-cemento, pero con dos diferencias fundamentales: la primera, es que la cal tiene una aplicación más ventajosa en materiales arcillosos, no así en suelos gruesos; la segunda, es la acentuación cada vez más difundida del empleo de la cal para un pre-tratamiento de los suelos y por lo general no cumple con los requisitos de una estabilización definitiva.

La cal que se usa con mayor frecuencia es la cal hidratada, óxidos o hidróxidos de calcio; la cal viva se usa en los pre-tratamientos con suelos húmedos.

Basicamente la reacción química que origina la cal sobre los minerales del suelo produce tres efectos: 1) al entrar en contacto con los minerales de la arcilla forma silicatos de calcio que a su vez producen un compuesto cementante de mayor resistencia mecánica y al intemperismo, 2) disminuye la elasticidad de las arcillas haciéndolas más trabajables y fáciles de compactar, además de contribuir a su estabilidad volumétrica y 3) ayuda a los suelos poco plásticos adquirir algo de cohesión.

Es conveniente que la adición de cal sea en tierras con propiedades extremas para que las mejoras sean más notables.

La reacción química es lenta en temperaturas normales, pero se acelera a temperaturas mayores de 500f., por lo que la estabilización con cal es más eficaz en este segundo caso.

Como aditivos a la mezcla suelo-cal se pueden emplear los silicatos de sodio. Las conclusiones de algunas pruebas de laboratorio indican que con una pequeña cantidad de esos silicatos, aunados a un contenido ordinario de cal hidratada (de 6 a 10% en peso), se obtienen muy buenos resultados.

La estabilización con cal no funciona con suelos orgánicos (al igual que ocurre con el cemento), ni en suelos que no tengan arcilla. En cambio, con las gravas arcillosas se tienen buenos resultados que incluso se llega a superar la resistencia que se obtendría al tratar con cemento.

Es recomendable no usar agua acida en la mezcla suelo-cal; el agua de mar se ha usado con frecuencia, aunque se debe evitar en la construcción de caminos, pues al colocar una capa de asfalto sobre el suelo tratado, la cristalización de las sales queprende el sello capa-suelo. La cantidad de agua que deberá emplearse es la necesaria para compactación.

Propiedades

Resistencia. La figura 4.10, muestra la variación de la resistencia a la compresión simple de varios suelos para un contenido de cal. Esta figura indica que en general hay una relación directa hasta un cierto valor de aproximadamente el 8% de contenido de cal en peso, para el cual el aumento en resistencia es insignificante, con excepción de los suelos más arcillosos en donde la relación se sigue cumpliendo para contenidos del 10%, y ligeramente mayores. Es aquí donde se establece otra diferencia con las estabilización con cemento, en donde la resistencia sigue aumentando con el contenido de ese material.

Plasticidad. La cal disminuye el índice de plasticidad de tierras muy plásticas como son: montmorillonitas, bentonitas, etc.; prácticamente no tiene influencia en los suelos de plasticidad media y puede aumentar a los finos que casi no tienen

esta propiedad.

Factores que influyen en las propiedades del suelo-cal.

La edad de la mezcla. Es un factor que interviene decisivamente en el aumento de la resistencia a la compresión simple, como se ilustra en la figura 4.11.

El tiempo de curado. En la figura 4.12, se muestra la influencia en la resistencia del tiempo de curado y la adición de pequeños porcentajes de aditivos (de 1 a 2%). En esta figura se observa que los efectos de los aditivos superan a los de la cal hidratada sola. En todos los casos se estabilizó un limo con 10% en peso de cal hidratada.

En la figura 4.13, se señalan los diferentes efectos de estabilizar el suelo con cal y con cemento. En un principio, es más fuerte y consistente el efecto de la cal, pero al comenzar la hidratación del cemento sus efectos son mayores. Las resistencias de estas dos mezclas se comparan con la de arcillas sin tratamiento.

4.2.3 Estabilización con asfalto.

La adición de asfalto al suelo para mejorar sus propiedades es una técnica que ha tenido mucha aceptación debido a los buenos resultados obtenidos.

Tipos de productos asfálticos.

Existen tres tipos de productos asfálticos usados para este fin:

- 1) Productos bituminosos. Son sistemas anhidros de hidrocarburos solubles en bisulfuro de carbono.
- 2) Productos asfálticos. Son derivados de la destilación y

refinamiento del petróleo y escasamente asfaltos naturales.

3) Productos residuos de la destilación destructiva de la materia orgánica como: carbón, algunos aceites, lignitos, turbas y madera (aloutranes).

Los productos bituminosos y asfálticos se encuentran en estado viscoso. Para que se puedan resolver con los suelos, se deben calentar (hace emulsiones con agua) o rebajarlos con gasolina o algún otro solvente volátil. En el tratamiento de los suelos se usan con mayor frecuencia las emulsiones, los asfaltos rebajados en general se obtienen de las refinarias, las emulsiones son elaboradas por algunas industrias.

La tabla 4.4 indica las características más comunes de algunos productos asfálticos.

Los solventes para rebajados más usuales son: la gasolina, kerosena y una mezcla de kerosena y diesel para que, respectivamente, den lugar a los rebajados de fraguado rápido, medio y lento.

Las emulsiones son suspensiones de partículas finas de asfalto en agua, cuando se coagula (también se conoce como rompiamiento) se liga al suelo. La efectividad de esta unión es determinada por el tiempo en que ocurre la coagulación, si ocurre muy rápido, la unión será muy deficiente, por lo que se recomienda no usar emulsiones de rompiamiento rápido.

Entre las mayores ventajas de usar asfalto como estabilizante, es el hecho de mejorar la impermeabilidad y proporcionar cohesión prácticamente a todos los tipos de suelos con la particularidad de que hay mejores resultados con arenas y

gravas arenosas. Estos efectos se ven más claramente en suelos de propiedad extrema, a los cohesivos los protege de la acción del agua, y a los granulares les proporciona cohesión.

Posibles dificultades en la mezcla suelo-asfalto.

a) Pueden presentarse problemas de adherencia entre los dos componentes (en arenas muy limpias), debido a que se puede romper la liga entre ambos.

b) Con los suelos húmedos, durante la etapa de estabilización si se agrega más líquido del necesario puede provocar inadecuada compactación, por el exceso de humedad.

c) En arenas limpias y húmedas con finos de no más del 3% pasando la malla No. 200, es adecuado darle un pre-tratamiento con 1 ó 2% en peso de cal para mejorar la adherencia asfalto-partículas de arena.

d) No es conveniente la presencia de materia orgánica, ni la concentración de sales.

e) No hay problema al usar cualquier tipo de agua dulce.

Propiedades y factores que influyen.

Peso volumétrico seco. El asfalto rebajado disminuye el peso volumétrico seco, aunque no tiene mucha importancia, debido a la mejoría tan notable de sus propiedades mecánicas.

Resistencia. En forma general, el comportamiento de la mezcla mejora entre mayor sea la participación del asfalto. En específico, en lo que se refiere a la resistencia a la compresión simple, se tiene dos situaciones que dependen del tipo de suelo. En la primera: para los suelos tipos el aumento en contenido de asfalto no significa un incremento de la resistencia, como se ve

En la figura 4.14, donde se usaron especímenes de limo arcilloso, la resistencia permanece constante para diferentes porcentajes de asfalto, en una mezcla compuesta con emulsión asfáltica; la segunda se presenta en suelos friccionantes, en donde a mayor contenido de asfalto aumenta esta propiedad, hasta un valor donde comienza a decrecer. En la misma figura, se observa que el agua influye directamente en el comportamiento de la mezcla, al rehumedecer la misma mezcla de limo arcilloso y emulsión, la resistencia aumenta ilimitadamente.

Esto no significa que sea conveniente el uso de contenidos muy elevados de asfalto en una mezcla, por la consecuencia de saturar la etapa líquida que surge en el trato con asfaltos rebajados con solventes o emulsiones con agua, que hacen a la mezcla plástica y de poca resistencia.

Otro factor que interviene en la resistencia, es el periodo de curado. Entre más largo sea ese periodo y se looren altas temperaturas, será mayor la pérdida de solventes que acompaña a los rebajados; generalmente cuanto más solventes se disipan es mayor la resistencia.

Estabilidad ante el agua. Básicamente se pretende proporcionar esta cualidad a los suelos cohesivos. El asfalto actúa positivamente aumentando considerablemente la estabilidad.

Se ha establecido que el porcentaje de asfalto más adecuado es de 5% en peso o menor.

4.2.4 Otros

Estabilización por coacción.

Esta forma de estabilización implica, en primer lugar, la

disponibilidad de combustible en la región; en segundo lugar, la tierra debe tener características plásticas y arcillosas, para que sea factible fabricar tabiques de mayor resistencia mecánica y al intemperismo, que la tierra sin cocer.

Las dimensiones de las piezas deben tener una relación entre sí de uno a dos; es decir, el largo del tabique es el doble que su ancho y éste a su vez debe ser el doble que su grueso; pueden ser del orden de 20X14X7 ca.

Antes de meter al horno las piezas de tierra, se realizarán cuidadosamente las siguientes etapas:

a) Batir el barro con agua, en tal cantidad que forme una mezcla manejable (no gruesa), y no haya dificultad al llenar el molde y de ser posible que ante un desmoldo inmediato no se deforme la pieza excesivamente.

b) Los moldes deberán ser colocados sobre una superficie que permita la contracción del material. Los bloques se desmoldarán de inmediato.

c) Las piezas se dejarán secar en la posición inicial en que se colocaron, hasta que se puedan colocar de canto sin dañarse, entre mejor sea el serido más fácil será su colocamiento en el horno.

Estabilizantes químicos.

Se clasifican en dos grupos: los de naturaleza inorgánica y los de naturaleza orgánica; los primeros se subdividen a su vez en estabilizantes de tipo ácido, neutral y alcalino. El primero y el tercero de estos grupos actúan atacando químicamente los componentes del suelo, en especial los minerales de arcilla.

produciéndose en la reacción conjunta de los
Los estabilizantes neutros, básicamente, alteran las propiedades físicas del suelo, como el peso volumétrico. Algunos estabilizantes de tipo químico son:

a) Cloruro de sodio. Es un estabilizante de acción poco durables; se puede usar en todos los suelos, excepto en los que contienen materia orgánica ya que reduce su efecto. Actúa como floculante, de manera que ayuda en la compactación. La sal común reduce la permeabilidad en las arcillas, lo que sirve para tratar a las expansivas. También beneficia a la resistencia del suelo y contribuye a un mejor comportamiento ante la congelación. Su principal desventaja, es que la sal es muy soluble y por lo mismo es lavada fácilmente.

b) Sulfatos de calcio (veso y cloruro de calcio). El efecto de estas sustancias es similar a la del cloruro de sodio. Sin embargo, son menos notables en la compactación y permeabilidad.

c) Resinas polímeros. La resina más utilizada (sobre todo en Europa) es el vinsol. Los resultados que se han obtenido son variables, pero tienden a ser positivos; su principal efecto es el aumento de resistencia ante el agua. Los contenidos normales de resinas y polímeros están entre 1 y 2% del total de la mezcla y su aplicación es solo a los suelos Arcillos.

Debido a su origen orgánico son de fácil degradación en presencia de bacterias, lo que limita su vida útil. Dada la inconsistencia de los tipos de suelos, su uso de se justifica pocas veces, además de que la sal (más barata) puede sustituirlos y ser más efectiva.

CAPITULO 5
PROPIEDADES MECANICAS DE LA
MAMPOSTERIA DE ADOBE
(ESTUDIO EXPERIMENTAL)

5.1 INFORMACION EXPERIMENTAL EXISTENTE.

Los estudios y pruebas de laboratorio realizados en México sobre el comportamiento de la mampostería de adobe han sido muy pocos. Sin embargo, estos resultados y los obtenidos por otros países han sido los suficientes como para dar las recomendaciones adecuadas y los requisitos mínimos que deben reunir las viviendas de adobe. A continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

Primeramente se explican las diferentes modalidades típicas de ensayos que se utilizan para determinar las propiedades mecánicas más elementales de la mampostería. Después, se describe el comportamiento y modos de falla observados en los diferentes tipos de ensayos, tanto para los muros como para las piezas y morteros con que están formados. Finalmente, se presentan los tipos de ensayos realizados y los resultados obtenidos en el estudio experimental.

5.1.1 Resistencia a compresión de las piezas.

Modalidades típicas de ensayo.

La resistencia a compresión se determina generalmente sobre una mitad de la pieza. Los especímenes deben ser secados al aire libre al menos una semana. No menos de tres piezas deben ser ensavadas. La resistencia así determinada no es un índice uniforme de calidad, ya que los resultados obtenidos en piezas de

materiales o geometrías distintos no son comparables y no se relacionan en la misma forma con la resistencia que puedan tener las piezas de un elemento estructural. Por lo tanto, la prueba no es representativa de la resistencia de la mampostería, simplemente, señala sus cualidades, es útil para decidir cuál suelo es el mejor.

5.1.2 Resistencia a compresión del mortero.

Modalidades típicas de ensayo.

"Las propiedades del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería, son probablemente su deformabilidad y adherencia con las piezas; de la primera propiedad dependen en gran medida las deformaciones totales del elemento de mampostería y en parte su resistencia a carga vertical; de la segunda, la adherencia entre el mortero y las piezas, se define frecuentemente la resistencia por cortante del elemento".

La resistencia a compresión del mortero no tiene una influencia preponderante en el comportamiento estructural de la mampostería; sin embargo, el control de calidad del mortero se basa en la determinación de esta propiedad a través de ensayos en cubos de 5 cm de lado.

Recomendaciones.

- La resistencia del mortero debe ser cuando menos igual a la de las piezas para asegurar que se alcancen las mismas características del conjunto.
- Deben ser usados morteros estándar o suelo-cemento como se indica en la siguiente tabla.

Morteros recomendados

MORTERO	ESTANDAR CEMENTO-CAL-ARENA	CEMENTO-SUELO*
PROPORCIÓN (EN VOLUMEN)	1:0: (3 a 4.5) 1: (0.5 a 1.0) : (4.5 a 6.0)	1:4

* El suelo debe ser no-plástico.

- El uso de cal como único cementante está prohibido.

- La cantidad de agua necesaria debe ser la mínima requerida para obtener una mezcla trabajable.

5.1.3 Resistencia a compresión de la mampostería.

Modalidad típica de ensayo.

Para la prueba de compresión es necesario construir un espécimen (pila) formado por varias piezas sobrepuestas hasta obtener una relación altura a espesor de la pila de aproximadamente cuatro. Sin embargo, se puede construir la pila con cuatro adobes, ya que se ha observado que para adobes los resultados presentan en pocas variaciones cuando el número de juntas es superior a tres, y son prácticamente independientes del espesor de la pila ensayada.

Resistencia de diseño.

Al recomendar valores de diseño para las diversas propiedades hay que tomar en cuenta la variabilidad proveniente

de las diferencias en los tipos de suelos y en los procedimientos de fabricación empleados. Un criterio propuesto (ref. 7) para tomar en cuenta esta variabilidad es emplear en el diseño por resistencia un valor nominal del esfuerzo resistente el cual tiene una probabilidad de 2 por ciento de no ser alcanzado, y determinarlo en forma aproximada a partir de la información estadística con la expresión:

$$f_m = f_a / (1 + 2.5 cv) \quad (5.1)$$

donde:

f_m es el promedio de la resistencia a compresión.

cv es el coeficiente de variación.

Comportamiento y modos de falla.

El comportamiento y modos de falla dependen fundamentalmente de la interacción de piezas y mortero; esto puede interpretarse en la forma siguiente: las piezas y el mortero tienen características esfuerzos-deformación diferentes, por lo tanto, al ser sometidos a un mismo esfuerzo se produce una interacción entre ambos que consiste en que el material menos deformable (las piezas en general) restringe las deformaciones transversales del material más deformable, introduciendo en él esfuerzos de compresión de dirección transversal. Por lo contrario, en el material menos deformable se producen esfuerzos transversales de tensión que disminuyen su resistencia respecto a la que se obtiene en el ensayo de compresión simple del material aislado. Este fenómeno se observa en la figura 5.1, donde se muestra la distribución de esfuerzos y deformaciones obtenida de un análisis mediante elementos finitos de una pila en compresión. (ref. 15).

El modo de falla más común en la mampostería es a través de grietas verticales en las piezas, producidas por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando este asentamiento vertical se vuelve excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y su falla. Para piezas de baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de las piezas mismas. El aplastamiento del mortero no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste, cuando se aplasta, es retenido por fricción con las piezas, y el conjunto puede soportar cargas mayores; sin embargo, en elementos espeltra el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad.

Recomendaciones.

La prueba para determinar la resistencia a compresión es útil cuando se va a realizar un programa de construcción masiva, sino, es suficiente considerar los siguientes valores:

TIPO DE ADOBE	ESTABILIZADOS		NORMAL (O TRADICIONAL)
	ESTANDAR	SUELO/CEMENTO	ESTANDAR O SUELO-CEMENTO
MORTERO			
RESISTENCIA ADMISIBLE (KG/CM ²)	8	6	5.5

Si es usado el método de diseño por esfuerzos permisibles, debe ser aplicado un factor de seguridad de 2.5.

5.1.4 Resistencia a la tensión diagonal.

Modalidad típica de ensayo.

La prueba es representativa de la resistencia de la mampostería ante cargas laterales (sismo). El espécimen está formado por un adobe y medio en planta y suficientes hileras para formar un muro cuadrado.

Resistencia de diseño.

La resistencia de diseño se calcula con la siguiente ecuación, según referencia 7.

$$f_{vd} = \bar{y}_m / (1 + 2.5 \cdot cv) \dots \dots \dots (5.2)$$

donde:

\bar{y}_m es el promedio de la resistencia a la tensión diagonal.

cv es el coeficiente de variación.

Comportamiento y modos de falla.

El comportamiento de la mampostería depende de la combinación de las cargas aplicadas, ya que éstas introducen esfuerzos principales de tensión con distintas inclinaciones con respecto a las juntas. También variando la relación de lados del muro se introducen esfuerzos principales de tensión que guardan distintos ángulos con las juntas (fig. 5.2).

La falla de un muro por efecto de fuerzas horizontales ocurre generalmente a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. La grieta diagonal puede ser de dos tipos, dependiendo de las características de los materiales y de la distribución de esfuerzos inducida. Puede ser una grieta de

tensión que atraviese indistintamente las piezas y mortero (fig. 5.3), esto sucede si la adherencia en las juntas es muy buena o si existe una carga vertical alta que restringe por fricción el deslizamiento de las juntas; también es típica de muros altos y de poca longitud, en los que el empuje a lo largo de la diagonal produce compresiones elevadas perpendiculares a las juntas. El otro tipo de grieta diagonal se debe al deslizamiento de las piezas sobre las juntas por efecto de esfuerzos tangenciales (fig. 5.4), esto ocurre si la adherencia entre el mortero y la pieza es baja, si la carga vertical no es muy grande, y en muros alarados en los que la carga diagonal produce compresiones despreciables perpendiculares a las juntas.

Recomendaciones.

Si la prueba de tensión diagonal no es realizada, se pueden tomar los siguientes valores:

TIPO DE ADOSI	ESTABILIZADOS		NORMAL (O TRADICIONAL)
	ESTANDAR	SUELO/CEMENTO	ESTANDAR O SUELO-CEMENTO
RESISTENCIA ADMISIBLE (KG/CM ²)	1.2	8.7	8.7

Si es usado el método de diseño por esfuerzos permisibles, debe ser aplicado un factor de seguridad de 2.5.

Para obtener resultados representativos de la resistencia de la mampostería de adobe, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los adobes deben ser ligeramente humedecidos antes del juntado.
- El espécimen debe ser ensayado al menos dos semanas después de su construcción.
- Un mínimo de nueve especímenes deben ser ensayados para ver la variación estadística.

Para complementar la información anterior, se presentan los resultados y conclusiones obtenidas en un estudio experimental realizado en el Instituto de Ingeniería, UNAM, (ref. 7). Este estudio sólo se refiere a las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, tuvo como principal objetivo determinar las propiedades de la mampostería de adobe, construidos con distintos tipos de suelo y características, de diferentes regiones de la república seleccionadas entre las de mayor riesgo sísmico. Los resultados para cada procedencia del adobe se muestran en la tabla 5.1, en ésta se observa que el intervalo de variación para las propiedades es amplio y que los valores promedio para la resistencia en compresión y tensión son 10 y 3 kg/cm², respectivamente.

Para el estudio de las propiedades mecánicas del conjunto adobe-mortero, se fabricaron adobes en laboratorio buscando que tuvieran propiedades representativas de las encontradas en las

muestras antes mencionadas. Se eligió un tipo de suelo con el que se obtenían resistencias de 15 y 3,2 kg/cm^2 a compresión y tensión por flexión, respectivamente. Aunque la resistencia a compresión era superior al promedio de los adobes obtenidos en el muestreo, se consideró que la propiedad más importante a reproducir era la resistencia en tensión.

Con estos adobes fabricados en laboratorio se construyeron muretes en los que se realizaron ensayos de compresión, cortante y flexión en las modalidades típicas para estudios de mampostería. Se construyeron especímenes con diferentes morteros y empleando adobes de dos tamaños, 10×15 y $4 \times 16 \times 24$ cms. Se obtuvieron resultados muy similares para los dos tamaños de adobes por lo que las pruebas siguientes se realizaron con los adobes más pequeños.

En la tabla 5.2 se muestran las modalidades típicas de ensayo y resume los resultados. En los ensayos se estudió el efecto del tipo de mortero en las propiedades, realizando efecto del tipo de mortero en las propiedades, realizando las pruebas en piezas unidas con lodo, y con morteros cal: arena (1:5), y cemento:cal:arena (1:2:9). Se observó que, cuando se usaban morteros con cemento o con cal, era necesario humidificar previamente los adobes, de lo contrario las piezas se desmenuaban durante el manejo, debido a que el adobe absorbía el agua necesaria para el fraguado del mortero; cuando los adobes se juntaban con lodo el humidificación previo no era necesario. Los resultados muestran que el tipo de mortero tiene poca influencia en la resistencia a compresión de los muretes, la cual es solo

ligeramente inferior a la resistencia de los adobes con que estos se construyeron. El tipo de junta tiene una influencia decisiva en la resistencia a cortante de la mampostería de adobe, esta es máxima cuando se emplea mortero de cemento y se reduce drásticamente para juntas de lodo y es todavía menor cuando se emplea en las juntas mortero de cal.

La resistencia en tensión por flexión de mureles de adobe es ligeramente inferior a la que se determina en los adobes solos. Los resultados indican que las propiedades de un muro juntado con lodo son semejantes a las de las piezas solas y que no existe reducción importante por efecto de las juntas; lo anterior indica que al juntar los adobes con el mismo lodo con que éstos se han fabricado se obtiene prácticamente un muro monolítico.

Las propiedades de la mampostería mostradas en la tabla 5.2 fueron obtenidas de especímenes que no habían sufrido deterioro por intemperización; se considera que la resistencia en tensión y cortante puede verse reducida de manera significativa por los abrietamientos que sufre el adobe. Estos abrietamientos se deben a las variaciones de humedad que provocan cambios volumétricos.

Los valores de diseño recomendados para las diversas propiedades se determinaron con las ecuaciones 5.1 y 5.2. Estas ecuaciones toman en cuenta la variabilidad proveniente de las diferencias en los tipos de suelos y en los procedimientos de fabricación empleados. Con ellas se han obtenido los valores siguientes para la resistencia de la mampostería de adobe a partir de los datos de las tablas 5.1 y 5.2, y suponiendo para la resistencia en cortante y en tensión por flexión un coeficiente

de variación de 0.3.

	kg/cm ²
Resistencia en compresión	5.3
Resistencia en tensión por flexión	1.5
Resistencia en cortante	0.7

Las resistencias anteriores son valores a la falla y no esfuerzos admisibles. Para obtener estos últimos debe aplicarse un factor de seguridad que, de manera semejante a lo propuesto para mampostería (ref. 7), se quiere sea 2.5. No se han tomado en cuenta en los valores propuestos la reducción en resistencia que puede presentarse por efectos de humedad. Cuando la ubicación de la vivienda, tipo de suelo y cimentación sean tales que el adobe pueda quedar humedecido por un lapso apreciable debido a la absorción de agua del subsuelo, las resistencias deben reducirse a la mitad. En las construcciones de nuevas viviendas deben evitarse con extremo cuidado las situaciones que puedan dar lugar a dicha absorción de agua.

5.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL

Alcance

El estudio experimental se orientó principalmente a la determinación de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe estabilizado, para después compararla con las de la mampostería de adobe normal (indicadas en el inciso 5.1).

En este punto se presentan los estudios de dos tipos de ensayos, que permiten definir el comportamiento de la mampostería ante distintas sollicitaciones. Los dos tipos de ensayos que se realizaron fueron:

- 1) Compresión (en pilas)
- 2) Compresión diagonal (en muretes)

Del primer ensayo se deducen propiedades que se relacionan con el comportamiento de muros a cargas verticales, mientras que el segundo se relaciona con la resistencia de muros ante cargas laterales (sismo).

También se realizaron ensayos en piezas y mortero con los cuales se construyeron las pilas y muretes. Es importante señalar que las resistencias obtenidas tanto en las piezas como en el mortero no tienen influencia preponderante en el comportamiento estructural de la mampostería, si no que únicamente sirve para señalar sus cualidades.

5.2.1 Especificaciones.

El mortero que se utilizó para elaborar las piezas y para las juntas tuvieron el mismo proporcionamiento 1:2:10 (cemento:cal:arena).

Elaboración de las piezas.

El primer lugar, se fabricaron las piezas (adobes), con las siguientes dimensiones 8.5 x 21.5 x 30.5. Una vez elaborados los adobes, se procedió a construir los especímenes para los diferentes ensayos.

Construcción de pilas.

Se construyeron 10 pilas en total, y con adobe estabilizado y una con adobe normal. Estas se formaron con una pieza en su base y cinco piezas superpuestas.

Construcción de muretes.

Se elaboraron un total de once muretes, nueve con adobe

estabilizado y dos con adobe normal. El espécimen se formó con un adobe y medio en planta y cuatro hileras con la finalidad de formar un muro cuadrado.

5.2.2 Descripción de los ensayos.

Compresión en pilas.

Se ensayaron diez pilas, nueve construidas con adobe estabilizado y una con adobe normal. El ensayo consistió en los siguientes puntos:

- El espécimen se colocó sobre la base de la máquina universal, teniendo mucho cuidado en la verticalidad de éste antes de la aplicación de la carga.

- Se aplicó la carga vertical gradualmente hasta llevar a la falla al espécimen.

- Se tomó nota de los tipos de falla y de la carga de falla. Los resultados se presentan en el punto 5.2.4.

- Para lograr una distribución uniforme de la carga sobre toda el área, se colocó una placa metálica en la cara superior de la pila (fig. 5.5).

Compresión diagonal en muretes.

Se ensayaron once muretes, nueve con adobe estabilizado y dos con adobe normal; siguiendo las siguientes etapas:

- El murete se colocó sobre la máquina universal de tal manera que la carga vertical estuviera aplicada sobre la diagonal de éste. (fig. 5.6).

- La carga se aplicó gradualmente hasta llevar a la falla al espécimen.

- Los tipos de falla y la carga máxima que soportó el murete se presentan en el punto 5.2.4.

Compresión en piezas.

En ensayo se llevó a cabo en un total de diez piezas enteras, nueve piezas estabilizadas y una normal.

- Para evitar concentraciones de esfuerzos en un solo punto de la pieza se acondicionó un capeado de azufre en las dos caras del adobe; también, se colocó una placa metálica sobre el capeado de azufre. (fig. 5.7).

- Se colocó la pieza en la máquina universal y se aplicó la carga gradualmente hasta llevarla a la falla.

Compresión en el mortero.

En los ensayos a compresión en el mortero se tuvo como objetivos: determinar la influencia del tiempo de secado en la resistencia del mortero y, determinar sus cualidades mecánicas. Un total de 27 cubos de 5 cm. de lado se ensayaron. Los primeros nueve cubos se ensayaron a la edad de once días, otros nueve cubos se ensayaron a la edad de doce días y los últimos nueve a la edad de 17 días. La prueba consistió en los siguientes puntos:

- Se colocó el cubo en la base de la máquina universal con los accesorios necesarios para realizar este ensayo (fig. 5.8).

- se aplicó la carga gradualmente hasta llevar al cubo a la falla.

5.2.3 Resultados.

En las tablas, 5.1, 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran los resultados y observaciones obtenidos en las pruebas de las piezas, mortero, pilas y muretes, respectivamente.

Los resultados, por lo que respecta a la resistencia de la mampostería, se presentan en el punto 5.2.5.

5.2.4 Modos de falla

Compresión en la mampostería.

El modo de falla que se presentó en la mayoría de las pilas ensayadas fue a través de grietas verticales en las piezas y juntas (figs. 5.9b a 5.9d). Solamente una pila falló por aplastamiento en compresión en las tres primeras piezas del espécimen (fig. 5.9a); este tipo de falla se debe posiblemente a la baja resistencia de los bloques usados en la fabricación del espécimen.

Tensión diagonal en la mampostería.

La falla de los muretes ocurrió a través de grietas inclinadas debidas a tensiones diagonales. De los once especímenes ensayados, nueve fallaron a través de una grieta diagonal que cruza indistintamente las piezas y el mortero (figs. 5.10c a 5.10f), en los muretes restantes la grieta se presentó a lo largo de la junta (figs. 5.10a y 5.10b).

El primer modo de falla sucede debido a la baja resistencia de las piezas y la buena adherencia de estas con el mortero; el segundo modo de falla fue precipitado por la debilidad de la unión pieza-mortero.

5.2.5 Resistencia de la mampostería.

La resistencia de la mampostería de adobe estabilizado se calculó utilizando el criterio recomendado en la ref. 7.

a) Resistencia en compresión simple.

Usando la ecuación 5.1 tenemos que:

$$f_m = f_m / (1 + 2.5cv)$$

$$f_m = 16.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$cv = 0.0943$$

$$f_m = 13.06 \text{ kg/cm}^2$$

b) Resistencia en tension diaconal.

Para calcular la resistencia a tension diaconal se utilizará la ecuacion 5.2.

$$V_m = V_m / (1 + 2.5cv)$$

$$v_m = 1.85 \text{ kg/cm}^2$$

$$cv = 0.46$$

$$v_m = 1.14 \text{ kg/cm}^2$$

Las resistencias anteriores son valores a la falla y no esfuerzos admisibles. Para obtener estos ultimos debe aplicarse un factor de seguridad igual a 2.5

Observaciones.

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios se resumen en la tabla 5.7. Los esfuerzos resistentes presentados en esta tabla incorporan ya factores de seguridad, F.S. = 2.5, y estan pensados para compararse directamente con los esfuerzos actuantes provenientes de analisis sismicos (cap. 7).

Se observa que la variacion de los valores de la tabla 5.7 es casi nula, por lo que se recomienda tomar como resistencias admisibles el promedio de estos.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES GENERALES

En lo que sigue, se presentan algunas recomendaciones para mejorar dos aspectos muy importantes: 1) condiciones de habitabilidad (comfort térmico), y 2) seguridad estructural de las viviendas de adobe.

Respecto al confort térmico, la vivienda es un sistema en continuo contacto con el medio ambiente, por lo que deberá ser adecuado a las condiciones climáticas: lluvia, viento y principalmente a los rayos solares. Además, la selección de los materiales que deben ser empleados para la construcción de la casa, depende, en gran parte, del clima predominante en el lugar; una mala selección de estos provocaría problemas térmicos y de ventilación en el interior de la vivienda.

Por las razones antes citadas, se ha hecho un estudio de los parámetros que regulan los niveles térmicos de las viviendas. En primer lugar, se presenta una regionalización del país, desde el punto de vista del clima que predomina en el lugar; después se hace un estudio de las propiedades térmicas de los materiales; y finalmente, se presentan algunas recomendaciones para la adecuación climática de la construcción.

Con respecto a la seguridad estructural, se hace un estudio del comportamiento y deficiencias de las edificaciones de adobe ante los sismos y el agua. Una vez conocidas las deficiencias, se presentan algunas indicaciones para reducir estos defectos.

6.1 CONDICIONES DE HABITABILIDAD

6.1.1 Regionalización (Vivienda-clima)

De acuerdo a las características de las viviendas y el clima predominante en la localidad, en México existen cinco regiones: a) Altiplano y desierto, b) bajo, c) calcarea peninsular, d) serrana y, e) tropical.

1. Altiplano y desierto.

- Esta región abarca aproximadamente el 60% de la superficie del país.

- Su clima, es en términos generales extremo: muy frío en la noche y muy caluroso en el día; en invierno hay heladas.

- El régimen pluvial es bajo en cuanto a la intensidad, aunque se registran algunas tormentas durante la época que va de mayo a agosto.

- El asoleamiento es preponderante e intenso. Los vientos son fuertes todo el año, sobre todo durante los meses de enero a mayo.

- La altitud varía entre menos de 50 hasta 2500 m sobre el nivel del mar.

2. Bajo.

- La superficie de esta región abarca aproximadamente 15% del territorio nacional (zona central del país).

- El clima es templado-subhúmedo.

- El régimen pluvial es intermedio, marcándose dos épocas claramente durante el año, el temporal es de mayo hasta octubre.

- La altitud varía entre los 1500 y los 2000 m sobre el nivel del mar.

3. Calcarea o peninsular.

- La representatividad de esta región se halla en la

península de Yucatán, aunque por el origen calcáreo del suelo, se encuentran dos pequeños ejemplos similares en Tamaulipas y Baja California Norte.

- El clima es tropical-seco debido a la permeabilidad del suelo.

- El régimen pluvial es regularmente bajo, llueve durante el verano y el asoleamiento es intenso.

- La altitud no pasa de los 20 m sobre el nivel del mar.

4. Serrana.

- Esta región se localiza en las franjas habitables del país: Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur, fundamentalmente.

- El clima es frío-húmedo; con zonas en la parte norte del país donde caen grandes heladas y nevadas.

- El régimen pluvial es intenso durante la mayor parte del año. El asoleamiento es poco relevante.

- La altitud media de las zonas habitadas es de 2000 m sobre el nivel del mar.

5. Tropical.

- Se ubica en las franjas litorales del Pacífico y del Golfo. Lo más representativo de esta región se localiza desde un poco al norte del Istmo de Cancun hacia el sur.

- El clima es caluroso-húmedo, producido por los vientos alisios. El asoleamiento es de gran intensidad.

- Los vientos son fuertes, principalmente a partir del verano en que suelen convertirse en huracanes.

- La altitud varía desde el nivel del mar hasta la cota de 1500

mts.

6.1.2 Características térmicas de la tierra.

Los muros y los techos son los elementos estructurales que están directamente expuestos a las inclemencias del medio ambiente. La permeabilidad o impermeabilidad de estos elementos son los parámetros que determinan la dirección y magnitud de los intercambios de calor en el interior de la construcción.

En lo que sigue sólo se tratará sobre las propiedades térmicas del adobe y algunos criterios para la selección del tipo de techo a utilizar según el clima en el sitio.

Conceptos básicos

- Conductividad térmica (K). Es la propiedad que tienen los materiales de transmitir el calor intermoleculamente, por la diferencia de temperaturas en dos caras opuestas.

- Inercia térmica. Indica el tiempo que tarda en fluir el calor almacenado en un material, en este caso en un muro o un techo.

La conductividad de un muro de tierra varía conforme a su contenido de humedad. En la fig. 6.1, se observa que para un muro de tapial perfectamente seco, le corresponde un valor de aproximadamente $0.45 \text{ (kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$, y conforme aumenta el contenido de agua (%), aumentan también, los valores de la conductividad térmica.

Por otro lado, la humedad de la tierra depende de la temperatura ambiente y esencialmente de la temperatura relativa, por lo que puede variar entre 1.5% en verano, y 7% en invierno.

Estas variaciones se pueden acentuar según la higróscopidad (resistencia a la humedad del viento), del material y de sus recubrimientos.

Con respecto a la capacidad de almacenar térmico de la tierra, se tiene que para muros de adobe tradicional su capacidad de almacenaje es de 0.2 kcal/Ko aproximadamente; y para adobe estabilizado se tiene un valor de 0.18 kcal/Ko.

En la fig. 6.2, se presenta la relación que existe entre los valores de la inercia térmica y el espesor del muro. Se observa que entre mayor sea el espesor del muro, serán mayores los valores de la inercia térmica. Finalmente, en la tabla 6.2 se observa que, desde el punto de vista de la conductividad, la tierra se comporta de una manera similar a los otros materiales; pero tratada adecuadamente, se puede obtener en las construcciones de adobe un gran confort y habitabilidad. En el punto 6.1.4 se dan algunas recomendaciones para aprovechar las propiedades térmicas del adobe.

6.1.3 Procesos de radiación y conducción.

Las techumbres son elementos que ganan y almacenan calor. Además del tipo de material, su espesor y orientación, la forma del elemento constructivo incide en el volumen de la ganancia de calor. A continuación se presentan algunos criterios constructivos para lograr una mayor o menor absorción, según convenga.

- Techumbres planas.

La absorción de calor por radiación solar es mayor en techumbres planas. Los rayos solares son perpendiculares a toda

cual calor al interior de la vivienda, en un lapso de tiempo que coincide con las necesidades de calentamiento por las noches.

De esta forma, la irradiación nocturna del calor desde el interior de los muros, se agota durante la noche y cesa durante la noche, manteniendo fresca la vivienda durante el día.

b) Con invierno templado y verano demasiado caliente (desierto de Sonora).

Deberá evitarse el uso de materiales pesados que propician la acumulación de calor hasta un nivel que imposibilite su enfriamiento.

Usar materiales ligeros de baja conductividad térmica y de pequeña capacidad calorífica, ya que no se calientan demasiado ni absorben ni retienen el calor.

6.1.4.2 Clima templado. Lugares con altitud superior a los 1500 m). Emplear materiales de gran inercia térmica y bastante espesor para aislar el interior de la casa del rigor del clima exterior. Orientar las piezas de dormir hacia el sur para mantener confortable la temperatura de las mismas durante el invierno, dejando hacia el norte de las piezas áreas habitadas.

la superficie.

- Techumbres inclinadas.

Cada 100 de inclinación del plano de la techumbre, representa aproximadamente de 10 a 15% de menor ganancia de calor por radiación. Este tipo de techumbres pueden ser comúnmente de dos o cuatro aguas. En las techumbres de dos aguas, los rayos solares pueden ser perpendiculares solo a la mitad; en caso de techumbres de cuatro aguas, los rayos solares pueden ser perpendiculares solo a la cuarta parte.

- Techumbres curvas.

En las cubiertas curvas la ganancia de calor por conducción es menor debido a que la radiación solar es perpendicular a la bóveda en un solo punto.

6.1.4 Recomendaciones.

Las recomendaciones son para los climas: cálido-seco y templado, ya que estos representan las condiciones extremas e intermedias de temperatura, respectivamente.

6.1.4.1 Clima cálido-seco.

a) Con interiores fríos (norte de México y sur de Estados Unidos). Un diseño con adobe responde satisfactoriamente a las oscilaciones diarias y estacionales de temperatura, aprovechando los efectos del retraso e inercia térmica del adobe, así como las diferencias estacionales en los niveles de asoleamiento en las fachadas y techos.

El adobe en forma semejante a otros materiales pesados, tales como la piedra o el concreto, tienen la propiedad de absorber energía solar durante el día, la cual es transformada

6.2 Seguridad estructural de las viviendas de adobe.

Para un mejor estudio, el comportamiento y las deficiencias se dividirán en dos partes, de acuerdo a su comportamiento ante la acción del agua y ante fuerzas sísmicas.

6.2.1 Comportamiento y diferencias ante la acción del agua.

La construcción de adobe ofrece grandes ventajas de habitabilidad, protege al usuario de temperaturas excesivas, tienen buen comportamiento ante el fuego, sin embargo, en relación con la humedad son fácilmente alterables y no brindan protección adecuada.

El factor más importante que influye en el estado de humedad de un muro se debe a la lluvia. La acción del agua sobre los materiales a base de tierra es decisivo en su comportamiento. Se ha comprobado que la resistencia a compresión y tensión por flexión disminuyen rápidamente al aumentar el contenido de humedad.

Otro factor que afecta a la resistencia de los muros, son las variaciones dimensionales de las piezas de adobe y que son producidas por el humedecimiento y secado de las mismas.

La estimación de los efectos del agua sobre los muros es muy difícil de establecer, debido a que no se pueden reproducir totalmente los fenómenos de intemperismo. Sin embargo, se han dado recomendaciones para proteger a la vivienda de la acción del agua, algunas de las más importantes son las siguientes:

- Una de las más eficaces es la estabilización de adobe para disminuir su permeabilidad. Aunque cabe mencionar que este método aumenta senciblemente el costo de la construcción.

- Los muros de adobe estabilizado pueden quedar aparentes. En caso de que el muro no se estabilice, deberá protegerse mediante un recubrimiento, por ejemplo con un mortero de cemento.

- La cimentación deberá estar a una altura mínima de 35 cm sobre el nivel del terreno. En regiones lluviosas esta altura deberá ser mayor.

- Los muros de adobe deben estar protegidos en su base por un zócalo o rodapié. También, deberán estar protegidos en la parte superior mediante aleros en los techos, se aconseja que éstos sobresalgan no menos de 70 cm.

- La infiltración de las aguas pluviales por escurrimiento o salpicaduras pueden ser cortadas mediante un tratamiento adecuado de los exteriores de las construcciones, con elementos tales como: pendientes, adobines, revestimientos, etc.

6.2.2 Comportamiento y deficiencias ante fuerzas sísmicas.

El comportamiento mecánico de los muros de adobe es muy aceptable a compresión simple, pero no así ante fuerzas cortantes. Además, la calidad inicial de las edificaciones de adobe se encuentra por encima de los niveles aceptables, pero por su baja durabilidad, esta calidad se deteriora conforme transcurre el tiempo.

Después del sismo de septiembre de 1985, el Instituto de Ingeniería realizó un estudio (ref. 27), para obtener información básica y procedimientos para la revisión de la seguridad sísmica de monumentos históricos. El estudio se enfocó hacia un grupo muy particular: los edificios destinados a vivienda, usualmente son de dos pisos con alturas entre los 4 y 5 m, de piso a techo.

Un resumen de este estudio se presenta a continuación:

Estas edificaciones se encuentran principalmente en el centro histórico de la ciudad y son de características muy heterogéneas en cuanto a materiales empleados, a tipología constructiva, a calidad de construcción y a estado de mantenimiento. Su estructura es a base de muros de cara de adobe, tepalcates, piedra o mampostería heterogénea, típicamente 50 cm de espesor; se usan morteros pobres de cal o en ocasiones de barro. Los pisos y techos son casi siempre de vigas de madera con tablas o con bóveda plana de ladrillo y relleno de tierra (terrado). La mayoría han sufrido modificaciones continuas, casi siempre de pobre calidad y tendientes a aumentar el número de habitantes del inmueble, mediante la construcción de tabancos y de apéndices en patios y azoteas y mediante la subdivisión de cuartos.

El estado actual de la mayoría de estas construcciones es de un deterioro notable, principalmente por humedades que han afectado el viguero y los muros de adobe. El daño por humedecimiento llega a ser grave en ocasiones y está constituido principalmente por separación entre muros transversales, desplomes y agrietamientos. Los más graves son los desplomes en edificios de más de un nivel, donde la falta de lisa de los pisos con los muros hace que el peligro de volteamiento sea elevado. Los daños graves consisten en la caída de pisos y techos, o en el volteamiento de los muros.

Las acciones de rehabilitación llevadas a cabo en estos edificios han constituido principalmente: en demolición de los apéndices y de las alteraciones, redistribución de espacios,

protección contra huélgades y reposición de los elementos más deteriorados. En el aspecto estructural, lo más importante ha sido la colocación de lozas, o firmes armados de concreto para crear diafrámas horizontales que ligan a los muros; es también frecuentemente necesario el resane de orietas y el refuerzo de algunos muros, principalmente con aplanado sobre malla".

En otro estudio más general sobre la seguridad contra sismos en viviendas de adobe existentes en el país (ref. 7), se observó que la mayoría de ellas se caracterizaban por:

- la escasa densidad de muros
- muros con alturas considerables
- longitudes de muros muy grandes y sin refuerzo
- escasa restricción que el techo proporciona a los extremos superiores de los muros.

Todas estas características hacen que el comportamiento de la construcción esté regido por la flexión de los muros en dirección normal a su plano (fig. 6.3).

También se analizó con detalle el comportamiento dinámico de este tipo de construcciones. En este análisis se concluye que:

"En el modo fundamental de vibración se aprecia que éstas (vibraciones) inducen momentos flexionantes críticos en las esquinas superiores de los muros, las cuales se agrietan progresivamente hacia abajo, de manera que el muro frontal comienza a vibrar como un voladizo, ocurriendo el volteamiento cuando la altura agrietada del muro es suficiente para que la resultante de fuerzas caiga fuera de la sección del muro".

El volteamiento ocurre casi siempre hacia afuera, ayudado por el caceo del techo. Este modo de falla es el que se ha observado con mayor frecuencia a raíz de los sismos.

En viviendas en las que la longitud no soportada de muros es pequeña o en que los techos proporcionan restricción a la flexión, o en las de más de un piso, la falla suele ocurrir por cortante a través de crías diagonales. Este modo de falla es producido frecuentemente por la existencia de aberturas importantes (ventanas y puertas) en los muros.

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

6.3 Recomendaciones de refuerzo.

Varios estudios han concluido que la resistencia sísmica de las estructuras de adobe es baja; sin embargo, con el problema habitacional de miles de personas, que no tienen otra alternativa más que alojarse en viviendas construidas con ese material, el caso adecuado a seguir es: mejorar las técnicas constructivas para corregir las deficiencias que se han identificado plenamente mediante experimentos y observaciones en construcciones existentes. A continuación se presentan algunas soluciones de refuerzo para mejorar el comportamiento sísmico de este tipo de viviendas.

a) Refuerzo con cadena.

El requisito mínimo de refuerzo que se recomienda es la

colocación de un elemento perimetral en el extremo superior de los muros, con el fin de proporcionar cierta resistencia a flexión normal al plano del muro, fijar adecuadamente el techo a los muros y proporcionar continuidad entre los muros transversales.

Los inconvenientes que implica la colocación de este tipo de refuerzo son: dificultad para lograr una lisa adecuada entre el elemento de refuerzo y el muro de adobe, necesidad de remover parcial o totalmente el techo para efectuar el refuerzo (en el caso de una casa construida), y la posibilidad de dañar los muros durante la colocación de la cadena.

El elemento de refuerzo es, en general, una cadena de concreto o un elemento de madera o de acero. Un ejemplo de solución de este tipo, se presenta en la fig. 6.4, empleada en algunas viviendas dañadas por los sismos de Chiapas de Corzo (1975), se trata de una cadena de concreto perimetral con una costilla que penetra en una muesca abierta en los muros de adobe. En las esquinas se colocan espolones que penetran en los muros.

Otra solución del mismo tipo propuesta en Chile (ref. 7), consiste en una viga de madera de alma abierta, en forma de escalera (fig. 6.5). Los elementos transversales de la viga se cubren con una capa de barro para unirlos al muro, en las esquinas las vigas transversales se conectan mediante ensambles a media madera. Los elementos del techo se ligan con estas vigas de madera.

b) Refuerzo en muro.

- Colocación de tensores de acero. Consiste en dos barras de

acero alojadas en pequeñas ranuras preparadas en las dos caras de cada muro, como se muestra en la fig. 6.6a. Estas barras se cruzan en las esquinas con las del muro transversal y se someten a una ligera tensión inicial mediante tuercas. La fuerza de los tensores se transmite a los muros a través de placas de acero o madera. Los tensores cumplen la función primordial de ligar los muros entre sí y proporcionar resistencia a flexión en la parte superior de los mismos.

Un refuerzo más efectivo se obtiene si esta solución se complementa con tensores verticales, también ligeramente postensados en las esquinas y en extremos de grandes huecos (fig. 6.6b). Estos tensores tienen la función de tomar las tensiones debidas a momentos flexionantes en el plano del muro y las concentraciones de esfuerzos en los extremos de los huecos. También, incrementan la resistencia en cortante de los muros por los esfuerzos de compresión generados por el postensado; sin embargo, la colocación de los tensores verticales es mucho más laboriosa que la de los horizontales, para anclarlos en la parte inferior del muro se requiere perforar la cimentación, en caso de que no exista una cimentación sólida es necesario colocar una base de concreto.

- Mallas de refuerzo. Consiste en colocar mallas de refuerzo que envuelven totalmente los muros de adobe y que van cubiertas por una capa de mortero. Anclando cuidadosamente la malla al adobe, se logra una sección compuesta en que el adobe funciona como alma para tomar los esfuerzos cortantes, y el aplastado reforzado con malla constituye los patines que toman los

esfuerzos de tensión y compresión debidos a la flexión normal al plano del muro. La malla además, es un refuerzo por cortante que mantiene la resistencia del muro, en caso de que se exceda la capacidad del adobe y éste se agriete diagonalmente. Con las mismas mallas y algunas barras adicionales se forman elementos verticales y horizontales en los bordes de los huecos y en los extremos de los muros; en las esquinas, la continuidad de las mallas proporciona liga entre los muros. El trabajo conjunto del adobe y las capas de refuerzo se obtiene mediante sujetadores de alambre, espaciados cada 60 cm, que amarran las mallas de refuerzo en las dos caras del muro. Se considera que el sistema proporciona continuidad entre los muros, mayor rigidez y resistencia en flexión. La fig. 6.7, muestra algunas características del procedimiento.

c) Detalles adicionales.

Otros detalles que es necesario cuidar para lograr un buen comportamiento sísmico de la estructura son:

- Rigidez de los techos. Interesa desde el punto de vista de la resistencia a sismo, que techo y muro formen un conjunto con trabazón suficiente para resistir las solicitaciones verticales y horizontales sin perder su unidad, ya que de otra manera la acción del sismo actuará aisladamente sobre la pared y la cobertura, que por tener características dinámicas diferentes pueden llevar a la falla a la estructura. Por lo antes expuesto, debe procurarse que el techo sea lo más rígido posible en el plano horizontal, esto puede lograrse con elementos colocados diagonalmente, de tal manera que se forme un diafragma y

distribuya mejor la fuerza horizontal y proporcione a los muros confinamiento en su parte superior.

Por otro lado, es conveniente evitar el empleo de techos pesados, con la finalidad de reducir la fuerza cortante sobre los muros.

- Limitar y reforzar los huecos de puertas y ventanas. Esto se logra colocando un dintel de madera o concreto sobre el vano de la puerta o ventana y prolongarlo, a fin de dar a la bajada de cargas una mejor repartición de esfuerzos, lo que permite evitar las grietas que se producen en estas zonas.

La longitud de los vanos no debe exceder $1/3$ del largo total del muro y deben estar uniformemente repartidos. En longitud, la distancia mínima entre un vano y el extremo del muro es de 1 m. El espacio entre dos vanos no puede ser menor de 0.65 m.

- Aumentar la resistencia a la flexión de los muros. Para lograrlo es necesario reducir las longitudes libres de los muros y sus alturas, mediante la adición de muros intermedios que rigidicen la construcción.

En base a los resultados obtenidos en el estudio experimental (ref. 7), se observó que el procedimiento de refuerzo más eficaz consiste en una malla de acero clavada en ambas caras del muro y con las precauciones descritas para asegurar la continuidad y liga entre los muros. Este sistema proporciona además, una protección al adobe contra el intemperismo, manteniendo íntegras sus propiedades; desafortunadamente este sistema de refuerzo tiene la desventaja de ser complicado y costoso.

Un procedimiento con una eficiencia menor, aunque mucho más económico y sobre todo fácil de ejecutar sin afectar la habitabilidad de la vivienda durante la construcción, es el de tirantes. Los tirantes ensavados en este estudio (horizontales), mostraron su capacidad para mantener unidos los muros aun ante intensidades sísmicas elevadas. Sin embargo, el nivel de daño es muy alto y conviene considerar un arreglo de tirantes más completo, incluyendo refuerzo vertical en los huecos y en las esquinas.

El refuerzo con cadena fue más eficaz que los tirantes horizontales e igualmente efectiva que cuando se emplean tirantes horizontales y verticales, aunque no impidió un daño importante en las esquinas de los muros, en las que se requería refuerzo vertical adicional. Este procedimiento tiene otra desventaja, la de requerir el soporte o la remoción total o parcial del techo para su colocación, pero es el mínimo procedimiento de refuerzos que se recomienda para las zonas sísmicas C y D (fig. 7.6)

CAPITULO 7

ANALISIS SISMICO

7.1 ANTECEDENTES

El sismo es un evento natural que, probablemente, sea el que mas daño cause a una estructura. Muchos países se hallan expuestos a un alto riesgo sísmico, como los que se localizan en zonas tropicales y subtropicales de Asia, Africa y América; en su mayoría pertenecen a los denominados: subdesarrollados, debido a su debilidad económica. Haciendo una comparación de las zonas de mayor actividad sísmica en el mundo con la ubicación de esos países se puede observar que coinciden al sobrepasarlas. Sin embargo, existen excepciones como son los países de Africa situados debajo del Trópico de Cáncer, que tienen pocas probabilidades de que se presente ese fenómeno; o bien, el caso de países con alto nivel de desarrollo como Japon, Nueva Zelanda y la costa del Pacífico de los Estados Unidos de Norteamérica, que se encuentran en regiones de mayor ocurrencia de terremotos.

En los países pobres se emplea, en un buen porcentaje, a la tierra como principal material de construcción. Es un material que tiene mal comportamiento bajo la acción sísmica, no obstante, se usa mucho ante la imposibilidad de adquirir otros de mejores propiedades mecánicas como son: el acero y el concreto reforzado, utilizados solo en tecnologías avanzadas. Esta situación se ve reflejada en la gama de la construcción de viviendas. Es muy difícil también, que estos países estudien métodos de diseño sísmo-resistente de estructuras fabricadas con materiales locales.

7.1.1 Origen de los sismos.

Antiguamente se atribuía el origen de los sismos a las divinidades propias de cada cultura.

Aristoteles (siglo IV antes de Cristo), tuvo el mérito de intentar explicar este fenómeno, como algo motivado por causas naturales, él decía que: "los terremotos son provocados por los esfuerzos del aire al tratar de escapar de cavidades subterráneas".

Para el siglo I antes de Cristo, el erudito romano Lucrecius tenía la idea de que: "el desplome del techo en enormes cavernas hacían que la tierra se sacudiera".

Hasta mediados del siglo XIX se llegó a la conclusión de que, un temblor era el resultado de ondas elásticas en movimiento (la teoría del rebote elástico fue desarrollada para interpretar el sismo de San Francisco de 1906), y que su origen debería estar en el desplazamiento de grandes bloques situados dentro de la corteza terrestre. Actualmente se sabe que la súbita liberación de la energía potencial o deformaional que se acumula paulatinamente, es lo que provoca un sismo.

7.1.2 Clasificación de los terremotos (por su origen).

Los terremotos naturales pueden deberse a una gran variedad de causas, las principales son:

- Volcánicos: son las sacudidas que resultan de las explosiones relacionadas con la erupción de un volcán o de movimientos violentos de lava subterránea.

- Tectónicos: son los producidos por el roce de placas en oposición al movimiento. Estos son los terremotos más

7.1.1 Origen de los sismos.

Antiguamente se atribuía el origen de los sismos a las divinidades propias de cada cultura.

Aristoteles (siglo IV antes de Cristo), tuvo el mérito de intentar explicar este fenómeno, como algo motivado por causas naturales, él decía que: "los terremotos son provocados por los esfuerzos del aire al tratar de escapar de cavidades subterráneas".

Para el siglo I antes de Cristo, el erudito romano Lucrecius tenía la idea de que: "el desplome del techo en enormes cavernas hacían que la tierra se sacudiera".

Hasta mediados del siglo XIX se llegó a la conclusión de que, un temblor era el resultado de ondas elásticas en movimiento (la teoría del rebote elástico fue desarrollada para interpretar el sismo de San Francisco de 1906), y que su origen debería estar en el desplazamiento de grandes bloques situados dentro de la corteza terrestre. Actualmente se sabe que la súbita liberación de la energía potencial o deformacional que se acumula paulatinamente, es lo que provoca un sismo.

7.1.2 Clasificación de los terremotos (por su origen).

Los terremotos naturales pueden deberse a una gran variedad de causas, las principales son:

- Volcánicos: son las sacudidas que resultan de las explosiones relacionadas con la erupción de un volcán o de movimientos violentos de lava subterránea.

- tectónicos: son los producidos por el roce de placas en oposición al movimiento. Estos son los terremotos más

significativos. La idea básica de la tectónica de placas es que la parte superior de la tierra (llamada Litosfera), está construida por bloques extensos y estables llamados placas. La figura 7.1 indica las diez placas de mayor importancia.

La tectónica de placas es una teoría que ha dado satisfactorias explicaciones sobre la ocurrencia de sismos, debido a esto se va a hablar brevemente de sus principios.

Cada placa tiene un espesor aproximado de 100 km, se mueve horizontalmente en relación a las placas vecinas, sobre una capa de rocas viscosas que se encuentran debajo de ellas. En los puntos de contacto entre placas se desarrollan grandes esfuerzos deformantes sobre las rocas, causando grandes cambios físicos y químicos en ellas; dicho de otro modo, la oposición al movimiento entre placas provoca fricción en sus bordes irregulares, traduciéndose en una gran acumulación de energía lo que origina que en un instante se disipe esta energía forma de movimiento.

Hay evidencias de que la estructura de las placas no es permanente, sino que se van dando cambios graduales. La lava o magma aflora continuamente en las dorsales centro-oceánicas formando suelos nuevos en el fondo del mar a ambos lados de la dorsal. El resultado de esto, es el crecimiento de las placas y su movimiento uniforme sobre la superficie, a medida que se alejan de las dorsales se enfrían y envejecen. A las dorsales centro-oceánicas se les llama zonas de extensión.

La Tierra conserva su tamaño desde los primeros periodos geológicos, por lo que, al formarse suelo nuevo submarino, el suelo viejo tiene que desaparecer de algún modo, se cree que

grandes áreas de placas son absorbidas en las fosas oceánicas relacionadas a continentes que avanzan o a los arcos de isla. Estos lugares son llamados zonas de subducción. A grandes profundidades, aumentan la temperatura y la presión, estos factores intervienen para que la litosfera que se hunde sea transformada en una mezcla que es absorbida por las rocas más profundas.

Existen diferentes tipos de movimientos de las placas, los cuales se pueden clasificar en:

- a) Separación: dan lugar a dorsales oceánicas y cordilleras.
- b) Acercamiento: originan la formación de fosas oceánicas y relieves.
- c) Subducción: es la introducción de una placa debajo de la otra.
- d) Deslizamiento: dan lugar a fallas.

Una fosa se forma en la convergencia de dos placas, una de las cuales se sumerge debajo de la otra y penetra al manto, por ello las fosas son zonas en las que se destruyen los bordes de placas.

Las dorsales oceánicas son cadenas montañosas formadas por dos cordilleras que están separadas entre sí por un valle profundo.

Los movimientos de las placas implican que tendrán lugar mucho más terremotos a lo largo de los bordes de las placas adyacentes que dentro de los límites de una placa. Sin embargo, también hay sismos en el interior de las placas: en la penetración de una placa debajo de otra cuando se ha introducido

gran extensión se tienen concentraciones de esfuerzos en algunos puntos de contacto, los que al rebasar los límites de resistencia de las rocas originan fuertes sacudida, (figura 7.2).

7.1.3 Conceptos importantes.

7.1.3.1 Los terremotos se inician en una zona limitada y se propagan desde ella en todas direcciones, bajo la superficie terrestre, a esta zona, se llama foco o Area focal.

El Area de la superficie que se encuentra verticalmente encima del foco constituye el Area epicentral o epicentro, del griego epi. encima y centro. Hay una clasificación de los sismos de acuerdo a la profundidad del foco:

a) Sismos someros: son los más numerosos, se producen en los primeros 60 km a partir de la superficie, muy frecuentemente se inician a unos 7 km abajo.

b) Sismos intermedios: surgen de 70 a 300 km de profundidad.

c) Sismos profundos: la posición del foco se encuentra entre los 300 km hasta 720 km.

7.1.3.2 Tipos de ondas sísmicas.

La energía que se libera en un movimiento sísmico se transmite a través de las rocas en forma de ondas. La roca actúa como un cuerpo elástico, sus partículas vibran de un lado a otro, conforme pasa el movimiento por ella. Los principales tipos de ondas son:

- **Onda P:** también conocida como onda primaria o longitudinal. Es la onda más rápida, que avanza con la misma velocidad que avanzaría el sonido dentro de la misma roca, siendo de 6 a 11.3 km/seg. Las partículas de la roca vibran hacia atrás

v hacia adelante, en la dirección de propagación de la onda.

Esta puede pasar a través de sólidos, líquidos y gases en el interior de la tierra.

- Onda S: son llamadas ondas secundarias o transversales. Avanza a menor velocidad, ésta va de 3.5 a 7.3 km/seg. Siendo proporcional a la rigidez del material que atraviesan y no pasan por los líquidos. Las partículas de la roca vibran perpendicularmente a la trayectoria en que viajan las ondas.

- Onda L: reciben el nombre de ondas largas o superficiales. Se desplazan a lo largo de la parte superior de la roca afectada (directamente abajo de la superficie de la tierra), esta onda es de mayor amplitud, más lenta y más larga que las P o S. Se conocen dos principales clases: Ondas Love en sólidos uniformes y Ondas Rayleigh en sólidos no uniformes. No son sentidos sobre la tierra, pero pueden viajar más de una vez alrededor de ésta, su velocidad es de 7.5 km/seg.

Un aspecto conocido, es el efecto perjudicial que se manifiesta en los terrenos sueltos como los depósitos aluviales o rellenos. Este efecto frecuentemente se ha comparado como el temblor que puede inducirse en un recipiente de gelatina, mediante pequeñas vibraciones. En algunas ocasiones, durante un sismo, se forman olas de tierra similares a las olas del mar.

7.1.3.3 Existen dos medidas para valuar los efectos de los sismos, estas son la intensidad y la magnitud.

La intensidad de un terremoto se mide en base a los daños causados al hombre, a los edificios, a las rocas, etc. Es un valor que depende del sitio en que se determina, por lo que es

una cantidad relativa. Para su medición se usa la escala de Mercalli.

La magnitud de un sismo es el equivalente al tamaño del temblor en su origen y se relaciona en forma aproximada con la cantidad de energía liberada. Es un valor único para cada temblor y se determina a partir de un sismograma obtenido de un aparato denominado sismógrafo.

La magnitud del sismo se registra en la escala de Richter. A partir de la magnitud es posible estimar la energía liberada por un sismo.

7.2 Método simplificado para análisis sísmico de estructuras de adobe (criterio de esfuerzos permisibles).

En base a un estudio de las características más comunes de las construcciones típicas de la provincia mexicana, se ha llegado a establecer un método simplificado de análisis sísmico, con ayuda de un programa de computadora basado en el método de elementos finitos. Los resultados obtenidos al aplicar el método simplificado comparados con los del elemento finito fueron conservadoramente aceptables.

El método está limitado a construcciones de adobe de un nivel y planta rectangular, aunque se puede extender a edificaciones de otros materiales similares, como las de tabique rojo o piedra con características de estructuración semejante.

Se han deducido algunas expresiones para calcular la fuerza cortante y momento flexionante, tienen la intención de dar resultados adecuados para fines de diseño. La intensidad del sismo de diseño se expresa en términos de la ordenada

correspondiente al primer modo de vibrar. Es aconsejable en el caso de que se dificulte o no se pueda determinar en forma confiable el periodo fundamental de vibración de la estructura, tomar el valor de la ordenada correspondiente a la zona de la meseta (plana) de los espectros de diseño.

7.2.1 Ecuaciones de cortante y momento flexionante máximas.

De manera sencilla se puede obtener la fuerza cortante actuante en la estructura, con la ecuación usual en el método estático:

$$V = C_s W' \dots\dots\dots (7.1)$$

donde W' no es el peso total de la construcción a diferencia de ese método, esto tiene una explicación, se ha observado que el muro frontal no contribuye al cortante en forma significativa como ocurre con los muros laterales; también, que la masa distribuida en los muros principalmente, tiene una aceleración que está en función de la altura. Por ello, se ha concluido que usando una masa equivalente afectada por la aceleración máxima dada por la ordenada espectral C_s , se obtiene una fuerza cortante aproximada a la calculada con el método de elementos finitos.

Para evaluar la masa equivalente W' , se tienen que conocer los valores de L' y H' definidos por las siguientes expresiones:

$$H' = H/4; \quad L' = 2H/L \text{ y } L \dots\dots\dots (7.2)$$

Cuando la estructura no está reforzada con viga-cadena.

$$H' = H/3; \quad L' = 3H/L \text{ y } L \dots\dots\dots (7.3)$$

En caso de que sí esté reforzada con ese elemento.

$$H' = 3H/5; \quad L' = L \dots\dots\dots (7.4)$$

Cuando la vivienda tenga techo rígido.

donde:

L = Longitud mayor de la planta rectangular de la casa.

H = Altura total de la construcción.

La figura 7.3. muestra las partes que se toman de los muros, la techumbre y, si existe, de la viga-cadena de refuerzo.

La fuerza cortante se distribuye de la siguiente manera: en una sola habitación cada muro debe resistir el 50% de esa fuerza; en caso de que se tenga un muro intermedio, se debe obtener el cortante para cada cuarto independiente, asignando el 60% al muro común y a los extremos el 40%. En cuartos interiores, cada muro resiste 50%.

Debe tenerse mucho cuidado de que en muros con puertas y ventanas, no reduzcan mucho su longitud ya que puede llegar a ser crítica.

Para calcular el momento flexionante se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$M = C_s W l^2 / k \dots\dots\dots (7.5)$$

La ecuación anterior, indica la flexión por unidad de longitud en las esquinas de la construcción (fig. 7.4), que es donde se presentan los momentos máximos. Donde:

C_s = Ordena espectral.

k = 20 si se refuerza con viga cadena.

l = H ó $L/2$, el valor menor.

W = Feso por unidad de longitud. Este valor se determina tomando el peso de una franja de ancho y altura unitaria del muro frontal en la dirección del sismo, más la mitad del peso del techo, y si tiene, de la viga cadena, (fig. 7.5).

Resumiendo, se deben realizar las siguientes etapas:

1. Determinar el coeficiente sísmico C_s , de la zona y tipo de suelo donde se construirá; por facilidad, se pueden tomar los que se muestran en la figura 7.6.

2. Calcular la fuerza cortante en los muros alineados en la dirección de análisis por sismo con la ecuación 7.1.

$$V = C_s W$$

Se debe reducir la resistencia de los muros esbeltos, es decir, cuando su relación $(h/b) > 1.33$, disminuir su área multiplicando por el factor $(1.33 b/h)^2$, siendo h la altura del muro y b su longitud.

3. Comparar el esfuerzo actuante en el muro con el permisible. Usar un factor de seguridad de 2.5 en esfuerzos a la falla para obtener los permisibles.

4. Revisar los esfuerzos por flexión en el muro, aplicando un factor de seguridad total a 2.5, el permisible debe ser mayor a los actuantes, los cuales se pueden calcular mediante los siguientes pasos:

a) Determinar el momento flexionante en los extremos del muro con la ecuación 7.5

$$M = C_s W l^2 / 6$$

b) Se valua el esfuerzo de flexión:

$$F_t = M/S; \text{ con } S = t^2/6$$

donde S es el módulo de sección del muro.

t es el espesor del muro.

c) Se debe cuedar que:

$$f_t < f_{ty}$$

donde: f es el esfuerzo de flexión permisible.

5. Para calcular los esfuerzos de compresión de la bajada de carcas, se determina el esfuerzo axial actuante que se compara con el permisible.

6. De la misma manera se revisan los muros de la dirección perpendicular.

Los valores de esfuerzos últimos recomendados se indican en el capítulo 5, sin dejar de recordar que es necesario emplear un factor de seguridad para obtener los permisibles.

7.3 Diseño mediante relaciones geométricas.

Debido a la dificultad de que personal especializado se ocupe, en todos los casos, de la revisión de las casas de adobe; se ha sobresimplificado el método anterior, de manera que se establecieron reglas geométricas de fácil aplicación.

El criterio limita la geometría de la construcción en función de los parámetros H/t (es la relación altura a espesor de muros), y L/t (longitud total del muro entre soportes, sobre dos veces su espesor). El método sirve para adobe normal y estabilizado, para ello se utiliza la siguiente tabla.

Máximos valores para H/t o L/t

Peso del techo (kg/m ²)	Sin esfuerzo		Refuerzo con una viga en el extremo superior del muro.	
	I	II	I	II
Menor a 50	4.1 (8)	2.9 (6)	9.1 (18)	6.5 (13)
Menor a 150	3.4 (7)	2.4 (5)	7.7 (15)	5.5 (11)
Menor a 500	2.9 (6)	2.0 (4)	6.6 (13)	4.7 (9)

Entre paréntesis las relaciones para adobe estabilizado.

Para caso I. Coeficiente sísmico $c = 0.16$

Para caso II. Coeficiente sísmico $c = 0.4H$

El caso II es para construcciones situadas en las zonas de más alta intensidad sísmica del país (Costa del Pacífico, en los Estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas), en tanto el caso I se aplica a zonas de moderada intensidad sísmica.

Con este criterio se obtienen diseños conservadores, por lo que se asegura que las edificaciones serán capaces de soportar el sismo de diseño correspondiente a cada zona.

7.4 Criterio de la resistencia.

Este método puede ser aplicado, si la construcción cumple las siguientes condiciones (excepto las estructuras a base de muros de adobe normal):

- Existe un elemento rígido en el extremo superior de los muros (dala de cerramiento), que restringe las deformaciones en la dirección normal a su plano.

- La excentricidad de la carga axial sobre el muro es menor a $t/6$.

- La relación, en planta, de la longitud a ancho de la construcción no debe exceder de 2.

- La relación altura a espesor del muro es menor a 20.

- En ambas direcciones, existen cuando menos dos muros paralelos con longitud mayor o igual que la dimensión mayor en planta de la edificación.

- Tiene techo rígido.

Resistencia a carga vertical

La carga vertical que resiste un muro se determinara con la siguiente expresion:

$$FR = FR FE f_m AI \dots\dots\dots (7.6)$$

donde:

f_m = Resistencia nominal a compresion de la mamposteria.

AI = Area transversal bruta del muro.

FE = Es un factor reducido debido a la excentricidad y esbeltez, se tomara igual a 0.7 para muros interiores y 0.6 para muros exteriores.

FR = Es el factor de la resistencia, sera igual a 0.30 si solo se tiene cadena de cerramiento; o igual a 0.60 si se usan piezas de adobe estabilizado en los muros, y tambien si son reforzados con elementos de concreto (castillos).

La fuerza asi calculada es comparada con la carga vertical incrementada por un factor de carga (1.4 en Mexico, Ref. 29).

Resistencia de muros a cargas laterales.

La fuerza cortante resistente de diseño se calculara con la siguiente expresion:

$$VR = FR (0.5 V_n AI) \dots\dots\dots (7.7)$$

donde: V_n es el esfuerzo cortante resistente nominal de la mamposteria, FR se tomara de acuerdo a los casos antes descritos.

AI es el Area transversal del muro. La fuerza VR , es comparada con la fuerza cortante actuante afectada por un factor de carga (1.1 en Mexico, Ref. 29).

CAPITULO 8
PROYECTO DE VIVIENDA
8.1 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Existen consideraciones importantes sobre algunos aspectos constructivos y de estructuración, para lograr un mejor comportamiento de la estructura ante fuerzas laterales y reducir las deficiencias de la mampostería de adobe.

En este capítulo se presentan algunas indicaciones que no se han tratado hasta el momento, con la finalidad de aumentar la calidad de las nuevas construcciones.

8.1 Cimentación.

En las construcciones de adobe, es fundamental la utilización de una adecuada cimentación, de su eficiencia depende principalmente de la estabilidad y durabilidad de la construcción.

Para obtener un diseño sísmo-resistente eficiente, es necesario que exista un comportamiento integral y compatible entre la cimentación y la estructura. Merece especial cuidado la unión entre la cimentación y los muros para evitar los deslizamientos entre ambos. La posibilidad de deslizamiento es grande debido a la masa y rigidez del sistema y a la baja resistencia al esfuerzo cortante del material.

La forma, dimensiones y profundidad de una cimentación dependen del peso que soporta, de las características generales de la estructura y de la formación del suelo de sustentación. Desde el punto de vista del tipo de suelo de sustentación, se

puede utilizar dos tipos de materiales para la construcción de la cimentación: mampostería de piedra y concreto.

En terreno muy duro, puede bastar una cadena superficial de concreto, reforzada con 4 varillas de 3/8". El ancho de la cadena deberá ser, cuando menos 10 cm mayor que el ancho del espesor del adobe; además, se impermeabilizará la parte superior de ésta para evitar que el agua por capilaridad, penetre en los muros reduciendo notablemente su resistencia mecánica.

En terreno de buena capacidad, una cimentación de mampostería de piedra seca suficiente. El ancho de la corona será 20 cm más grande que el espesor del muro, y debe sobresalir 20 cm sobre el nivel del terreno. El desplante de la cimentación no será menor de 40 cm de profundidad; además, deberá tener en su base una plantilla de pedacera de 10 cm de espesor.

8.1.2 Muros

La resistencia sísmica de una construcción de adobe está fundamentada en sus muros, por lo que deben estar distribuidos en forma uniforme y simétrica. Un muro tiene buena resistencia ante cargas contenidas en su plano; las fallas que ocurren con mayor frecuencia se presentan en las juntas de mortero. De cualquier modo, es posible diseñarlos para resistir las fuerzas sísmicas en su plano; y es muy conveniente mejorar su comportamiento rigidizándolos, como se indica más adelante.

Por otra parte, el problema principal surge cuando la acción sísmica actúa fuera del plano del muro debido a la baja resistencia a tensión del material, por lo que no resiste mucho a sollicitaciones perpendiculares a su plano, aun teniendo elementos

de refuerzo en sus bordes.

Algunos aspectos constructivos que se recomiendan son los siguientes:

- Para obtener una adecuada resistencia a flexión perpendicular al plano de los muros, las longitudes libres y alturas no deberán ser muy grandes.

- Las caras de pegado del adobe deberán ser rugosas o tener corrugaciones.

- Para mejorar la unión mortero-adobe y evitar los agrietamientos en la mampostería, se deben humedecer ligeramente las piezas antes de su colocación en el muro.

- La construcción de los muros deberá ser uniforme, procurando no levantar más de 1.5 m de altura por día.

- En columnas aisladas utilizar adobe estabilizado y tener una dimensión mínima de 50 cm.

- Deben dejarse contrafuertes en la dirección que se proyecte ampliar la construcción.

- Los dinteles de puertas y ventanas deben tener un anclaje de 20 cm. Cuando el hueco sea mayor de 90 cm será necesario diseñar el dintel para la carga actuante.

- Otras recomendaciones generales son: el suelo que se emplee para la elaboración de los adobes, debe estar libre de toda materia extraña y debe ser mezclada completa y uniformemente; secar el adobe en la sombra; el adobe debe estar limpio antes de su colocación; el mortero para juntas debe mezclarse uniformemente, antes de ser utilizado; checar la verticalidad de los muros.

8.1.3 Viga-Cadena.

Debido a que la unión de los muros en las espigas por el simple cuatraperco, y la de éstos con el techo por medio del empotramiento de las vigas con el adobe, son muy poco eficientes; se hace necesario colocar una viga-cadena de concreto o madera, para obtener una mejor conexión entre los distintos elementos. Esta viga-cadena será continua y deberá estar adecuadamente ligada a los muros y techo. Sobre la cadena se debe de anclar el sistema de techo, el cual debe ser de tipo ligero. Los detalles de anclaje con los muros se muestran en la Fig. 8.1, para el caso de una viga-cadena de concreto.

Se puede igualmente considerar que la cadena de refuerzo no requiere necesariamente colocarse al centro del muro, también se puede colocar en la parte exterior o interior del mismo (Fig. 8.2).

La cadena de refuerzo puede colocarse sobre elementos prefabricados en forma de "U", evitando el empleo de encofrados. Estos elementos pueden ser realizados en tierra comprimida o en concreto prefabricado (Fig. 8.3).

8.1.4 Cubierta.

Rigidización de los techos. Este es el aspecto más importante en el diseño sísmo-resistente.

El techo debe formar un diafragma rígido en su plano horizontal, para conseguir que las fuerzas sísmicas, que son fuerzas de inercia (reactivas), se transmitan a los elementos que sean capaces de resistirlas por medio de esfuerzos en su plano (muros alineados en la dirección del sismo), y proporcionar a los

muros en general cierto confinamiento. La techumbre se quede rigidizar por medio de un contraventeo; colocar una viga rígida (de madera o concreto) en el extremo superior del muro es una buena opción, que cumple totalmente esa función.

Por otra parte, las fuerzas inerciales dependen de la aceleración del movimiento y de la masa del objeto que se mueve. Es decir, cuanto mayor sea la masa, mayor será la fuerza sísmica actuante. Por esta razón es necesario reducir, en lo posible, la masa en la construcción (depósitos de agua, techumbre muy pesada, etc.). Esta consideración es de aplicación a todo tipo de estructuras y no solo a las de tierra.

Para eliminar rápidamente el agua de lluvia que cae sobre la cobertura, en muchas regiones donde se construye con materiales permeables, frecuentemente se les da pendientes muy pronunciadas, lo que origina que en el triángulo superior (en el caso de un techo a dos aguas) formado por la cobertura y los muros extremos, no se tenga buen cerramiento y queden esos muros muy vulnerables a las sollicitaciones horizontales perpendiculares a su plano.

Se deben proyectar aleros para proteger a los muros de la humedad en época de lluvia. Se aconseja que estos sobresalgan no menos de 70 cm.

Los techos tipo bóveda tienen la característica de hacer trabajar los materiales únicamente a compresión, con el inconveniente de que se transmiten empujes horizontales perpendiculares al plano del muro, pudiendo llegar a ser incapaz de soportarlos dada su baja resistencia.

En las techumbres planas, se deben evitar la concentración

de tensiones en el muro, provocados por el asiento de las viguetas; Esto se soluciona colocando una viga solera, además, se mejora el comportamiento estructural en su conjunto.

Si se usa madera en los techos, se debe tener cuidado de que esté completamente seca al momento de aplicarle la carga, debido a que la madera húmeda tiene un módulo de elasticidad muy bajo y puede sufrir deformaciones excesivas.

8.1.5 Consideraciones generales.

8.1.5.1 Material resistente. Las características deseables en un material para formar una estructura que tenga comportamiento aceptable ante un sismo, son: tener la mayor resistencia y rigidez posible por unidad de peso del material; poseer un factor de amortiguamiento alto; mostrar un comportamiento estable ante cargas cíclicas alternadas, y adaptabilidad a las formas que se requieran.

De las cualidades indicadas, el adobe solo tiene la de amortiguamiento propio en buen nivel.

8.1.5.2 Estructura simple, simétrica y regular. Investigaciones efectuadas después de un terremoto, han comprobado que entre mas sencilla es una obra, tiene mejor comportamiento sísmico debido a dos razones principalmente: en primer lugar, es mas fácil de analizar y comprender el funcionamiento estructural global; y en segundo lugar, es menos problemática su construcción.

No es conveniente usar formas en "L", "H" o "E" en planta, debido a que las diversas partes que forman la estructura vibran de distinto modo. Es aconsejable que no exista excentricidad

Apreciable entre el centro de masas y el de rigideces en las dos direcciones ortogonales para evitar las torsiones; ya que es difícil valorar este efecto y por lo general resulta determinante en la falla de una construcción de adobe.

La planta ideal es la circular, pero si es rectangular hay que procurar que se aproxime a un cuadrado, para tener mejores resultados.

En construcciones de adobe, es preferible que sean de una planta, debido a que no se puede asegurar la correcta transmisión de acciones horizontales de una planta a otra. Esto se toma en cuenta en muchas normas de construcción de adobe.

8.1.5.3 Ductilidad o rigidez. Se puede hacer que una estructura de un material dado, se comporte de dos maneras: dúctil o rígida, existe una gran diversidad de opiniones respecto a cuál es la más adecuada.

En realidad no hay un criterio que se pueda generalizar, sin embargo, se ha observado que las estructuras rígidas protegen más a los elementos no estructurales de la obra (tabiques, cerramientos, etc.), y la relación esfuerzo-deformación es menor.

En las estructuras dúctiles ubicadas en terrenos blandos se corre el riesgo de que los periodos de vibración del suelo y la estructura se aproximen y se produzca el fenómeno de amplificación por resonancia. Aunque es probable que ocurra lo mismo con las estructuras rígidas sobre suelos duros.

Muchas veces es necesario proporcionar cierta capacidad de deformación a las construcciones, para disipar parte de la energía que reciben por medio de un comportamiento inelástico.

Esto se logra con elementos de concreto confinando a los muros (se requiere buen anclaje).

Por otra parte, resulta difícil conseguir una estructura de adobe normal, que sea flexible y estable ante cargas cíclicas alternadas.

8.2 Diseño de los elementos estructurales.

Sobre un proyecto arquitectónico, se diseñaran los elementos estructurales de tres viviendas con muros de diferentes materiales:

- 1) Vivienda con muros de tapique rojo recocido
- 2) Vivienda con muros de adobe estabilizado
- 3) Vivienda con muros de adobe normal

Descripción de la obra: Casa-Habitación (un nivel)

Ubicación: Zacatecas, Zacatecas

Superficie: 120 m²

Esfuerzo permisible del terreno: $F_{adm} = 8 \text{ t/m}^2$.

El sistema estructural resistente a las fuerzas verticales y horizontales de diseño serán muros de carga. La cimentación será a base de zapatas corridas de macropostera de piedra brasa.

Especificaciones y parámetros de resistencia.

- Se diseñará conforme al reglamento de construcciones del R.D.F.-H.

- $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ (acero longitudinal)

- $f_y = 2,570 \text{ kg/cm}^2$ (acero transversal; estribos)

- $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

- $f_{c0} = 0,8 f_c = 160 \text{ kg/cm}^2$

- $F_{c0} = 0,85 f_{c0} = 136 \text{ kg/cm}^2$

- Factores de carga:

FC1 = 1.4 (para cargas verticales)

FC2 = 1.1 (para acciones accidentales)

- Factores de resistencia:

FR1 = 0.9 (flexión)

FR2 = 0.8 (cortante)

- Coeficiente sísmico: C = 0.08 (zona A)

- Factor de comportamiento sísmico: D = 1.0

- Pesos volumétricos (kg/m^3):

Yeso = 1500

Concreto armado = 2400

Piedra brasa = 2300

Muro de tabique rojo = 1500

Muro de adobe estabilizado = 1600

Muro de adobe normal = 1800

Entortado (mezcla: arena-cemento) = 2100

- Peso por metro lineal de muro (kg/m):

a) Muro de tabique rojo de 14 cm de espesor, con aplanado de yeso en la cara interior de 1.5 cm de espesor, y aplanado de mortero: arena-cemento en la cara exterior de 2 cm de espesor. La altura libre de muro es igual a 2 m.

Peso muro = $1500 \times 0.14 \times 2 = 420$

Peso aplanado interior = $1500 \times 0.015 \times 2 = 45$

Peso aplanado exterior = 84

Peso total de Muro = 549

b) Muro de adobe estabilizado de 15 cm de espesor, con acabado aparente. La altura libre de muro es igual a 2 m.

Peso total de muro = $160000,15 \times 2 = 480$

c) Muro de adobe normal de 30 cm de espesor, con aplastado de mortero de tierra en ambas caras, de 2.5 cm de espesor. La altura libre del muro es igual a 2.1 m.

Peso muro = $160000,15 \times 2,1 = 1134$

Peso aplastado = $200000,025 \times 1$

Peso total de muro = 1323

El plano arquitectónico para los tres tipos de viviendas se muestra en la figura B.4

B.2.1 Vivienda con muros de tabique rojo recocido

Memoria de cálculo

B.2.1.1 Análisis de cargas

NOMBRE	CICLO	(Kg/m ²)
LESA MUERTA	0.10	140
DESBASTE	0.04	40
APLASTADO DE YESO	0.025	20
TEMPERATURE		5
DESA ADICIONAL		20
		OR = 207
		W = 60
		WIND = 427

* PARA PERFILES DE CORTA MAYOR AL 10

B.2.1.2 SUMA DE CARGAS

S/E	LONGITUD M (M)	AN (M)	CARGA VERTICAL (KG)	WIND WIND (KG)	WIND WIND (KG)	TOTAL (KG)
1	3.3 - 3.4	11.85	673	3630	475	6823
2	3.3 - 3.4	10.27	444	2475	475	3223
3	3.3 - 3.3	4.00	174	1175	220	1799
4	3.3 - 3.4	10.27	477	263	475	2217
5	3.3 - 3.4	11.85	673	3630	475	6823
6	3.3 - 3.3	15.18	1440	4875	713	11028
7	3.3 - 3.4	14.90	674	3700	713	10849
8	3.3 - 3.3	13.36	1447	4550	713	11310
9*	2.3	4.47	1400			

* PARA PERFILES DE CORTA MAYOR AL 10

8.2.1.3 Diseño de losa.

Se considerará como no monolítica. En la figura 8.5 se muestran los tableros y áreas tributarias.

- Peralte mínimo

$$d_{\min} = 1,5 \frac{(330)}{300} (2) + (2) \frac{(330)}{300} = 5,5 \text{ cm.}$$

$W_{serv} = 427 \text{ kg/m}^2$, mayor que 380 kg/m^2 ; por lo tanto:

Factor de corrección = 0.034 ($W_{serv} \times f_{sit} \dots$ (ref. 29).

$$f_s = 0,6 \times f_v = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

Factor de corrección = 1.1

Entonces el peralte mínimo será:

$$d_{\min} = 5,5 \times 1,1 = 6,05 \text{ cm.}$$

Usando recubrimiento igual a 2 cm, entonces:

$$h = d_{\min} + r = 8,05 \text{ cm.}$$

Se tomará $h=10$ ca, valor que comúnmente se considera en la práctica constructiva.

- Verificación del peralte por flexión.

P (cantidad de acero de tensión) deberá ser menor a

$$P_{\max} = (f'_c / f_y) (4800 / (6000 + f_y)) = 0,0152$$

$$M_u = k \cdot W_u \cdot a$$

$$m = a / a_c; a_c = a_c \cdot 205; k = 364$$

$$W_u = FCJ \cdot W_{serv} = 598 \text{ kg/m}^2$$

Para obtener el momento por unidad de ancho, el coeficiente

k se multiplica por 10^{-4}

$$M_u = k \cdot W_u \cdot a \cdot 10^{-4}$$

$$M_u = 22,639 \dots = 5,537 \text{ kg/cm}^2 \text{ por lo tanto rigor}$$

$$bd^2 = (100) (8)^2$$

$P_{\min} = 0,002$ y es menor que P_{\max} (OK)

- Verificación por cortante

$$V_{act} = ((a/2 - d) \cdot W_u - d) W_u = 458 \text{ kg.}$$

$$1 + (a/2 - d)$$

$$V_{res.} = 0.5 FR2 b d (f+c) \tau = 4048 \text{ kg}$$

V_{res.} mayor que V_{act.} (O.K.)

- Acero mínimo por temperatura

$$a_{smin} = (660 X) / ((f_y (X+100)), \text{ con } X = 10 \text{ cm.}$$

$$a_{smin} = 0.0143 \text{ cm}^2/\text{cm} = 1.43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Separación máxima

$$- S_1 = 50 \text{ cm}$$

$$- S_2 = 1.5 h = 35 \text{ cm}$$

$$- S_3 = (100 a_s) / a_s \text{ Usando varillas } \# 3, a_s = 0.71 \text{ cm}^2$$

$$- S_4 = 50 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la separación máxima será: S_{max} = 35 cm (O.K.)

B.6)

B.2.1.4 Diseño de la cimentación.

- Ancho de la cimentación

$$B = F_u / F_{adm}$$

La carga lineal máxima se localiza en el eje 1, ver tabla de bajada de cargas; entonces, la carga lineal de diseño será:

$$F_u = F_{1.1} F = 1.4 (8823/6.6) = 1872 \text{ kg/m}$$

$$\text{Entonces: } B = 0.23 \text{ m}$$

Sin embargo, las dimensiones mínimas que se recomiendan son

las siguientes:

$$- \text{Ancho de la base} = 40 \text{ cm}$$

$$- \text{Altura} = 50 \text{ cm}$$

Revisión del ancho de la cimentación: B=40 cm

$B = P_u/f_n$, deberá ser menor a 40 cm

$F_n = F_{adm} - f_c$

$f_c = P_c/A_c$ donde: P_c es el peso propio de la cimentación, y A_c es el área.

Para calcular P_c y A_c se tomará un metro lineal de cimentación:

$P_c = (\text{Peso volumétrico de piedra brasa} \times A_c \times l_m) \text{ FCI}$

$P_c = (2300) (0.5) (0.4) (1) (1.4) = 644 \text{ Kg}$

$f_c = 1.61 \text{ t/m}^2$

$f_n = 6.39 \text{ t/m}^2$

$B = 1.87/6.39 = 0.29 \text{ m}$, menor que 0.4 m (UK)

Los muros se reforzarán con castillos y dalas. Los castillos serán de 15x15 cm de sección transversal, armados con 4 barras longitudinales del #3 y estribos del #2 a cada 20 cms.

Las dimensiones de la cadena de cimentación y cerramiento serán de 15x20 cm, con 4 varillas de acero longitudinal del #3 y estribos del #2 a cada 20 cms.

B.2.2 Vivienda con muros de adobe estabilizado.

Memoria de cálculo.

B.2.2.1 Análisis de cargas.

MATERIAL	ESPESOR	(KG/M ²)
LOSA RIGIDA	0.10	240
ENTORTADO	0.04	84
APLAMO DE YESO	0.025	38
IMPERMEABILIZANTE		3
CARGA ADICIONAL		20
		CG = 387
		CC = 80
		MSDW = 427

8.2.1.2 BAJADA DE CARGAS

EJE	LONGITUD PUBO-CAB (M)	AT (M ²)	CARGA VERTICAL (KG)	POPO PUBO (KG)	POPO CAB. (KG)	TOTAL (KG)
1	6.6 - 6.6	11.05	4718	3638	475	8823
2	4.5 - 6.6	10.17	4343	2475	475	7293
3	2.3 - 3.3	4.00	1742	1815	238	3795
4	4.3 - 6.6	10.25	4377	2365	475	7217
5	6.6 - 6.6	11.05	4718	3638	475	8823
A	8.9 - 9.9	15.10	6448	4895	713	12056
B	6.8 - 9.9	14.98	6396	3748	713	10857
C	9.0 - 9.9	13.74	5867	4950	713	11530
V"	2.3	4.45	1900			

V" = VIGA DEL EJE 4 ENTRE A Y B.

B.2.2.3 Diseño de la cimentación.

Diseño de la cimentación

- Ancho de la cimentación

La carga lineal máxima se localiza en el eje 2, ver tabla de bajada de cargas; entonces, la carga lineal de diseño será:

$$F_u = F_{C1.P} = 1.4 (10172/6.6) = 2157 \text{ kg/m}$$

$$\text{Ancho requerido: } B = F_u / F_{adm} = 0.27 \text{ m}$$

Peso propio de la cimentación suponiendo un ancho igual a 0.40 m y una altura de 0.60 m.

$$F_c = (2700) (0.40) (0.60) (1) (1.4) = 775 \text{ kg.}$$

$$\text{Revisión del ancho de la cimentación: } B = 0.40 \text{ m}$$

$$f_c = P_c / A_c = 0.775 / (0.40 \times 1.0) = 1.93 \text{ t/m}^2$$

$$f_n = F_{adm} - f_c = 6.07 \text{ t/m}^2$$

$B = Pu/fn = 0.36 \text{ m}$, menor que $B = 0.40 \text{ (OK)}$

Los muros se reforzaran con cadenas de cerramiento de seccion transversal 15x15 cm, arreados con 4 varillas del # 3 y estribos del # 2 a cada 20 cm.

DESCRIPCION	CANTIDAD	(M ²)
ANCHO DE MUR ESTABILIZADO	6.00	1.00
SECCION / PISO-CORRIDA	3.00	14
ANCHO DE PISO	6.00	30
CARGA UNIFORME		20
		C1 = 200
		C2 = 10
		C3 = 200

* Para posiciones de apoyo como el 1o.
 y la reacción como tipo apoyo como se muestra en la figura 5.6

B.2.2.2 Sección de Cargas

EJE	LONGITUD PISO-CORR. (M)	C_1 (K)	CARGA DISTRIBUIDA (K/M)	PESO PISO (K)	PESO CORR. (K)	PESO	%
1	6.6 - 6.6	12.00	30.00	21.60	25.6	777	
2	6.7 - 6.6	36.00	9.00	21.60	25.6	1407	
3	3.3 - 3.3	6.00	0	15.84	17.9	1762	
4	6.7 - 6.6	36.00	9.00	21.60	25.6	1407	
5	6.6 - 6.6	12.00	30.00	21.60	25.6	777	
6	6.7 - 6.7	6.00	0	15.84	17.9	687	
7	6.6 - 6.6	6.00	0	15.84	17.9	379	
C	6.6 - 6.6	6.00	0	15.84	17.9	677	
Σ	1.3	7.71	126				

$\Sigma P = 126 \text{ K}$ EN EL PISO 1.1

C_1 = ES EL MUR PERPENDICULAR A LA DIRECCION DE LA CARGA EN EL PISO 1.1

B.2.3.3 Diseño de la cimentación.

* Para ejes 1, 2, 3, 4 y 5

- Ancho de la cimentación

La carga lineal máxima se localiza en el eje 2, ver tabla de bajada de cargas; entonces, la carga lineal de diseño será:

$$F_u = FCI P = 1.4 (1590/6.6) = 3373 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Ancho requerido: } B = F_u / F_{adm} = 0.42 \text{ m}$$

Peso de la cimentación suponiendo un ancho igual a 0.55 m

$$P_c = (2300) (0,55) (0,60) (1) (1,4) = 1063 \text{ kg.}$$

Revisión del ancho de la cimentación:

$$f_c = P_c/A_c = 1,063 / (1,0 \times 0,55) = 1,93$$

$$f_n = F_{adm} - f_c = 6,07 \text{ t/m}^2$$

$$B = P_c/f_n = 3,373/6,07 = 0,55 \text{ m, igual a } B = 0,55 \text{ m supuesto}$$

(08)

* Para ejes A, B y C

- Ancho de la cimentación.

La carga lineal máxima se localiza en el eje C, entonces, la carga lineal de diseño será:

$$P_u = 1,4 (12689/9,9) = 1794 \text{ kg/m}$$

$$\text{Ancho requerido: } B = P_u/F_{adm} = 0,22 \text{ m.}$$

Peso de la cimentación suponiendo un ancho igual a 0,40 m y una altura de 0,60 m.

$$P_c = (2300) (0,40) (0,60) (1) (1,4) = 773 \text{ kg.}$$

Revisión del ancho de la cimentación: $B = 0,40 \text{ m.}$

$$f_c = P_c/A_c = 1,93 \text{ t/m}^2$$

$$f_n = F_{adm} - f_c = 6,07 \text{ t/m}^2$$

$$B = P_c/f_n = 0,30 \text{ m, menor que } B = 0,40 \text{ m (09).}$$

8.2.3.4 Diseño de la viga del eje 4 entre A y B.

Se diseñará con la carga obtenida en el análisis de la vivienda con muros de adobe normal, ya que es mayor que las obtenidas en los otros tipos de viviendas.

Suponiendo las dimensiones de la sección: 15x20 cm, y considerando 3 varillas del # 3 como refuerzo a tensión, se verificará si la viga es adecuada.

- Revisión por flexión

$$M_u = WL^2/8$$

$$W = Pu/L; L=2.3 \text{ m}$$

$$W = (2.71/2.3) 1.4 = 1.65 \text{ t/m}$$

$$M_u = 1.09 \text{ t.m.}$$

$$M_r = FR1 f' c b d^2 \rho (1 - 0.5\rho)$$

$$\rho = (b f_v)/f' c; \quad \rho = A_s/(b d); \quad \text{para 3 varillas \# 3}$$

$$A_s = 2.13 \text{ cm}^2; \quad b = 15 \text{ cm}; \quad d = 17.5 \text{ cm}$$

$$M_r = 1.23 \text{ t.m. es mayor que } M_u \text{ (OK)}$$

- Revisión por cortante

$$V_u = WL/2 = 1.90 \text{ t.}$$

$$\rho = 0.0081 \text{ es menor que } 0.01, \text{ por lo tanto:}$$

$$V_{cr} = FR2 b d (0.2 + 30 \rho) (f' c)^{3/4} = 1.177 \text{ t.}$$

V_{cr} es menor que V_u , por lo tanto se requiere estribos por cálculo. Para estribos del # 2, $A_s = 0.32 \text{ cm}^2$; la separación será la menor de:

$$- S1 = FR2 A_v f_v d / (V_u - V_{cr}) = 32 \text{ cm}$$

$$- S2 = FR2 A_v f_v / (3.5 b) = 24 \text{ cm}$$

Se usaran estribos del # 2 a cada 20 cm

$$\text{Ademas, } 2 FR2 b d (f' c)^{3/4} = 5.315 \text{ t, mayor que } V_u \text{ (OK)}$$

8.3.1 Revisión de la vivienda con muros de tabique rojo recocido.

8.3.1.1 Revisión por sismo

Se aplicara el método simplificado del RCDF

Características de la estructura y cargas consideradas:

$$- \text{Factor de comportamiento sismico} = 1.0$$

$$- \text{Coeficiente sismico (Cs)} = 0.08$$

- Peso de los muros

- Altura considerada = 1 m.
 Longitud de muros = 50 m.
 Peso = $1500 \times 50 \times 0.14 \times 1$ 10500 kg
 - Peso de cadena (longitud = 59.4 m)
 Peso = $2400 \times 59.4 \times 0.15 \times 0.20 =$ 4277 kg
 - Area de losa 90.40 m²
 - Carga muerta 387 kg/m²
 - Carga viva (sismo) 20 kg/m²
 - Factor de carga 1.1
 - $Wl = (387+20) (51570) (1.1)/1 =$ 51570 kg
 - Cortante en la base: $V_{base} = Cs Wl FC/R$
 $V_{base} = (0.08) (51570) (1.1)/1$ 4538 kg
 - Longitud de muros:
 $Lx = 23.3$ m Ejes 1, 2, 3, 4 y 5
 $Ly = 22.25$ m Ejes A, B y C

Revisión del sentido de menor longitud de muros (ly).

EJE	TRAMO	LONGITUD (CM)	AREA (CM ²)	ML	U _p (KG)
A	4-5	230	3220	0.87	3748
A	2-4	330	4620	0.61	8247
A	1-2	330	4620	0.61	8247
B	4-5	240	3360	0.96	3999
B	2-4	110	1540	2.10	1112
B	1-2	330	4620	0.70	8247
C	4-5	230	3220	0.87	3748
C	2-4	195	2730	1.03	4873
C	1-2	230	3220	0.87	3748

53968

Si h/L mayor a 1.33 son muros esbeltos, entonces:

$$V_r = FR (0.85 v + A) (1.33 L/h)^2$$

donde: $v = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ $FR = 0.7$ (Ref. 26)

Para muros no esbeltos:

$$V_r = FR (0.85 v + A)$$

Entonces: $V_r = 53968 \text{ kg}$, mayor a $V_{act} = 4538 \text{ kg}$ (Ok).

B.3.1.2 Revisión a cargas verticales

$$FR = FR FE f_m A$$

$$FR = 0.60 \text{ (muros confinados)}$$

$$FE = 0.70 \text{ (muros interiores)}$$

$$FE = 0.60 \text{ (muros exteriores)}$$

Resistencia de diseño a compresión: $f_m = 15 \text{ kg/cm}^2$

- Revisión del muro interior: Eje B.

$$FR = (0.6) (0.7) (15) (14160) = 59976 \text{ kg.}$$

$$F_u = 1.4 (10849) = 15189 \text{ kg. menor que FR (Ok)}$$

- Revisión del muro exterior: eje I

$$FR = (0.6) (0.6) (15) (14160) = 49896 \text{ kg.}$$

$$F_u = 1.4 (6803) = 9522 \text{ kg. menor que FR (Ok)}$$

B.3.2 Revisión de la vivienda con muros de adobe estabilizado.

B.3.2.1 Revisión por sismo.

Se aplicarán los tres métodos de análisis descritos en el capítulo 7, con fines ilustrativos.

B.3.2.1.1 Método de las relaciones geométricas.

Características de los materiales y la estructura.

Peso volumétrico del adobe estabilizado 1600 kg/m^3

Espesor de muros 15 cm

Peso propio del techo	250 kg/m ²
Carga viva en el techo (sismo)	20 kg/m ²
Factor de comportamiento sísmico (Q)	1
Zona de baja intensidad sísmica	A
Peso total del techo = 250 + 20 = 270 kg/m ²	

Como el peso del techo es menor de 500 kg/m² y se reforzará con una dala en los extremos superiores del muro, entonces las relaciones H/t y L/2t son iguales a 13, según la tabla mostrada en el capítulo 7 para este método.

Por lo tanto, la altura máxima de un muro será:

$$H/t = 13, H = 13 (t) = 13(15) = 195 \text{ cm}, 200 \text{ cm (OK)}$$

La longitud libre no debe ser mayor a $L = 13 (2t)$

$$L = 13 (2 \times 15) = 390 \text{ cm mayor a } 330 \text{ cm (OK)}$$

En el proyecto de vivienda, la mayor longitud de un muro es de 3.30 m y la altura de los muros es de 2.0 m, ligeramente mayor a la calculada; pero como se ha dicho, el método es muy conservador, por lo que la altura se considera adecuada.

B.3.2.1.2 Método simplificado (criterio de esfuerzos permisibles).

En el análisis de esta vivienda se tomarán los esfuerzos permisibles obtenidos de las pruebas realizadas específicamente para el proyecto, dados en el capítulo 5.

Revisión por constante

- Determinación del coeficiente sísmico (U_s). Dada la ubicación de la construcción, se tiene que pertenece a la zona A de baja intensidad sísmica y U_s = 0.04 obtenida del mapa de regionalización sísmica de la república mexicana (fig 7.6).

- Reducción de la longitud de los muros por efecto de esbeltez. Si h/L es mayor a 1.33 el muro es esbelto, por lo que su longitud (L) se multiplicara por el factor $(1.33 L/h)^2$ para obtener la longitud efectiva, en la figura 8.9 se muestran éstas.

- Cálculo de la fuerza cortante

Se tomara el cuarto clasificado con el numero I de la figura 8.9, y se analizará en el sentido del eje de las x ya que los muros que se consideran criticos son los que se localizan en los ejes 2 y 4 por ser intermedios. Se calculara la fuerza cortante en el muro del eje 2 entre A y B. Este muro recibirá el 60% de la fuerza calculada en el cuarto I más el 50% de la fuerza calculada en el cuarto II.

La fuerza cortante se calculara con: $V_s = C_s W / Q_1$ para calcular W se tiene que tomar en cuenta la figura 7.3 y los valores L' y H' que se señalan.

Los cuartos I, II y III son iguales en cuanto a dimensiones (3.3x3.3 m) por lo que los valores L' , H' y V_s serán los mismos para cada uno.

Cuando la estructura tenga techo rígido:

$$L' = L; \quad H' = 3H/5$$

$$\text{Entonces: } L' = 3.3 \text{ m}; \quad H' = 3(2.00)/5 = 1.2 \text{ m.}$$

$$\text{Peso del techo} = 270 \text{ kg/m}^2$$

$W' = \text{Peso del muro} + \text{Peso de la cadena} + \text{peso del techo.}$

$$W' = (1600) (0.15) (91.2) (3.3+3.3) (2) = (2400) (0.15) (0.15) (3.3+3.3) (2) + (270) (3.3) (3.3) = 7455 \text{ kg.}$$

$$\text{El cortante sísmico vale: } V_s = (0.08) (7455)/1 = 596 \text{ Kg.}$$

- Revisión del eje 2 entre A y C.

El cortante actuante en el eje 2 es:

$$V = 2(0,6 \times 596 + 0,5 \times 596) = 1312 \text{ kg.}$$

Esfuerzo cortante actuante: $f_v = V/A$ muro

$$f_v = 1312 / (15(210 + 240)) = 0,19 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo cortante permisible: $f_{v\text{p}} = 0,46 \text{ kg/cm}^2$

f_v menor a $f_{v\text{p}}$ (OK)

- Revisión del eje 4 entre A y C.

El cortante en el eje 4 es igual al del eje 2.

Esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = 1312 / (15(330 + 44)) = 0,23 \text{ kg/cm}^2 \text{ menor a } f_{v\text{p}} \text{ (OK)}$$

- Revisión del eje 1 entre A y C.

Este es un muro extremo por lo que resistirá el 40% del cortante calculado para el cuanto I ($V_1 = W_1 = V/4$).

El cortante actuante en el eje 1 es:

$$V = 2(0,4 \times 596) = 477 \text{ kg}$$

Esfuerzo cortante actuante:

$$f_v = 477 / (15(230 + 330)) = 0,06 \text{ kg/cm}^2 \text{ menor a } f_{v\text{p}} \text{ (OK)}$$

La revisión en el sentido de las Y (Ejes D, B y C) parece ser innecesaria, ya que las habitaciones son cuadradas, además, se tiene similar longitud de muros en ambos sentidos.

Revisión por flexión

Se va a elegir el muro de mayor longitud, en este caso existen varios con $L = 3,3$ m. Entonces, se revisará el muro del eje B entre 1 y 2.

La ecuación de momento flexionante en las esquinas de la construcción es: $M = C_6 W L^2/4$

$K = 20$ existe viga-cadena de concreto

$C_s = 0.08$ zona sísmica A

$X = H = 210 \text{ cm}$ o $X = L/2 = 330/2 = 165 \text{ cm}$, por lo tanto: $X = 165 \text{ cm}$ (el menor).

$W = (\text{Peso de muro} + \text{Peso de cadena} + 1/2 \text{ peso de la cubierta})/\text{Unidad de longitud}$.

$W = (1600 \times 3.3 \times 0.15) + (2400 \times 7.3 \times 0.15 \times 0.15) + 1/2 (2 \times 270 \times 3.3 \times 3.3) / 3.3 = 1250 \text{ kg/m}$.

Entonces: $M = (0.08) (1250) (1.65)^2 / 20 = 13.6 \text{ kg. m}$

El esfuerzo de flexión vale: $f_f = M/S$

$S = t^3/6 = (0.15)^3/6 = 0.0038 \text{ m}^3$ (considerando una longitud unitaria).

$f_f = 0.358 \text{ kg/cm}^2$ menor al permisible $f_f^* = 0.48 \text{ kg/cm}^2$

Revisión a cargas verticales.

Revisando el muro del eje 4

Esfuerzo de compresión permisible: $f_m^* = 5.22 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo de compresión actuante: $f_m = P/A_{\text{muro}}$

$f_m = 10076 / (430 \times 15) = 1.56 \text{ kg/cm}^2$ menor a f_m^* (OK)

8.3.2.1.3 Criterio de la resistencia

Verificación de que la estructura cumple con las condiciones para aplicar este método.

- Existe un elemento rígido en la parte superior de los muros.

- La excentricidad de la carga debido a la losa es:

$e_c = (t/2) - (b/3)$;

t es el espesor del muro y b el de la porción de éste en que se apoya la losa soportada por el muro.

$ec = 15/2 = 15/3$

$ec = 3.5$

ec debera ser menor a $t/6 = 15/6 = 2.5$

- $H/t = 200/15 = 13.33$ menor a 20

- $L/R = 9.9/6.6 = 1.5$ menor a 2

- el 75% de la carga vertical es resistida por muros.

Unidos entre si por una cadena perimetral

- $L/2 = 9.9/2 = 4.95$ m ; en ambas direcciones hay muros

paralelos con longitud mayor a este valor.

- Existe techo rido

Resistencia de los muros a cargas laterales

$V_R = FR (0.5 v + AT)$

$FR = 0.6$ (muros no continuos)

$v = f_{iv} = 1.14$ Kg/cm² (Esfuerzo cortante resistente

obtenido de ensaves)

Longitud de muros:

$L_x = 21.5$ m Ejes 1, 2, 3, 4 y 5

$L_y = 22.25$ m Ejes A, B y C

Revisando el sentido del eje de las Y que es el de menor

longitud de muros.

$V_R = 0.6 (0.5(1.14)(22.25)(15)) = 11414$ Kg

Cargas actuantes:

- Peso de los muros $(1600)(50)(0.15)(1) = 12000$ Kg

- Peso de cadena $(2400)(59.4)(0.15) = 3208$ Kg

- Area de la cubierta = 90.40 m²

- Carga muerta = 250 Kg/m²

- Carga viva (sismo) = 20 Kg/m²

- Factor de carga = 1.1
- Factor de comportamiento sísmico (Q) = 1
- $W = 12000 + 32 \times 8 + 90.4 (20 + 250) = 39610 \text{ Kg}$
- $V_{act} = 0.08 \times 39610 \times 1.1 = 3486 \text{ Kg}$ menor que V_R (OK)

Revisión a cargas verticales

- Resistencia a cargas verticales

$$P_R = F_R \cdot F_E \cdot f_{cm} \cdot A_T$$

$$F_R = 0.3 \text{ (sólo se tiene cadena de cerramiento)}$$

$$F_E = 0.7 \text{ (muros interiores)}$$

$$F_E = 0.6 \text{ (muros exteriores)}$$

$$f_{cm} = 13.06 \text{ kg/cm}^2 \text{ (resistencia de diseño de compresión obtenida de ensaves).}$$

- Revisión del muro exterior: Eje 5

$$P_R = (0.3 \times 0.6 \times 13.06 \times 680 \times 15) = 23275 \text{ Kg}$$

$$F_u = 1.4 \times 7352 = 10293 \text{ Kg menor a } P_R \text{ (OK)}$$

- Revisión del muro interior: Eje 6

$$P_R = (0.3 \times 0.7 \times 13.06 \times 680 \times 15) = 27975 \text{ Kg}$$

$$F_u = 1.4 \times 3799 = 5319 \text{ Kg menor a } P_R \text{ (OK)}$$

B.3.3 Revisión de la vivienda con muros de adobe normal

B.3.3.1 Revisión por sismo

B.3.3.1.1 Criterio de las relaciones geométricas

Las características de los materiales son:

- Peso volumétrico del adobe normal 1800 kg/m³
- Espesor de los muros 0.30 m
- Peso del techo 317 kg/m²
- Carga viva (sismo) 20 kg/m²
- Factor de comportamiento sísmico 1

- Refuerzo en muros con data perimetral

Según la tabla del capítulo 7, para una estructura ubicada en una zona de baja intensidad sísmica con las siguientes características: peso del techo menor a 500 kg/m², con muros reforzados en su extremo superior y hechos con adobe normal, las relaciones H/t y $L/2t$ que establece este método deben ser igual a 6.6

Entonces: $H/t = 6.6$ donde la altura máxima de un muro será

$$H = 6.6 t = 6.6(0.3) = 1.98 \text{ m.}$$

La longitud del muro no será superior a:

$$L/2t = 6.6$$

$$L = 2(t)(6.6) = 3.96 \text{ m}$$

A excepción del muro que se encuentra en el eje 5, los demás tienen una longitud menor que 3.96 m ya que tienen un muro transversal que limitan su longitud libre antes de llegar a ese valor.

Por otra parte, la altura de los muros es de 2.1 m, un poco mayor a la permisible calculada, pero se considera que no habrá problemas por ser el método muy conservador.

8.3.3.1.2 Criterio de los esfuerzos permisibles

Como no se llevaron a cabo pruebas para especímenes de adobe normal, al menos las mínimas necesarias para poder valorar los resultados, entonces se revisará la estructura con los esfuerzos admisibles recomendados para adobe normal.

Esfuerzo de compresión admisible:

$$f_m = 2.2 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo de flexión admisible:

$$f_{ef} = 0.48 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo cortante admisible:

$$f_{fv} = 0.28 \text{ kg/cm}^2$$

Estos valores están afectados por un factor de seguridad igual a 2.5.

- Revisión por cortante.

Considerando nuevamente la figura 8.4 para calcular estos esfuerzos en base a longitudes efectivas, y analizando los muros que son críticos en los ejes 2 y 4, ya que por ser intermedios el muro del eje 2 recibe el 60% de la zona I y el 50% de la zona II y, lo mismo sucede con el muro del eje 4 que recibe de la zona II y III.

Siendo el proyecto arquitectónico simétrico, permite determinar la fuerza cortante en un solo cuarto y verificar si los muros críticos desarrollan esfuerzos superiores a los admisibles.

Entonces, el peso W' se calcula con los parámetros H' y L' correspondientes para cuando se tiene un techo rígido.

Se determinarán los parámetros antes mencionados para un cuarto de la zona II.

$$L' = L = 3.3 \text{ m}$$

$$H' = 3H/5 = 3(2.1)/5 = 1.26 \text{ m}$$

$$W' = 1800 \times 1.26 (3.3+3.3) \times 0.342 + (2400) (3.3+3.3) (2) (0.110,3) + (0.110,03) + (337) (3.3 \times 3.3) = 13696 \text{ Kg}$$

El coeficiente sísmico es 0.08 dada la ubicación de la obra.

El cortante sísmico vale: $V_s = C_s W'/Q$

$$V_s = 0.08 \times 13696/1 = 1096 \text{ Kg.}$$

• Revisión del muro del eje 2 entre A y C

La fuerza cortante es: $v = 2(0,6) (1096) + (0,5) (1096)2$

$$v = 2411 \text{ Kg}$$

El esfuerzo cortante será: $fv = 2411 / (30(210+240))$

$$fv = 0,18 \text{ Kg/cm}^2 \text{ menor al permisible } fv = 0,28 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

- Revisión por flexión

• Revisión del muro del eje 1 entre B y C

Ecuación: $M = Cs W l^2 A$

$$k = 20 \text{ por tener viga-cadena}$$

$$Cs = 0,08 \text{ (zona 4)}$$

$$l = H = 210 \text{ cm}; l = L/2 = 330/2 = 165 \text{ cm}$$

$$l = 165 \text{ cm (por ser menor)}$$

$$W = (\text{peso muro} + \text{peso cadena} + 2 \text{ peso del$$

techo) por unidad

$$W = (1800) (0,3) + (2400) ((0,1) (0,3) + (0,110,03))$$

$$(5,3) + 1/2 (337) (3,30) = 587273,3 = 1780 \text{ Kg/m}$$

$$M = (0,08) (1780) (1,65)^2 / 20 = 19,38 \text{ kg.m}$$

Esfuerzo de flexión: $ff = M/S$

$$S = I/Z = (0,337) / 6 = 0,0156$$

Esfuerzo de flexión actuante: $ff = 0,1292 \text{ Kg/cm}^2$

$$ff \text{ menor a } ff = 0,48 \text{ Kg/cm}^2$$

8.3.3.1.3 Revisión a compresión.

Revisión del muro eje 4

$$fa = F/A_{\text{muro}} = 15625 / (430)(30) = 1,21 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fa \text{ menor que el permisible } fa = 2,2 \text{ Kg/cm}^2$$

CAPITULO 9
COMPARACION ECONOMICA

Los precios de los materiales son de mediados del mes de octubre de 1989, cuando la cotización de dolar controlado a la venta es de \$ 2572.0 M.N. Esto sirve de base para actualizar, en fecha posterior, los costos ahora calculados.

9.1 Costo de vivienda de tabique rojo recocido

9.1.1 Planos.

Los planos son necesarios para elaborar las especificaciones y obtener los costos unitarios directos empleando el método tradicional de cálculo de costos. Se presentan en el anexo.

9.1.2 Especificaciones y costos unitarios directos.

1. Concepto: Limpieza del terreno.

Unidad: m²

Descripción: Consiste en la limpieza superficial total del terreno. Se incluye la limpieza de la totalidad del lote. Se excluye la tala de árboles con troncos de más de 5 cm de diámetro.

Procedimiento: El lote deberá quedar limpio de basura, escombros, verba, arbustos, etc; así como de todo obstáculo que dificulte la construcción, tanto de la casa en sí, como de sus espacios accesorios.

1. Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
- Mano de obra				
2 peones				
(50m ² /jor)	Jor	0,02	\$30.000	\$ 600,0

- Herramienta	
33 M. de O.	\$ 18.0
Total	\$618.0

2. Concepto: Trazo y nivelacion.

Unidad: m²

Descripción: Inicialmente se ratificarán o rectificaran los linderos del lote, tanto lo relativo a longitudes, como a angulos. A continuación se trazaran los ejes de la casa.

Procedimiento: Una vez comprobados los linderos del lote, se procedera al trazo de los ejes como se indica en el plazo de la figura 7.1. Cada eje se determinara con dos estacas de madera con un clavo para mayor precision. Despues, deberan hacerse puentes de madera del ancho y altura necesarios para no estorbar la excavacion ni la construccion de los cimientos. En estos puentes se marcara en forma clara el centro de cada cimiento, asi como su ancho.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
- Material				
cal en trazo	to	0.04	\$144.2	\$ 5.77
- Mano de obra				
Of. albañil				
y peon	Jor	0.0143	\$38,000	\$543.4
- Herramienta				
33 M. de O.				\$ 16.3
Total				\$565.5

3. Concepto: Excavacion.

Unidad: m³

Descripción: En los sitios y con las medidas indicadas en los planos respectivos, se harán las excavaciones tanto de ceapas como generales.

Procedimiento: La localización, ancho y cota de desplante de las ceapas deberá ajustarse a lo indicado en los planos. La superficie de las excavaciones quedará libre de irregularidades y a hilo.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
- Mano de obra				
Of. albañil y				
peón	Jor	0.5	\$17,300	\$8,650.0
- Herramienta				
Iz. M. de O.				\$ 260.0
Total				\$8,910.0

4. Concepto: Plantilla de concreto pobre de ceapas

Unidad: m²

Descripción: En los sitios indicados en los planos respectivos, se harán plantillas de concreto f'c = 100 kg/cm² de 5 cm de espesor.

Procedimiento: Se colocará el concreto en el fondo de las ceapas formando una capa uniforme. La superficie terminada deberá quedar firme y a nivel para que sea una base adecuada para la cimentación.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
----------	--------	----------	------	---------

- Material				
cemento	ton	0.013	\$200,872	\$ 26,11.3
arena	m3	0.0254	\$19346	\$ 4,91.4
grava	m3	0.0378	\$19346	\$ 7,31.3
- Mano de obra				
Compactacion				
c/obispo				
Of. albañil y				
peon	Jor	0.0286	\$38,000	\$ 1,087.0
plantilla				
Of. albañil				
y peon	Jor	0.0625	\$38,000	\$ 2,375.0
- Herramienta				
3% H. de O.				\$ 104.0
Total				\$ 7,400.0

5. Concepto: Mampostería de Piedra.

Unidad: m²

Descripción: En los sitios indicados en el plano de cimentación, se construirá ésta a base de mampostería de piedra ajustándose a las medidas y demás datos.

Procedimiento: La piedra se mojará antes de iniciar el trabajo para evitar que absorba la humedad de la revoltura. Las piedras se colocarán de tal manera que la primera capa apoye firmemente sobre la plantilla. Se cuatrupearán las piedras para evitar la continuidad de las juntas tanto en sentido horizontal, como vertical. Deberá evitarse el efecto de cuña. El asentamiento de las piedras será con revoltura cemento, cal, arena en

CAPITULO 9
COMPARACION ECONOMICA

Los precios de los materiales son de mediados del mes de octubre de 1989, cuando la cotización de dolar controlado a la venta es de \$ 2572.0 M.N. Esto sirve de base para actualizar, en fecha posterior, los costos ahora calculados.

9.1 Costo de vivienda de tabique rojo recocido

9.1.1 Planos.

Los planos son necesarios para elaborar las especificaciones y obtener los costos unitarios directos empleando el método tradicional de cálculo de costos. Se presentan en el anexo.

9.1.2 Especificaciones y costos unitarios directos.

1. Concepto: Limpieza del terreno.

Unidad: m²

Descripción: Consiste en la limpieza superficial total del terreno. Se incluye la limpieza de la totalidad del lote. Se excluye la tala de árboles con troncos de más de 5 cm de diámetro.

Procedimiento: El lote deberá quedar limpio de basura, escombro, verba, arbustos, etc; así como de todo obstáculo que dificulte la construcción, tanto de la casa en sí, como de sus espacios accesorios.

1. Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
Mano de obra				
2 peones				
(50m ² /10h)	Jor	0.02	\$30,000	\$ 600.0

- Herramienta

3/2 M. de O.	\$ 18.0
Total	\$618.0

2. Concreto: Trazo y nivelación.

Unidad: m²

Descripción: Inicialmente se ratificaran o rectificaran los linderos del lote, tanto lo relativo a longitudes, como a ángulos. A continuación se trazaran los ejes de la casa.

Procedimiento: Una vez comprobados los linderos del lote, se procederá al trazo de los ejes como se indica en el plazo de la figura 9.1. Cada eje se determinará con dos estacas de madera con un clavo para mayor precisión. Después, deberán hacerse puentes de madera del ancho y altura necesarios para no estorbar la excavación ni la construcción de los cimientos. En estos puentes se marcará en forma clara el centro de cada cimiento, así como su ancho.

Concreto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
- Material				
cal en trazo	To	0.04	\$144.2	\$ 5.77
- Mano de obra				
Of. albañil				
y peon	Jor	0.0143	\$38.000	\$543.4
- Herramienta				
3/2 M. de O.				\$ 16.3
Total				\$565.5

3. Concepto: Excavacion.

Unidad: m³

Descripción: En los sitios v con las medidas indicadas en los planos respectivos. se harán las excavaciones tanto de cegas como generales.

Procedimiento: La localización, ancho y cota de desplante de las cegas deberá ajustarse a lo indicado en los planos. La superficie de las excavaciones quedará libre de irregularidades y a hilo.

Concepto	Unidad	Unidad	FU	Importe
- Mano de obra				
Of. albañil y				
peon	Jor	0.5	\$17.300	\$8.650.0
- Herramienta				
3% M. de O.				\$ 260.0
Total				\$8.910.0

4. Concepto: Plantilla de concreto sobre de cegas

Unidad: m²

Descripción: En los sitios indicados en los planos respectivos, se harán plantillas de concreto f'c = 100 kg/cm² de 5 cm de espesor.

Procedimiento: Se colocara el concreto en el fondo de las cegas formando una capa uniforme. La superficie terminada deberá quedar firme y a nivel para que sea una base adecuada para la cimentación.

Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe
----------	--------	----------	------	---------

- Material				
cemento	ton	0.013	\$200.872	\$ 26.11.3
arena	m3	0.0254	\$19346	\$ 4.91.4
grava	m3	0.0378	\$19346	\$ 7.31.3
- Mano de Obra				
Cimentacion				
c/risco				
Of. albañil y				
peon	Jor	0.0286	\$38.000	\$ 1.087.0
plantilla				
Of. albañil				
y peon	Jor	0.0625	\$38.000	\$ 2.375.0
- Herramienta				
32 M. de O.				\$ 104.0
Total				\$ 7.400.0

5. Conector: Mamposteria de piedra.

Unidad: m

Descripción: En los sitios indicados en el plano de cimentación, se construirá esta a base de mamposteria de piedra ajustándose a las medidas y demás datos.

Procedimiento: La piedra se espará antes de iniciar el trabajo para evitar que absorva la humedad de la revoltura. Las piedras se colocaran de tal manera que la primera capa adove firmemente sobre la plantilla. Se contrapearan las piedras para evitar la continuidad de las juntas tanto en sentido horizontal, como vertical. Debera evitarse el efecto de cufa. El asentamiento de las piedras sera con revoltura cemento, cal, arena en

proporcion 1:1:10.

Los porcentajes aceptables de piedra v revoltura por metro cubico de mamposteria fabricada seran 70-80% de piedra v 30-20% de revoltura.

Una vez preparada la revoltura debera usarse antes de dos horas desde que se le haya agregado el agua.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
PIEDRA BRAJA	CM	0.00	\$ 12,794.0	\$ 10,235.0
CEMENTO	TON	0.037	200,072.0	7,432.0
CAL	TON	0.0174	144,200.0	2,509.0
ARENA	M3	0.236	19,340.0	4,564.0
- MANO DE OBRA				
OF ALBAÑIL Y PLUM	JOR	0.333	38,000.0	12,654.0
Ix N. DE O.				300.0
TOTAL				37,776.0

a. Concepto: Cadena de cimentacion.

Unidad: ml

Descripcion: En los lugares indicados en el plano respectivo, se haran cadenas de concreto armado de 15x20 cms de seccion, con 4 varillas del #3 y estribos de alambreon del #2 a cada 20 cms. Se colocaran sobre la mamposteria de piedra.

Procedimiento: Armar las cadenas habilitando el acero con alambre recocido del #16 como se indica en el plano respectivo. A continuacion, se colocara la cimbra, para posteriormente vaciar el concreto. La cimbra se podra retirar a los tres dias del colado.

CONCRETO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.001	\$ 200,000.0	\$ 200.0
ARENA	M3	0.00025	\$ 19,340.0	\$ 4.8
GRASA	M3	0.002	\$ 19,340.0	\$ 39.1
CLAVES 2.5	UN	0.00	\$ 2,300.0	\$ 0.0
ALAMBRE REC.	M	0.000	\$ 1,050.0	\$ 0.0
ALAMBRE	M	0.00	\$ 1,000.0	\$ 0.0
REJILLA	TON	0.00034	\$1,610,000.0	\$ 553.5
REJILLA (CUBO) 10CM	M	1.0	\$ 2,000.0	\$ 2,000.0
MANO DE OBRA				
OP. ALAMBRE Y REJILLA	JOR	0.125	\$ 30,000.0	\$ 3,750.0
PLATE				\$ 0.0
RECURSOS				
TR. N. DE P.				\$ 10.0
TOTAL				\$ 17,033.5

2. Concepto: Impermeabilización de las cadenas.

Unidad: m

Descripción: Se hará en toda su superficie, con un impermeabilizante fester en frío a base de agua.

Procedimiento: Sobre la superficie de concreto, limpia y seca, se aplicará una mano de microprimer (imprimador), diluido en partes iguales con agua para aplicarlo con una brocha. Una vez que se ha permitido que seque el material, se debe recubrir con el impermeabilizante microlastic. Después, con una brocha de ixtle o cepillo de fibra dura, aplicar una capa continua y uniforme de microlastic, sin diluir; 24 horas después, se hará una segunda mano del impermeabilizante.

CONCRETO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
MATERIAL				
MICROPRIMER	LITRO	0.05	\$ 2,500.0	\$ 125.0
MICROLASTIC	LITRO	0.375	\$ 3,232.0	\$ 1,212.0
BROCHA	PIEZA	0.005	\$ 2,000.0	\$ 10.0
MANO DE OBRA				
0.25 DE OBRA Y PEON	JOR	0.2	\$ 20,750.0	\$ 415.0
RECURSOS				
TR. N. DE P.				\$ 10.0
TOTAL				\$ 1,800.0

3. Concepto: Muro de tabique rojo recocido.

Unidad: m²

Descripción: Se construirán muros de tabique rojo recocido del llamado de 7x14x28 cms.

Procedimiento: Las piezas se uniran con mortero cemento cal-arena en proporción 1:1:5, siendo la junta de un espesor de 1.2 a 1.5 cm para compensar las irregularidades del tabique. Cada hilada deberá quedar a hilo y a plomo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
MATERIAL				
TABIQUE	PIA	14.0	\$ 147.0	\$ 2,058.0
ARENA	M3	0.841	\$ 19,246.0	\$ 16,193.0
CAL	TON	0.2071	\$ 44,200.0	\$ 9,155.0
CEMENTO	TON	0.149	\$ 1200.872.0	\$ 179.0
MANO DE OBRAS				
M. ALAMBRIL P				
PEON	JOS	0.10	\$ 30,000.0	\$ 3,000.0
ACEROS Y OTROS				
DE H. DE 6.				\$ 114.0
TOTAL				\$ 18,117.0

4. Concepto: Castillo de concreto.

Unidad: m³

Descripción: Los castillos quedaran albiados en las esquinas de la construcción. Serán de concreto f'c = 200 kg/cm² de 15x15 cm de sección. Armados con cuatro varillas del No. 3 y estribos de alambros del no. 2 a cada 20 cms.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.000	\$ 1200.872.0	\$ 0.000.0
ARENA	M3	0.007	\$ 19,246.0	\$ 134.722.0
GRASA	M3	0.013	\$ 19,246.0	\$ 250.198.0
ALAMBRE REC.	M3	0.100	\$ 2,000.0	\$ 200.000.0
CLASE 2.5	M3	0.004	\$ 2,000.0	\$ 8.000.0
VARILLA #3	TON	0.00224	\$ 44,200.0	\$ 98.968.0
ALAMBRE #2	M3	0.02	\$ 2,000.0	\$ 40.000.0
CEMENTO (EXTRA)	M3	1.0	\$ 2,000.0	\$ 2,000.0
MANO DE OBRAS				
M. ALAMBRIL P				
PEON	JOS	0.125	\$ 30,000.0	\$ 3,750.0
PLATE				\$ 0.000.0
ACEROS Y OTROS				
DE H. DE 6.				\$ 140.0
TOTAL				\$ 16,000.0

10. Concepto: Cadena de cerramiento

Unidad: ml.

Descripción: El cerramiento sera de concreto fc = 200 kg/cm², de 15 cm de base por 20 cm de peralte, armado con 4 varillas del #3 y estribos de alambreon del #2 a cada 20 cms.

Costo: \$ 17,032.50

11. Concepto: Cimbra de madera (losa-techo).

Unidad: m²

Descripción: Se haran cimbras de madera para la losa con las superficies con la pendiente indicada.

Procedimiento: Las tarimas estaran formadas por tablonc de 2.0 cms de espesor minimo. El espaciamento de los largueros sera de 1.0 m. Las vicias maderas deberan estar a 1.5 m de distancia entre si, mientras que los puntuales podran tener una separacion de 1.5 a 2.0 m.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CIMBRA (RENTA)	M2	1.0	\$ 5,000.0	\$ 5,000.0
CLAVOS 2.5	KG	0.100	\$ 2,300.0	\$ 230.0
DIESEL	LITRO	0.50	\$ 455.0	\$ 227.5
ALAMBRE REC.	KG	0.100	\$ 2,050.0	\$ 205.0
- MANO DE OBRA				
OF. CARP. Y				
2 AYUD.	JOR	0.077	\$ 53,250.0	\$ 4,100.0
SLETE				930.0
- HERRAMIENTA				
3/4 M. DE O.				123.0
TOTAL				10,811.0

12. Concepto: Acero de refuerzo en losa.

Unidad: ton

Descripción: El armado de la losa se hará con aseo estricto a lo indicado en el plano.

Procedimiento: Una vez impregnada la cimbra con diesel o similar, va que la varilla no debe ensuciarse con esas sustancias, se procederá al armado del acero de refuerzo. Los armados de varilla con alambre recocado, se harán en los lugares y en el número necesario para asegurar la posición y firmeza del armado.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
VARILLA #3	TON	0.0032	\$161,300.0	\$ 5,153.0
ALAMBRE REC.	KG	0.150	\$ 2,050.0	\$ 307.0
- MANO DE OBRA				
OF. FERRERO				
Y 2 AYUD.	JOR	0.0156	\$ 55,300.0	
- HERRAMIENTA				
3% M. DE O.				\$ 26.0
TOTAL				\$ 6,344.0

13. Concepto: Techo de concreto.

Unidad: m².

Descripción: Sera f c = 200 kg/cm² de 10 de espesor, armada con varillas del #3 a cada 35 cm en todos los tableros en ambos sentidos como se indica en el plano respectivo.

Procedimiento: En la cimbra construida se vaciará el

concreto preparado. Al mismo tiempo de ir depositando el concreto se consolidará por medio de agitación continua. La revoltura deberá llenar completamente el molde, sin que queden burbujas de aire y acomodándose bien, tanto en las esquinas, como alrededor del emparrillado. Las superficies deberán quedar a hilo y a nivel las horizontales y, con la pendiente indicada las inclinadas, en ambos casos uniformes y libres de irregularidades.

Se evitará la pérdida de humedad del concreto mediante el proceso del curado, que consiste en mantener húmeda la pieza colada durante siete días.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.94	\$ 200,872.0	\$ 8,035.0
ARENA	M3	0.05	\$ 19,346.0	\$ 967.0
GRAVA	M3	0.072	\$ 19,346.0	\$ 1,393.0
- MANO DE OBRERA				
OF. ALBANIL Y 4 PEONES	JOR	0.02	\$ 83,000.0	\$ 1,660.0
- HERRAMIENTA				
3/4 M. DE O.				\$ 50.0
TOTAL				\$ 1,215.0

14. Concepto: Escobillado en techo

Unidad: m²

Descripción: Sobre la losa de concreto se hará un escobillado con cemento y arena.

Procedimiento: Deberá hacerse el escobillado a las 5 horas de haber colado la losa, con mortero cemento-arena en proporción

114 y de tal manera que tenga un espesor aproximado de 0.5 cms.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIALES				
CEMENTO	TON	0.20227	\$ 200,872.0	\$ 456.0
ARENA	M3	0.2059	\$ 19,346.0	\$ 114.0
- MANO DE OBR				
PEON	JOR	0.02	\$ 15,000.0	\$ 300.0
- HERRAMIENTA				
3% N. DE O.				\$ 9.0
TOTAL				\$ 879.0

15. Concepto: Firmes de concreto.

Unidad: m²

Descripción: Será un firme de concreto f c =150/cm² de 8 cm de espesor sobre el cual se podrá colocar mosaico, loseta vitílica o simplemente un pulido.

Procedimiento: El firme deberá quedar a nivel. Antes de colocar la revoltura se debe compactar el relleno con un pisón metálico. Una vez vaciado el concreto se deberá reposar 2 horas para después aplicarle apisonado. Doce horas después de haberse vaciado la revoltura, se empezara aregar con agua y se mantendrá húmedo durante seis días.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.0265	\$ 200,872.0	\$ 5,323.0
ARENA	M3	0.0414	\$ 19,346.0	\$ 8,001.0
GRAVA	M3	0.0578	\$ 19,346.0	\$ 1,110.0
- MANO DE OBR				
OF. ALBANIL Y PEON				
COMPACTACION	JOR	0.0286	\$ 18,000.0	\$ 1,006.0
OF. ALBANIL Y 2 PEONES				
FIRME	JOR	0.04	\$ 53,000.00	\$ 2,120.0
- HERRAMIENTA				
3% N. DE O.				\$ 76.0
TOTAL				\$ 17,745.0

9.2 Costo de vivienda de adobe estabilizado.

9.2.1 Planos.

Se presentan en el anexo los planos necesarios para cubicar las cantidades de obra para este tipo de vivienda.

9.2.2 Especificaciones y costos unitarios directos.

1. Concepto: Limpieza del terreno.

Unidad: m²

Costo: \$ 618.0

2. Concepto: Trazo y nivelación.

Unidad: m²

Costo: \$ 565.5

3. Concepto: Excavación.

Unidad: m³

Costo: \$ 8,910.0

4. Concepto: Mampostería de piedra.

Unidad: m³

Costo: \$ 37,776.0

5. Concepto: Elaboración del molde para fabricar las piezas de adobe.

Unidad: pieza

Descripción: Para hacer las piezas que formaran los muros, se harán unidades de cuatro moldes.

Procedimiento: Los moldes se fabricaran con madera de 2.0 a 2.5 cms de espesor, con las medidas que se muestran en la fig. 9.10. Se puede forrar con lamina galvanizada del no. 16 para protegerlo y evitar que la tierra se pegue a las paredes; o bien, pueden ser enroscadas o aceitadas.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
MADERA (TRIPLEXY)	M2	0.87	\$ 16,590.0	\$ 14,355.0
ARIELLA	PEA	4	\$ 510.0	\$ 2,072.0
BISAGRA	PEA	2	\$ 1,843.0	\$ 3,686.0
MARIPOSA	PEA	2	\$ 350.0	\$ 700.0
LAMINA GALV. #16	M2	9.79	\$ 12,000.0	\$ 9,449.0
PASADOR	PEA	2	\$ 600.0	\$ 1,200.0
- MANO DE OBRA				
CARPINTERO	JOR	1	\$ 30,000.0	\$ 30,000.0
- REPRESENTA				
3% M. DE O.				\$ 900.0
TOTAL				\$ 62,392.0

h. Concepto: Elaboración de las piezas de adobe.

Unidad: m³

Descripción: Las piezas tendrán las medidas 8x15x30 cms. se harán con cemento, cal y tierra en una proporción 1:2:10 en peso.

Procedimiento: El primer paso consiste en quitar todo el elemento vegetal de la tierra, para iniciar la extracción del material en pequeños volúmenes y permitir un rápido secado, para posteriormente triturar los grumos y eliminar las piedras. Después, se le adiciona la cal y el cemento en la cantidad fijada, el agua debe ser la necesaria para obtener una buena compactación. De esta manera se hace la mezcla a mano. Ya que está preparado, se deberá vertir el material dentro del molde, en tres capas, compactadas cada una con pisón.

Finalmente, se obtienen los bloques desarmando el molde, se deben poner a la sombra para realizar el curado agregándoles periódicamente agua.

Para elaborar 1 m³ de adobe estabilizado se emplearán las siguientes cantidades: 0.12308 ton de cemento, 0.24615 ton de cal y 1.2308 ton de suelo.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.12308	\$ 200,872.0	\$ 24,723.0
CAL	TON	0.24615	\$ 144,200.0	\$ 35,495.0
MOLDE (USO 30 M)	PZA	0.033	\$ 62,393.0	\$ 2,069.0
- MANO DE OBRA				
0.25 OF. ALBANIL Y PEON (PREPARACION DE LA MEZCLA)	JOR	0.25	\$ 20,750.0	\$ 5,188.0
0.25 OF. ALBANIL Y PEON (ELABORACION DE LAS PIEZAS)	JOR	0.20	\$ 20,750.0	\$ 4,150.0
- HERRAMIENTA				
3x M. DE O.				\$ 280.0
TOTAL				\$ 71,916.0

3. Concepto. Muros de adobe estabilizado.

Unidad: m³

Descripción: Se construirán muros de adobe estabilizado con una proporción de 1:2:10 (cemento, cal y tierra), en peso; con las siguientes dimensiones: 8x15x20 cms. Podrán quedar aparentes.

Procedimiento: Las piezas se unirán entre sí con un mortero con la misma proporción 1:2:10. Cada hilada deberá quedar a hilo y plomo, con las piezas cuatrecapadas, siendo la junta de un espesor de 1.2 a 1.5 cms para compensar las irregularidades de la pieza. Las juntas horizontales se marcarán con un clavador. La cara aparente se limpiará de la mezcla que pueda haberse adherido. Cada m³ tendrá 14 piezas y el volumen total del mortero para las juntas será de 0.007 m³/m³.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				174.
MORTERO P/PIEZA	MO	0.1224	\$ 71.916.0	\$ 8.893.0
MORTERO P/PIEZA				
CEMENTO	TOM	0.0033	\$ 200.872.0	\$ 663.0
CAL	TOM	0.0067	\$ 144.200.0	\$ 966.0
- MANO DE OBRA				
OF. ALBANIL Y PEON	JOR	0.0033	\$ 30.000.0	\$ 3.166.0
- HERRAMIENTA				
3x M. DE O.				\$ 95.0
TOTAL				\$ 13.693.0

B. Concepto: Ranuras a muros.

Unidad: ml

Descripción: En la parte superior de los muros se harán las ranuras para alojar la cadena de cerramiento.

Procedimiento: Se prepararán los muros para recibir la cadena perimetral de refuerzo, ranurando toda la longitud en su área transversal con la medida indicada en la fig. B.7, de tal manera que la "pestaña" de la cadena coincida con la ranura. Deberá hacerse con todo cuidado.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MANO DE OBRA				
OF ALBANIL Y PEON	JOR	0.003	\$ 30.000.0	\$ 1.267.0
- HERRAMIENTA				
3x M. DE O.				30.0
TOTAL				1.305.0

9. Concepto: Cadena de cerramiento.

Unidad: ml

Descripción: La cadena será de concreto f'c = 200 kg/cm², de 10 cms de peralte por 15 cms de base, como se indica en la fig. B.7, reforzada con 4 varillas del #3 y estribos de alambros del #2 a cada 20 cms.

Procedimiento: La pestaña debe coincidir con la ranura preparada previamente en el extremo superior de los muros.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.0064	\$ 200072.0	\$ 1285.6
ARENA	M3	0.00946	19346.0	183.7
GRASA	M3	0.0121	19346.0	234.0
ALAMBRE #2	KG	1.18	1900.0	224.0
ALAMBRE RECOCIDO	KG	0.190		
VARILLA #3	TON	0.00234		
CINISIA (RENTA)	ML	1.0		
- MANO DE OBRA				
OF. ALBANIL Y PEG. JOR	JOR	0.125	38000.0	4750.0
FLETE (MADERA)				1360.0
- HERRAMIENTA				
3x M. DE O.				143.0
TOTAL				17073.0

10. Concepto: Espolones.

Unidad: ml.

Descripción: Los espolones son dados de concreto, que servirán de anclaje a la viga de cerramiento. Serán de concreto $f'c = 200$ kg/cm² de 15x15 cms de sección, armados con cuatro varillas del #3 y estribos de alambre del #2 a cada 20 cms.

Procedimiento: Se colocarán en todas las esquinas o cruces de muros. (fig. 9.12).

Costo \$ 16,000.0

11. Concepto: Armadura para la bóveda.

Unidad: pza.

Descripción: Estarán formadas por los siguientes materiales: perfil tubular de 2" cal. 16, tramos de varilla del #3 y solera de 2" cal. 16.

Procedimiento: Tanto las dimensiones, como las uniones de los elementos que formaran la armadura, se muestran en la fig. 9.11.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	T.U.	IMPORTE
MATERIAL				
PERFIL TUBULAR				
CAL. 16	KG	3.2	\$ 3104.0	\$ 9933.0
SOLETA 27 CAL. 16	KG	5.0	1262.0	6310.0
BARILLA #3	KG	5.0	1610.3	8052.0
COLOMBOCA E-70	KG	0.30	4503.0	1351.0
MANO DE OBRA				
OP. COLOMBOCA	HR	0.30	10000.0	4000.0
HEPORAMIENTO				
2" N. DE S.				270.0
3" N. DE S.				15416.0

1. Concepto: Cubierta tipo bóveda.

Unidad: m²

Descripción: Se construirá una techumbre tipo bóveda.

Procedimientos: Se usarán armaduras a cada 60 cms sobre las cuales se colocará triplay de 3 mm de espesor, que servirá como cimbra, sobre la cual se formará la bóveda con las piezas de adobe estabilizado de las mismas dimensiones a las empleadas en los muros. Las juntas serán de 1.5 cms máximo y del mismo mortero usado para fabricar las piezas.

El retiro de la cimbra y de las armaduras será a los ocho días mínimo de haberse construido la bóveda. La armadura y el detalle de fijación entre esta y la cadena de cerramiento se señalan en las figs. 9.11 y 9.12, respectivamente.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE	177.
MATERIAL					
MORTERO PARA PZAS.	M3	0.1224	\$ 71916.0	\$ 8803.0	
MORTERO PARA JUNTAS:					
CEMENTO	TON	0.0033	200872.0	663.0	
CAL	TON	0.0067	144200.0	966.0	
TRIPLAY (57420/5 USOS)	M2	1.0	1925.6	1925.6	
ARMADURAS (575416.0 U.)	MCA.	0.51	1771.0	903.0	
MANO DE OBRA					
COLOCACION DE ARMADURAS Y CIMBRA OF. ALBANIL Y PEGN	JOR	0.111	38000.0	4218.0	
CONSTRUCCION DE LA BOWEDA OF. ALBANIL Y PEGN	JOR	0.05	38000.0	1900.0	
HERRAMIENTA					
3/4 M. DE O.				184.0	
T O T A L				19563.0	

13. Concepto: Entortado en cubierta.

Unidad: m²

Descripcion: Se hara un entortado de 4 cms de espesor, hecho con el mortero usado en la union de las piezas de adobe, que servira para darle impermeabilizacion a la cubierta.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
MATERIAL				
MORTERO DE ADOBE EST.	M3	0.34	\$ 71916.0	\$ 2077.0
MANO DE OBRA				
0.25 OF. ALBANIL Y Y PEGN	JOR	0.0033	20750.0	1729.0
HERRAMIENTA				
3/4 M. DE O.				52.0
T O T A L				4658.0

9.1.2 Estimado de costo para la vivienda de adobe estabilizado.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CON MANO DE OBRA		SIN MANO DE OBRA	
			P.U.	IMPORTE	P.U.	IMPORTE
1. LIMPIEZA DEL TERRENO	M2	120.0	\$ 618.0	\$ 74,160.0	\$ 0.0	\$ 0.0
2. TRAZO Y NIVELACION	M2	82.84	565.5	46,846.0	5.77	478.0
3. EXCAVACION	M3	8.37	8,910.0	74,700.0	0.0	0.0
4. MAMP. DE PIEDRA	M3	12.65	37,776.0	477,866.0	24,742.0	312,986.0
5. MUROS DE ADOBE EST.	M2	98.64	13,693.0	1,359,677.0	9,128.0	900,386.0
6. BARRERAS A MUROS	ML	48.00	1,305.0	63,684.0	0.0	0.0
7. CADENA DE CERRAM.	ML	48.00	17,013.0	811,210.4	12,140.0	592,432.0
8. ESCALONES	ML	6.50	16,070.0	104,455.0	11,137.5	72,394.0
9. CUBIERTA	M2	87.96	19,563.0	1,720,761.5	11,957.0	1,051,737.7
10. ENTORTADO	M2	65.34	4,658.0	304,354.0	2,151.0	160,140.0
11. FIRMES	M2	62.61	17,745.0	1,111,014.5	14,442.2	904,226.2
				\$6,159,346.0		\$3,994,788.0

9.1.3 Estimado de costo para la vivienda normal.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CON MANO DE OBRA		SIN MANO DE OBRA	
			P.U.	IMPORTE	P.U.	IMPORTE
1. LIMPIEZA DEL TERRENO	M2	120.0	\$ 618.0	\$ 74,160.0	0.0	\$ 0.0
2. TRAZO Y NIVELACION	M2	82.84	565.5	46,846.0	5.77	478.0
3. EXCAVACION	M3	9.10	8,910.0	81,091.0	0.0	0.0
4. MAMP. DE PIEDRA	M3	14.57	37,776.0	550,396.0	24,742.0	360,491.0
5. MUROS DE ADOBE N.	M2	99.26	8,974.0	889,764.4	2,516.4	249,274.6
6. BARRERAS A MUROS	ML	48.00	1,305.0	63,684.0	0.0	0.0
7. CADENA DE CERRAM.	ML	48.00	18,544.0	901,947.2	13,651.0	666,160.0
8. ESCALONES	ML	6.50	16,070.0	104,455.0	11,137.5	72,394.0
9. CUBIERTA	M2	87.96	14,843.0	1,305,590.3	11,957.0	1,051,737.7
10. ENTORTADO	M2	65.34	2,502.0	163,481.0	296.0	19,41.00
11. FIRMES	M2	50.00	17,745.0	887,669.6	14,442.2	772,265.4
				\$5,072,015.0		\$3,143,151.0

14. Concepto: Firme de concreto.

Unidad: m²

Costo: \$ 17,745.0

9.3 COSTO DE VIVIENDA DE ADOBE NORMAL

9.3.1 Planos

Los planos respectivos a este tipo de casa, se presentan en el anexo de figuras y tablas.

9.3.2 Especificaciones y costos unitarios directos.

1. Concepto: Limpieza del terreno.

Unidad: m²

Costo: \$ 619.0

2. Concepto: Trazo y nivelación

Unidad: m²

Costo: \$ 565.5

3. Concepto: Excavación

Unidad: m²

Costo: \$ 8.910.0

4. Concepto: Mampostería de piedra. (Fig. 9.15)

Unidad: m²

Costo: \$ 37.776.0

5. Concepto: Fabricación del molde para hacer las piezas.

Unidad: oza.

Descripción: Se harán diabras o moldes de cuatro unidades para elaborar las piezas de adobe normal.

Procedimiento: Los moldes serán de trielav con las medidas que se muestran en la fig. 9.16. Se puede forrar con lámina galvanizada para protegerlo y evitar que la tierra se pegue a las paredes (desmoronamiento de los bloques), o bien, se pueden engrasar o aceitar.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
MADERA	M2	1.91	\$ 16500.0	\$ 31515.0
ARMELLA	PCR	4	518.0	2072.0
ESCALPA	PCR	2	1043.0	2086.0
MARIPOSA	PCR	2	350.0	700.0
LAMINA GALV. #16	M2	1.71	12000.0	20520.0
PSALPA	PCR	2	600.0	1200.0
- MANO DE OBRA				
CARPINTERO				
- HERRAMIENTA	JOR	1	900.0	
T.M. DE O.			40593.0	
TOTAL				

b. Concepto: Elaboración de las piezas de adobe normal.

Unidad: m)

Descripción: Las piezas de adobe normal tendrán las medidas de 16x30x40 cms. con adición de paja en una cantidad no mayor al 1% en peso.

Procedimiento: Se debe quitar de la tierra, todo elemento vegetal para comenzar la extracción de pequeños volúmenes de suelo que permitan un rápido secado, para después triturar los grumos y eliminar las piedras. Posteriormente, se le agrega la paja y el agua necesaria para obtener una buena compactación. La paja se debe preparar para que sus partículas no sean muy grandes. Una vez preparada la mezcla se vaciara a los moldes en tres capas, compactadas cada una con pisón. Por último, se sacarán los bloques desarmando el molde, poniéndolos a la sombra para llevar a cabo el proceso de curado.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
PAJA	KG	18.0	\$ 300.0	\$ 5400.0
MOLDE (20 X3 850)	PCR	0.033	20593.0	7020.0
- MANO DE OBRA				
0.25 CF. ALBANIL Y PEON (PREPARACION DEL ADOBE)	JOR	0.25	20750.0	5190.0
0.25 CF ALBANIL Y PEON (ELABORACION DE PIEZAS)	JOR	0.20	20750.0	4150.0
- HERRAMIENTA				
3X M. DE O.				200.0
T O T A L				18070.0

1. Concepto: Muros de adobe normal.

Unidad: m²

Descripción: Los muros se harán con piezas de adobe normal con dimensiones de 19x19x40 cms.

Procedimiento: Los bloques se uniran entre si con la misma mortera usada para fabricarlos. Cada hilada debera quedar a hilo y a plomo, y las piezas cuatrapiadas incluyendo las esquinas. Las juntas tendran un espesor de 1.0 a 2.0 cms para compensar las irregularidades del bloque.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
MORTERO DE ADOBE				
NORMAL	M ³	0.30	\$ 18030.0	\$ 5412.0
PAJO (P/JUNTAS)	M ³	1.0	300.0	300.0
- MANO DE OBRA				
OF. ALARIL Y PEON	JOR	0.0033	30000.0	3167.0
- HERRAMIENTA				
3/4" M. DE O.				95.0
TOTAL				8774.0

4. Concepto: Raburas a muros.

Unidad: m²

Costo: \$ 1,305.0

5. Concepto: Cadena de cerramiento.

Unidad: m²

Descripción: En los extremos superiores de los muros, se colocara una cadena de cerramiento de concreto t c/c 200/cm² de 30 cms de base, peralte de 10 cms y una pestana de 5 cms por 10 cms de base (fig. B.7).

Procedimiento: La pestana debe coincidir con la ranura en el muro de las mismas medidas.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	IMPORTE
- MATERIAL				
CEMENTO	TON	0.012	\$ 200072.0	\$ 2410.0
ARENA	M3	0.0167	19346.0	323.0
GRAVA	M3	0.035	19346.0	461.0
ALAMBROS	KG	1.10	1800.0	2124.0
ALAMBRE RECOCIDO	KG	0.100	2050.0	205.0
VARILLA #3	TON	0.00234	161030.0	3760.0
MADERA P/CIERRA (CRISTA)	ML	1.0	3000.0	3000.0
- MANO DE OBRAS				
CF. ALBANIL Y PFOA	JOR	0.125	38000.0	4750.0
FLETE (MADERA)				1360.0
- HERRAMIENTA				
3x M. DE O.				143.0
T O T A L				18544.0

10. Concepto: Espolones (fig. 9.17)

Unidad: ml

Costo: \$ 16,030.0

11. Concepto: Armadura para la bóveda

Unidad: oza.

Costo: \$ 35,416.0

12.- Concepto: Cubierta tipo bóveda.

Unidad: m²

Descripción: Se construirá una techumbre tipo bóveda como se muestra en la fig. 8.8

Procedimiento: Se usarán armaduras a cada 60 cms sobre las

cuales se colocara triplay de 3mm de espesor, que servira como cimbra, para formar la bóveda con las piezas de adobe normal de las mismas dimensiones a las empleadas en los muros. Las juntas seran 1.5 cms máximo y con el mismo mortero usado para fabricar las piezas. El retiro de la cimbra y de las armaduras será a los ocho días mínimo de haberse construido la bóveda. La armadura y el detalle de union entre ésta y la cadena de cerramiento se señalan en las figs. 9.11 y 9.12, respectivamente.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
MATERIAL				
MORTERO DE ADOBE				
NORMAL	KG	0.300	\$ 16028.0	\$ 5412.0
PAJA P/MORTERO	KG	1.0	300.0	300.0
TRIPLAY (49425/5 USOS)	M2	1.0	1925.6	1925.6
ARMADURAS (325415/20 USO) PZA		0.51	1771.0	903.0
MANO DE OBR				
OF. ALBAÑIL Y PEON				
(COLOCACION DE ARMADURAS Y CIMBRA)	JOR	0.25	7000.0	1700.0
OF ALBAÑIL Y PEON				
(CONSTRUCCION BOVEDA)	JOR	0.111	7000.0	421.0
MEUBAMIENTA				
IZ M. DE O.				184.0
T O T A L				14443.0

10. Concepto: Entortado en cubierta.

Unidad: m²

Descripción: Se hará un entortado de 4 cms de espesor, hecho con el mismo mortero usado en la union de las piezas de adobe, que servira para darle impermeabilización.

185.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
- MATERIAL				
MORTERO DE ADOSBE				
NORMAL	M ³	0.04	\$ 18638.0	\$ 722.0
- MAMO DE OBRA				
0.25 CF. ALBANIL				
Y PLOM	JOR	0.0033	20750.0	1720.0
- HERRAMIENTA				
3% DE R. DE O.				52.0
TOTAL				2562.0

14.- Concepto: Faja de concreto.

Unidad: m²

Costo: \$ 17,345.00

9.4 RESULTADO DEL ESTUDIO ECONOMICO

A continuación se va a calcular el costo aproximado de cada tipo de vivienda en obra negra, considerando las alternativas: en primer lugar, suponiendo que el dueño adquiere el material y la mano de obra; en segundo lugar, se elimina el precio de la mano de obra, o sea se trata de autoconstrucción.

3.4.1 Estimado de costo para la vivienda de tabique rojo recocido.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	CON MANO DE OBRA		SIN MANO DE OBRA	
			P.U.	IMPORTE	P.U.	IMPORTE
1. LIMPIEZA DEL TERRENO	M2	120.0	\$ 619.0	\$ 74,268.0	\$ 0.0	\$ 0.0
2. TRAZO Y NIVELACION	M2	82.84	565.0	46,846.0	5.77	478.0
3. EXCAVACION	M3	10.58	8,910.0	94,268.0	0.0	0.0
4. PLANTILLA DE CONC	M2	38.42	7,600.0	225,100.0	3,074.0	116,630.0
5. MAESTRERIA DE PIEDRA	M3	10.58	37,776.0	399,670.0	24,742.0	261,770.0
6. CADERA DE CIMENTACION	ML	48.0	17,022.5	831,186.0	12,140.0	592,432.0
7. IMPER. DE LA CUB.	ML	18.0	1,895.0	34,110.0	1,377.0	24,846.0
8. MUROS DE TABIQUE	M2	98.64	18,117.6	1,787,120.0	16,283.6	1,601,043.0
9. CASTILLOS DE CONCRETO	ML	45.40	16,830.0	762,560.0	11,137.5	507,170.0
10. CADERA DE CERRAM.	ML	48.0	17,022.5	831,186.0	12,140.0	592,432.0
11. CIERRE DE MADERA	M2	86.16	10,811.0	931,475.0	6,588.0	567,622.0
12. ACERO DE REF. LOSA	TOM	81.53	6,344.0	517,226.0	5,460.0	445,153.0
13. TECHO DE CONCRETO	M2	81.53	12,815.0	986,920.0	10,355.0	847,504.0
14. ESCOBILLADO	M2	98.00	879.0	79,461.6	570.0	51,520.0
15. FIRME DE CONCRETO	M2	62.21	17,745.0	1,103,916.5	14,642.2	898,449.0
				<u>18,727,597.0</u>		<u>16,350,111.0</u>

9.4.4 Resultado

En la siguiente tabla se comparan los costos de la vivienda de adobe estabilizado y adobe normal con respecto a la de tabique recocido y adobe normal con respecto a la de tabique recocido, en sus dos alternativas. Se toma el costo de la casa de tabique recocido por ser el más alto como la unidad (100%), para obtener el porcentaje en que se reduce el costo de los otros dos tipos de casas.

ALTERNATIVA	1	2
	LUN M. DE O.	SIN M. DE O.
Tipo de vivienda		
1) De tabique recocido	100.0%	100.0%
2) De adobe estabilizado	70.57%	63.91%
3) De adobe normal	58.10%	49.50%

CONCLUSIONES

En el inicio de este trabajo se vio que la posibilidad de adquirir una vivienda digna y segura esta cada vez mas lejana, debido a que el costo de los materiales convencionales de construccion y mano de obra se elevan cada vez mas, mientras que el ingreso de los trabajadores va quedando rezagado. Ante esta situacion, el deficit habitacional se incrementa ya que el ritmo de crecimiento demografico ha avanzado mas rapido que la construccion de casas-habitacion.

A pesar de que el gobierno ha creado instituciones que facilitan la adquisicion de viviendas de interes social, no ha sido suficiente para reducir la carencia habitacional. Es por ello, que se ha visto la posibilidad de usar otros tipos de materiales que compitan con los actuales, se ha buscado que los nuevos materiales tengan buenas propiedades tanto termicas como mecanicas, que disminuyan el tiempo de ejecucion de la obra y sobre todo que sean baratos. Entre los considerados estan el ferrocemento, la madera y la tierra, los dos primeros no cumplen con el principal objetivo, es decir, no son economicos, ademas la madera requiere de mantenimiento constante para mantenerse en buenas condiciones. La tierra es el unico material que cumple en buen grado con todas las condiciones.

Existen muchas tecnicas de construccion con tierra, no obstante, el mas conocido y usado en Mexico es el adobe. En esta investigacion se realizo un estudio general de la tierra como material de construccion y en especifico la tecnica de

construcción con adobe.

Los estudios y pruebas de laboratorio realizadas en México y otros países sobre el comportamiento de la mampostería de adobe, además, las pruebas que se realizaron en este trabajo que complementan la información ya existente, pueden considerarse que han sido suficientes como para dar las recomendaciones adecuadas y los requisitos mínimos (constructivos) que deben reunir las viviendas de adobe.

Se ha concluido que la seguridad estructural y durabilidad de una construcción de adobe, dependen principalmente de la calidad del suelo que se utiliza en la elaboración de las piezas. En el capítulo 3 se describieron pruebas fáciles de realizar para determinar si la tierra analizada es adecuada para la fabricación de los adobes. También, la calidad de las construcciones de tierra puede mejorarse mediante la aplicación de la tecnología moderna: fabricación de los elementos de tierra con los medios de producción actuales y el mejoramiento de sus propiedades (mecánicas, acústicas y térmicas) mediante un procedimiento de estabilización.

Entre los métodos de estabilización existentes se han mencionado los más comunes empleados en el mundo, como son: el agregado a la tierra de cemento, cal y asfalto en los porcentajes en peso recomendables: 10%, 10% y 5%, respectivamente. No obstante, la significativa mejora de sus propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, no se ha logrado evitar la principal desventaja de este tipo de construcciones, que es la de construir únicamente en un nivel ya que no se puede asegurar la transmisión

de esfuerzos de un nivel a otro; incluso los criterios de revisión sísmica que en este trabajo se mencionan (método de las relaciones geométricas, de los esfuerzos permisibles y criterio de la resistencia) son aplicables a construcciones de adobe de un nivel. Sin embargo, en construcciones de una planta siempre será posible definir el espesor de los muros para resistir los esfuerzos de compresión y de cortante a los que pueden estar sometidos.

En cuanto a la duración o vida útil de las viviendas de adobe, se puede decir que está en función del mantenimiento que se les aplique, es decir, si a los muros se les pone un recubrimiento para protegerlos de la humedad y en general, contra las inclemencias del tiempo, la durabilidad de ese tipo de construcciones será similar a las casas hechas con los materiales actuales (tabique recocido y concreto). Prueba de esto, en el capítulo I de este trabajo se mencionan algunas edificaciones que se mantuvieron en pie mucho tiempo.

En los resultados de la comparación económica (cap. 9) se obtuvo una reducción aproximada del 29% de la vivienda de adobe estabilizado con respecto a la de tabique recocido y cubierta de concreto, tomando en cuenta el costo de la mano de obra. Cabe señalar que se consideró la elaboración de las piezas de adobe en forma artesanal (manual), para su fabricación se empleó un instrumento rudimentario de baja productividad a diferencia de las construcciones masivas donde se utilizan máquinas que fabrican mucho más unidades por día. Esta diferencia se refleja en el abatimiento de costos, ya que esos programas de construcción

han logrado reducirlos hasta en un 40%. Esto prueba que se pueda utilizar la tecnología (máquinas y equipo), para fabricar estructuras de tierra, como ocurre con los materiales tradicionales.

El costo de los diferentes tipos de vivienda se obtuvo solo para obra negra ya que el precio de acabados e instalaciones, los elevaría en la misma cantidad.

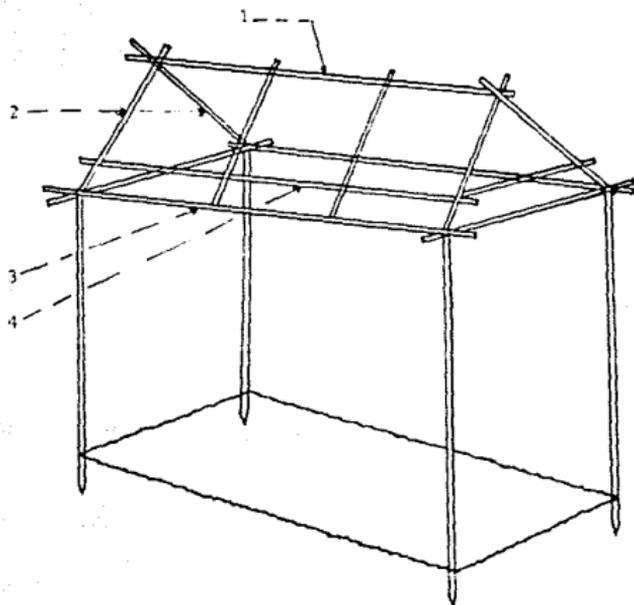
Las construcciones de adobe por lo general, dan la apariencia de no ser seguros ante fenómenos sísmicos, lo cual se manifiesta en la actitud de la gente, ya que las califican de mala calidad, además de que las ven como un símbolo de pobreza. Si bien no proporcionan un bajo riesgo de falla como lo presentan las estructuras de concreto y acero, es posible dar a los muros el espesor y características necesarias para que ofrezcan a sus moradores un buen nivel de seguridad.

Sin embargo, pensamos que hace falta difusión para que la gente cambie su mentalidad con respecto a las viviendas de adobe, por ello esperamos que el presente escrito contribuya a ello y pueda cumplirse uno de sus objetivos y, lo más importante, que disminuya paulatinamente el problema habitacional.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- 1.- Avitia, Rodolfo C. Sismo-centro. IMCYC. 1971.
- 2.- Barahona, M. Ibor H. La tierra como material de construcción. Tesis. UNAM. 1959.
- 3.- Baran, Enrique, et. al. Seguridad de casas de adobe ante sismos. Instituto de Ingeniería, UNAM. No. 425, 1980.
- 4.- Bolt, Bruce A. Terremotos. Serie Revista Ciencia y sociedad. 1981.
- 5.- Caballos, Lascruain H. La prefabricación y la vivienda en México. Centro de Investigaciones Arquitectónicas, UNAM.
- 6.- Hernández, Basilio U. Normas de diseño para construcciones a base de adobe estabilizado. Noviembre, 1984.
- 7.- Hernández Basilio U. et. al. Refuerzo de la vivienda económica en zonas sísmicas. Estudios experimentales. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- 8.- Hernández, F. L. E. et. al. Cartillas de pruebas de campo para selección de tierras en la fabricación de adobes. CONESCAL, A.C. México, 1987.
- 9.- INEGI. I Censo General de Población y Vivienda, 1980. México, D.F., 1984.
- 10.- INEGI. II Censo General de Población, 1970. México, D.F. 1982.
- 11.- Instituto Eduardo Torroja. La tierra material de construcción. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Monografía No. 185/386.
- 12.- Juárez, Badillo, et. al. Mecánica de suelos. 3 tomos, Tomo I, 1974.
- 13.- Lainez, Izada, Navarro y Asociados. Comportamiento de estructuras de adobe. Lima, Perú, 2 tomos, 1971.
- 14.- Madinaveitia, J. B. Tecnología aplicable a tierras empleadas en la construcción de viviendas. Instituto de Ingeniería, UNAM. 1987.
- 15.- Meli/Reyes. Propiedades mecánicas de la mampostería. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- 16.- Meli/Salcedo. Comportamiento de muros de mampostería sujetos a carga lateral. Segundo informe. Instituto de Ingeniería, UNAM.

- 17.- Moya, Rubio V. J. La vivienda indigena en Mexico. UNAM, 1988.
- 18.- Pearl, Richard M. Geografía. Compañía Continental, S.A. 9a. impresion. Mexico, D.F. 1979.
- 19.- Quiro, de Alcalá F. Técnica para la construcción de muros hechos con bloques de suelo-cemento. Tesis, UNAM, 1970.
- 20.- Rico/Castillo. La ingeniería de suelos en las vías terrestres. Mexico, D.F. Vol. 1, 1974.
- 21.- SEME. Cartilla para la autoconstrucción de una vivienda de bajareque.
- 22.- Trefethen, J. M. Geología para ingenieros. Compañía Editorial Continental, S.A. 8a. impresion. Mexico, D.F. 1978.
- 23.- Revista Construcción y Tecnología. IMCYC. Vol. 11, No. 27, Marzo 1980.
- 24.- Revista Vivienda. IM-UNAVII. Vol. 8, No. 4, Octubre/Diciembre, 1985.
- 25.- Revista especializada en espacios educativos. CUNESCAL, A.C. No. 58, Septiembre 1982.
- 26.- Normas técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería. Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F. Noviembre de 1987.
- 27.- Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Vol. III. Acapulco, Gro. 1985.
- 28.- Hernandez, Basilio B. Lesion code for earth brick masonry, stabilized or not.
- 29.- Reglamento de Construcciones para el D.F. 1987. Editorial AED, S.A.
- 30.- Normas técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto. Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F. Noviembre de 1987.
- 31.- Revista IMCYC. No. 1, Vol. 1, Enero de 1965.



- 1 - Caballete o cumbrera.
- 2 - Tijeras.
- 3 - Solera.
- 4 - Contra-solera.

Figura 1.1 Partes esenciales de la armadura de un techo.

Población y vivienda (miles)

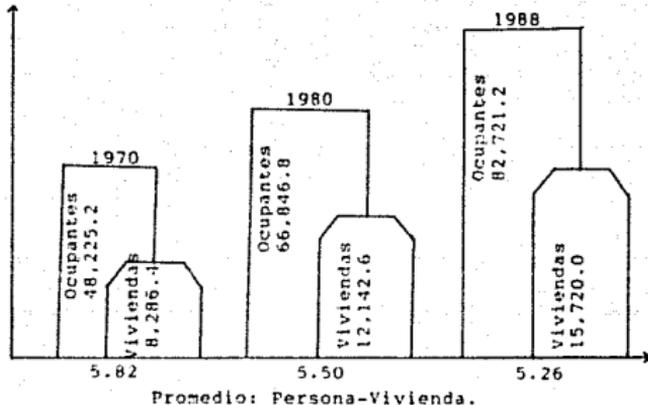


Figura 2.1 Promedio: Persona-Vivienda (1970 - 1988).

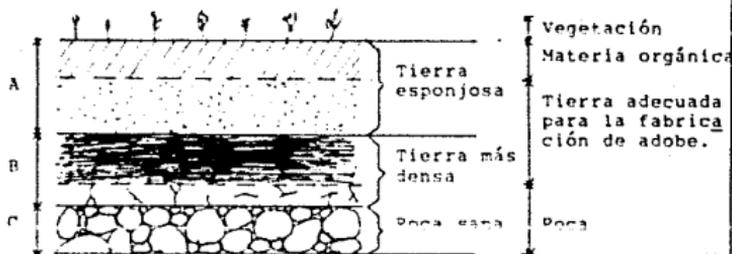


Figura 3.1 Perfil. Tierra adecuada para la fabricación de adobe.

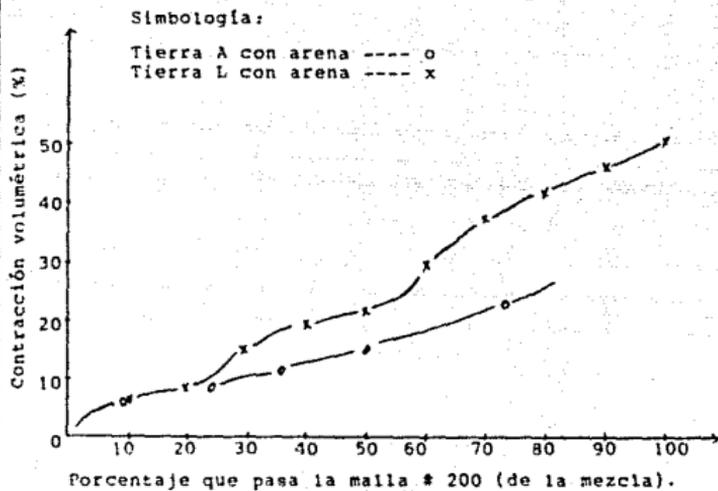


Figura 3.2 Contracción volumétrica.

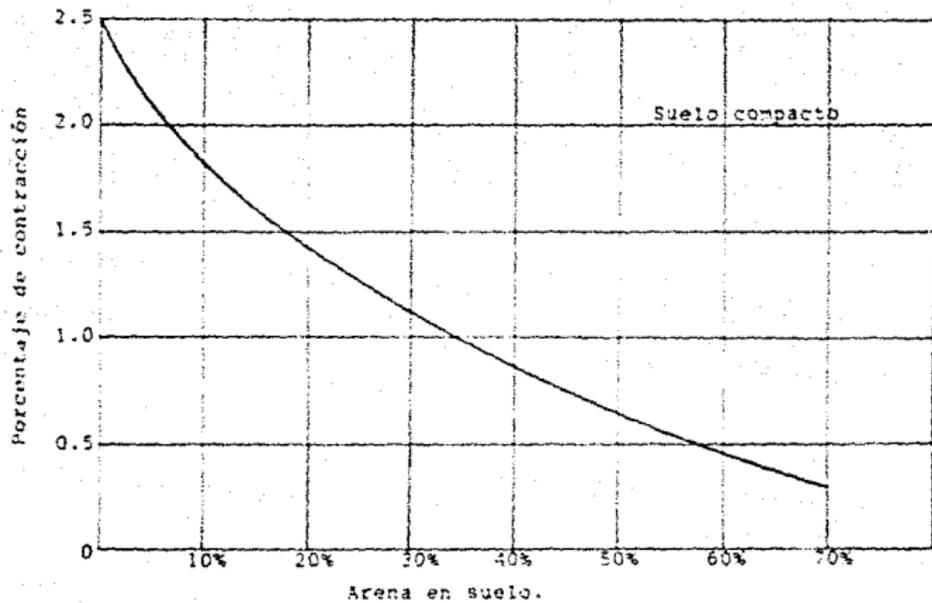


Figura 3.3 influencia del % de arena en la contracción.

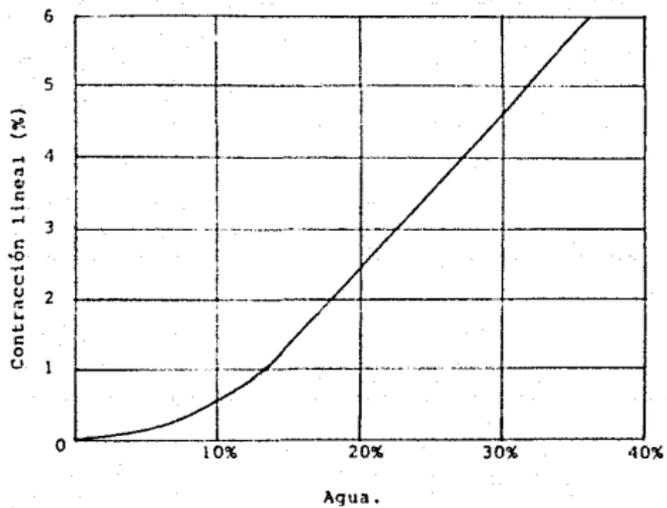
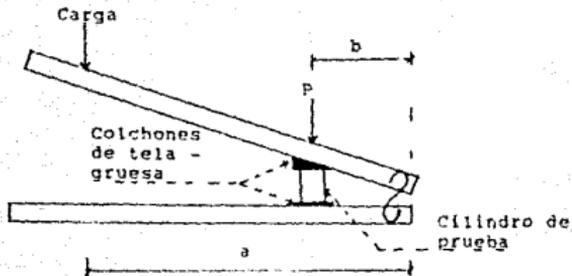
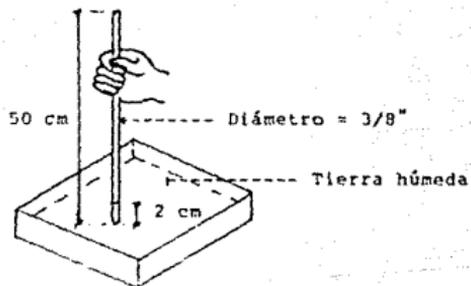


Figura 3.4 Contracción según el estado de humedad.



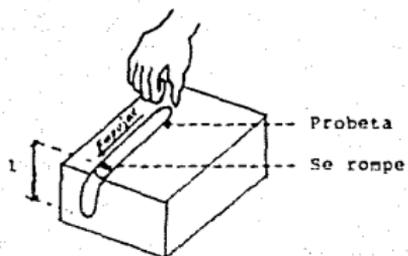
$$P = \text{Carga} \times \frac{a}{b} \quad (\text{al variar 'a' varía P})$$

Figura 3.5 Determinación de la resistencia a compresión.



A la penetración de 2 cm de la varilla al soltarla corres-
ponde al límite líquido de la tierra.

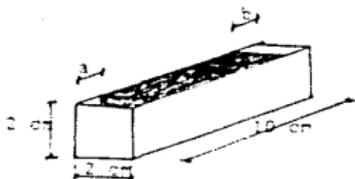
Figura 3.6 Prueba de vicat.



Posibles resultados:

- Si $l > 10$ cm, se trata de un suelo plástico (suelo arcilloso).
- Si $5 > l < 10$ cm, se trata de un suelo no plástico (adecuado para la fabricación de adobe tradicional).
- Si $l < 5$ cm, el suelo es arenoso y podrá ser utilizado para la fabricación de adobe estabilizado.

Figura 3.7 Prueba de la cintilla.



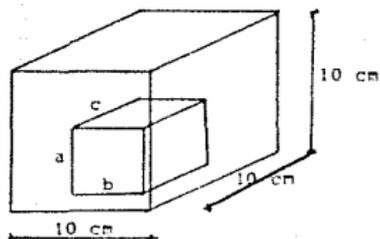
$$CL = \frac{a + b}{L} \times 100 = (\%)$$

CL = Contracción lineal

a y b = son las contracciones que sufre la muestra en sus extremos al secarse.

L = Longitud inicial de la muestra.

Figura 3.8 Prueba de contracción lineal.



$$CV = \frac{\text{Vol. inicial} - \text{Vol. final}}{\text{Vol. final}} \times 100$$

$$CV = \frac{10^3 - (a \times b \times c)}{(a \times b \times c)} \times 100 = (\%)$$

a, b y c = Son las dimensiones de la muestra una vez que se ha secado.

Figura 3.9 Prueba de contracción volumétrica.

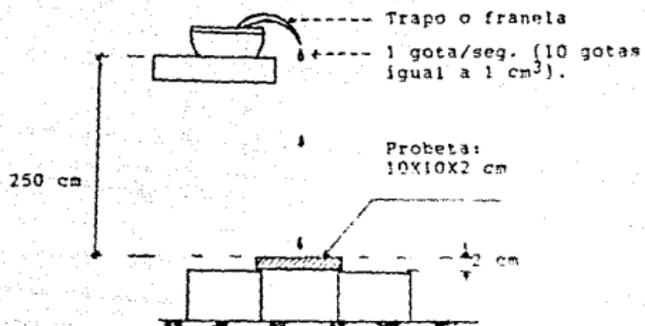
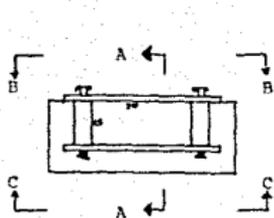
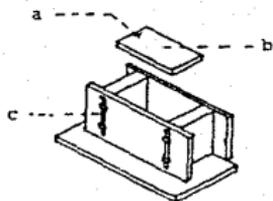


Figura 3.10 Prueba de la permeabilidad.



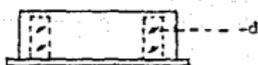
Planta



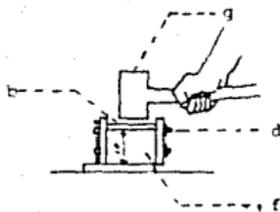
Conjunto de molde para
bloque 10X15X30 cm.



Vista C - C

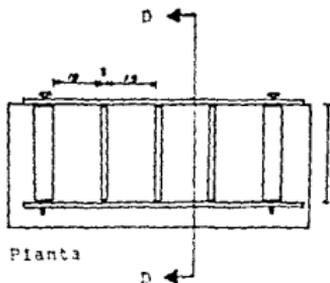


Vista B - B

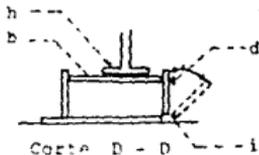


Corte A - A

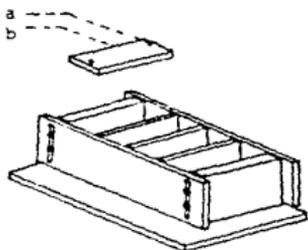
Figura 4.1a Molde para un bloque de tierra elaborado a mano.



Planta



Corte D - D



Unidad de 4 moldes



Vista

- a - armella para levantar la plantilla.
- b - plantilla de madera.
- c - pasadores.
- d - mariposas.
- f - tierra.
- g - mazo.
- h - pizón
- i - bisagras.

Figura 4.1b Molde para 4 bloques de tierra elaborados a mano.

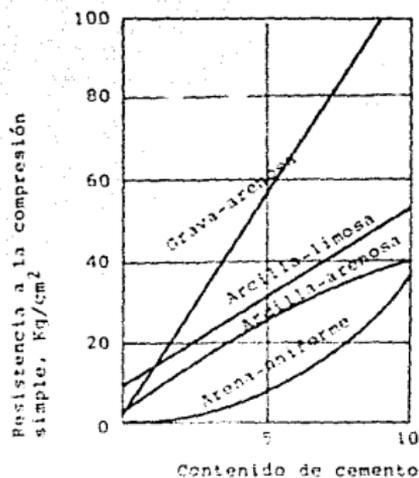


Figura 4.2 Variação de la resistencia a la compresión simple, de especimenes estabilizados con cemento en diversos suelos típicos.

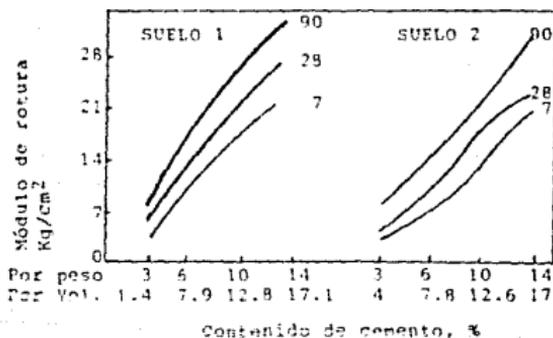


Figura 4.3 Módulo de rotura, tipo de suelo, contenido de cemento y edad.

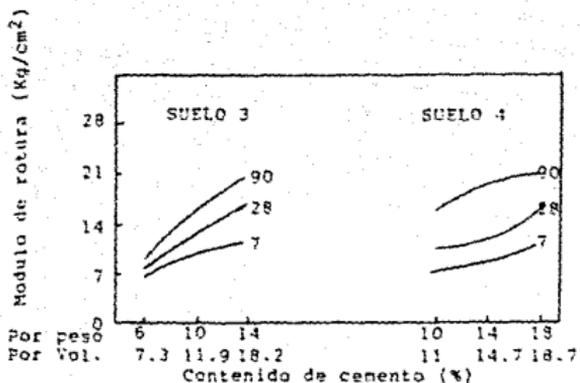
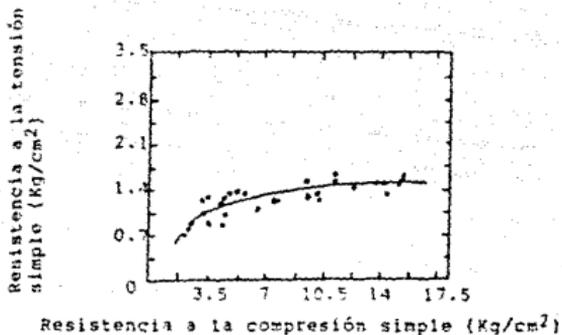


Figura 4.3 Continuación.



Especímenes de limo tratados con cemento.

Contenido de agua de las mezclas: 14%

Peso volúmetrico seco: 1630 Kg/m³

x = 1% de cemento

• = 3% " "

• = 7% " "

• = 12% " "

Figura 4.4 Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la tensión simple.

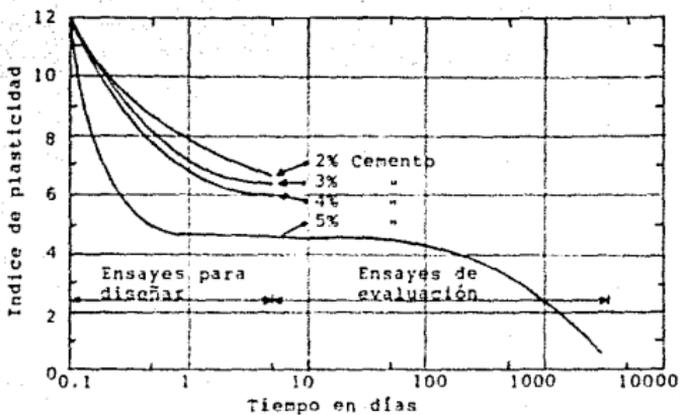
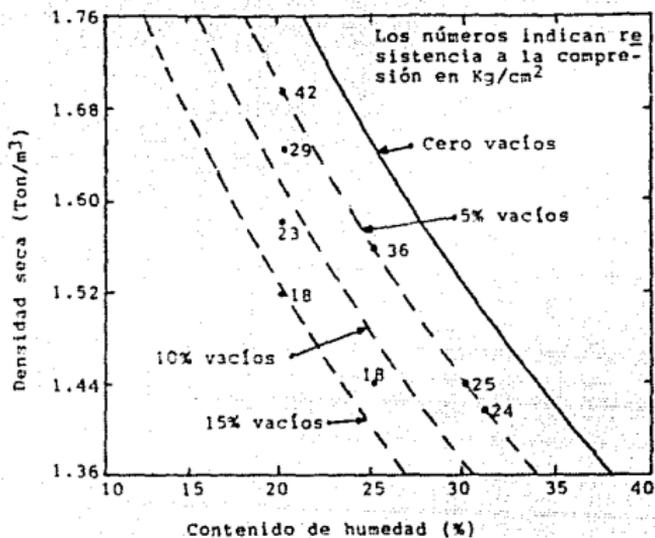


Figura 4.5 Indice de plasticidad y tiempo.



(Cemento 15%, Cal 2%, 7 días de curado, LL=70-75%, IP=45-53%)

Figura 4.6 Densidad, contenido de humedad y resistencia a la compresión.

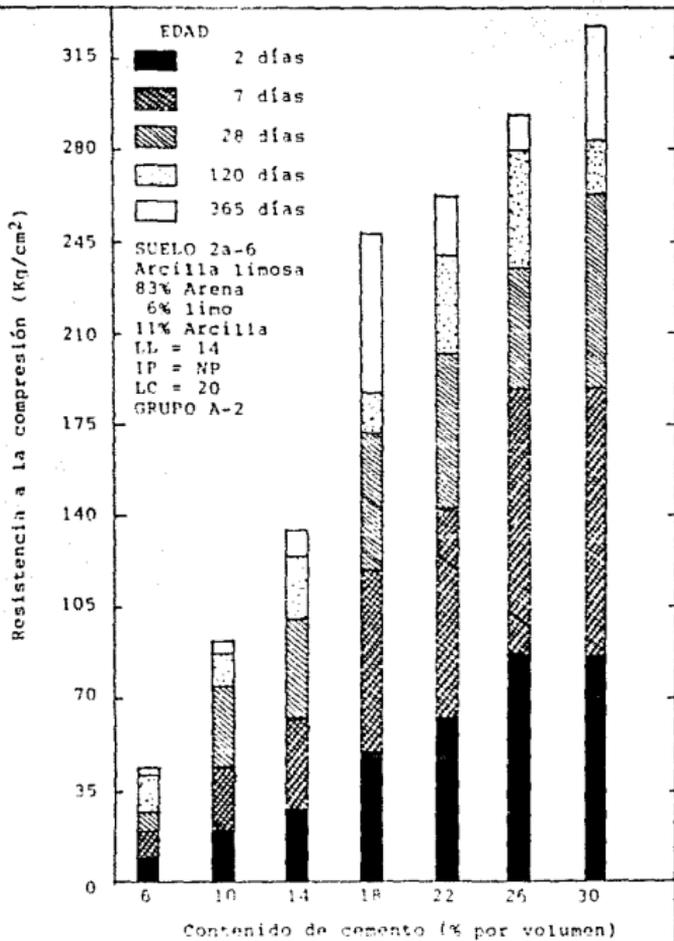


Figura 4.7 Efecto del contenido de cemento: suelo arenoso.

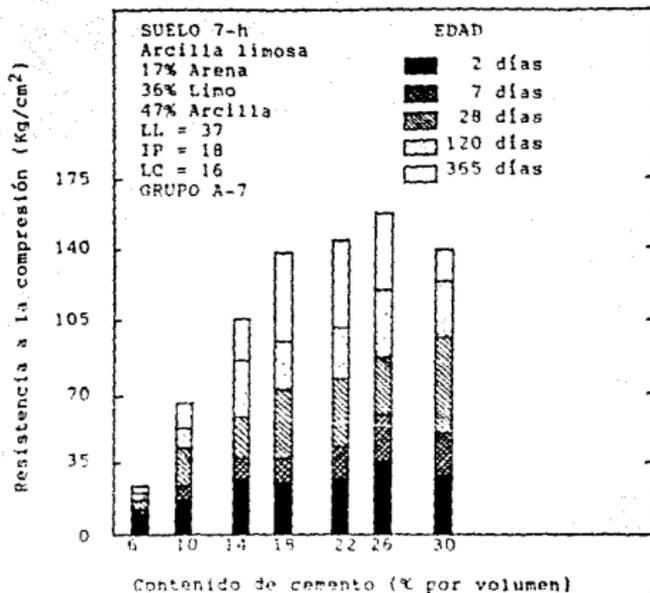


Figura 4.8 Efecto del contenido de cemento: arcilla limosa.

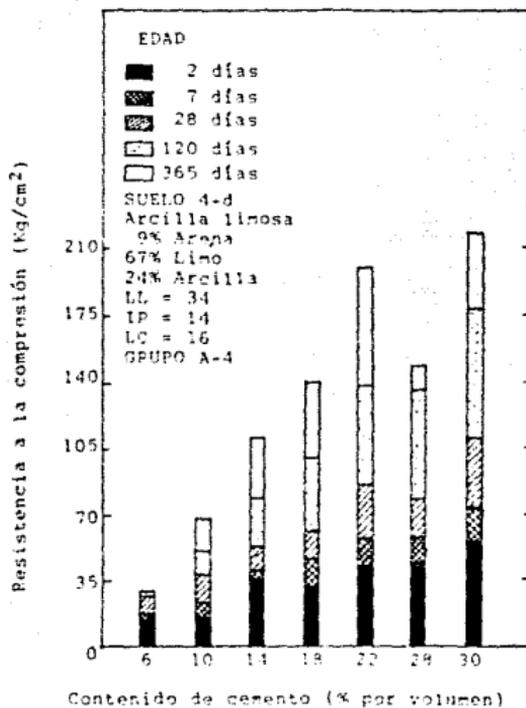


Figura 4.9 Efecto del contenido de cemento: Limo arcilloso.

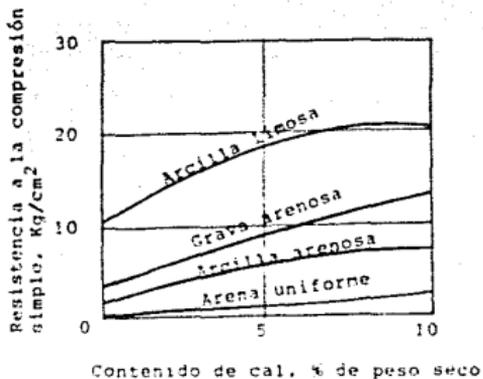


Figura 4.10 Efecto del contenido de cal en la resistencia a la compresión simple de varios tipos de suelos estabilizados durante 7 días con cal hidratada curada

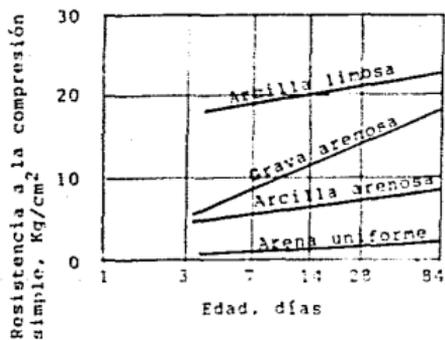


Figura 4.11 Efecto de la edad de una mezcla de 5% de cal en peso, con diversos tipos de suelos.

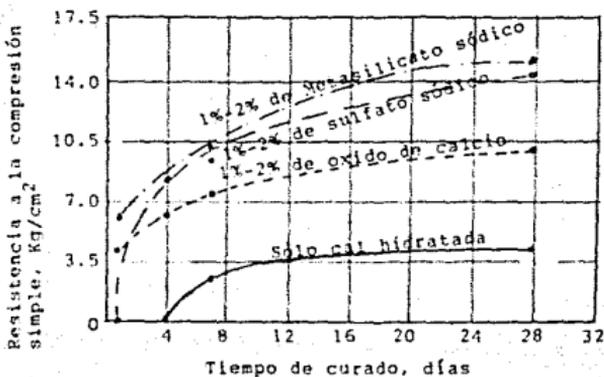


Figura 4.12 Efecto del tiempo de curado de los especímenes en la resistencia a la compresión simple obtenida en limo estabilizado y las proporciones que se citan.

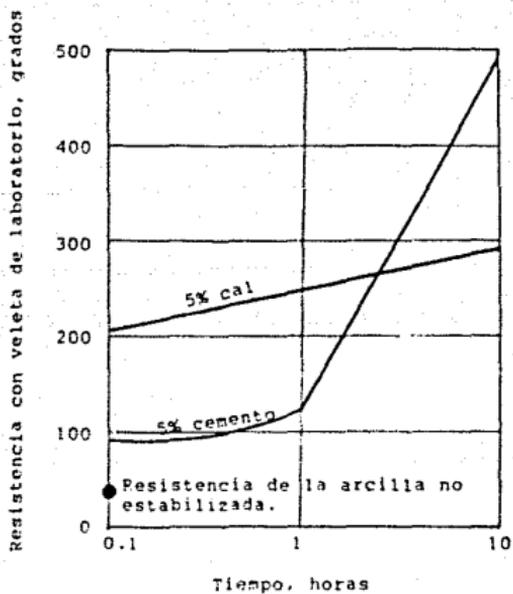


Figura 4.13 Cambio en la resistencia de una arcilla estabilizada durante las primeras horas después de la estabilización.

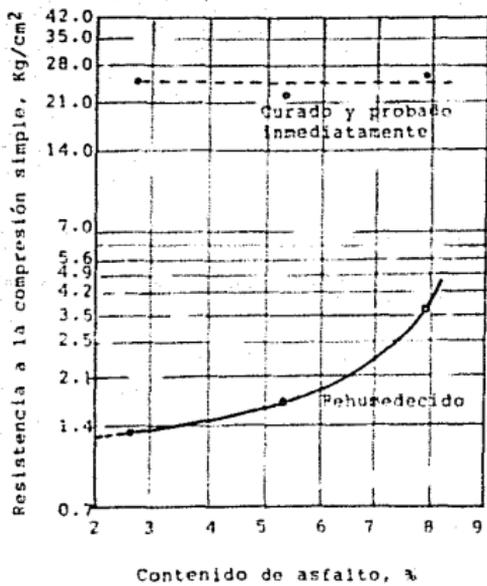
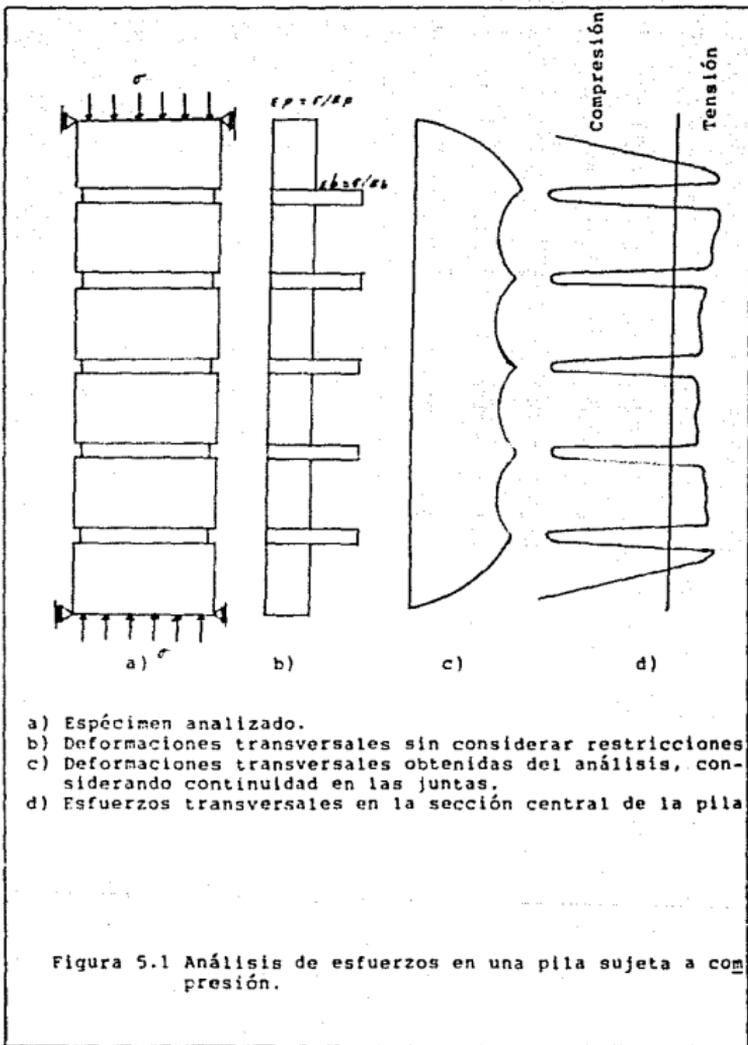


Figura 4.14 Efecto del contenido de asfalto en la resistencia a la compresión simple de especímenes de limo arcilloso, estabilizados con emulsión.



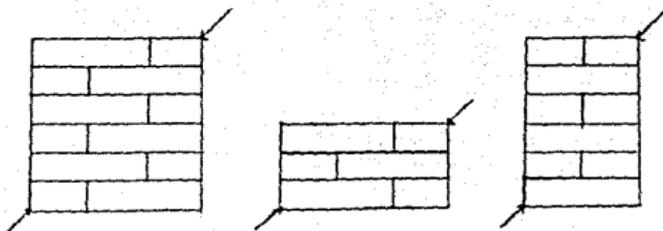


Figura 5.2 Especímenes con distintas relaciones de lados.

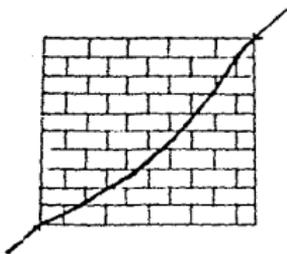


Figura 5.3 Falla por tensión diagonal

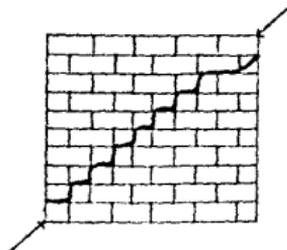


Figura 5.4 Falla por esfuerzo tangencial en las juntas.



Figura 5.5 Disposición del ensa
ya en compresión.

Figura 5.6 Disposición del
ensaye en com-
presión diag-
onal.

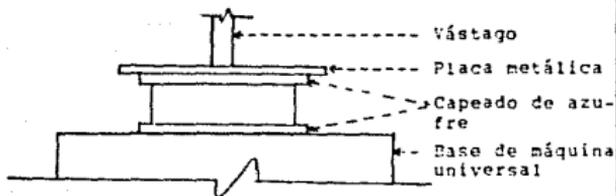


Figura 5.7 Disposición del ensaye para compresión en pie-
zas.

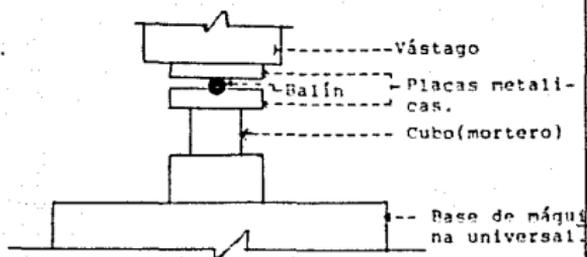


Figura 5.8 Disposición del ensaye para compresión en mortero.

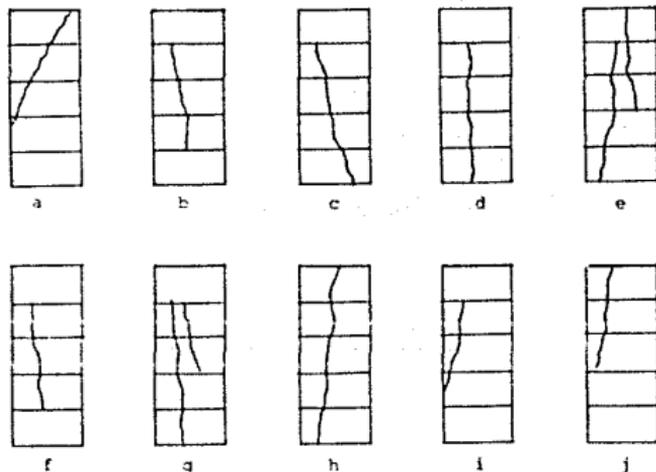


Figura 5.9 Modos de falla en pilas.

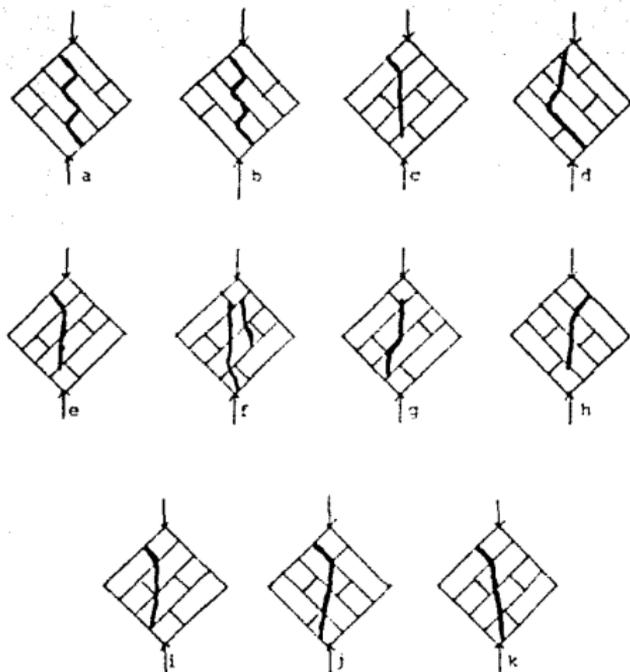


Figura 5.10 Modos de falla en muretes.

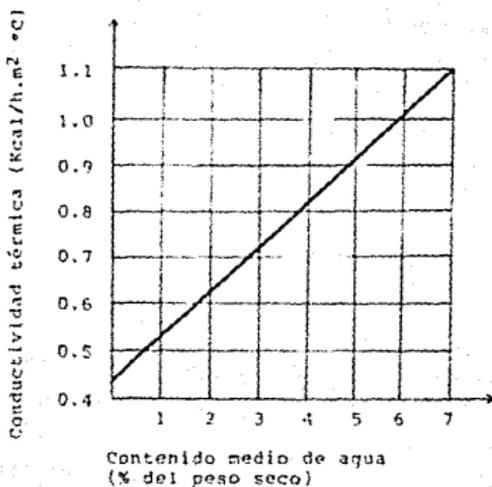


Figura 6.1 Conductividad térmica.

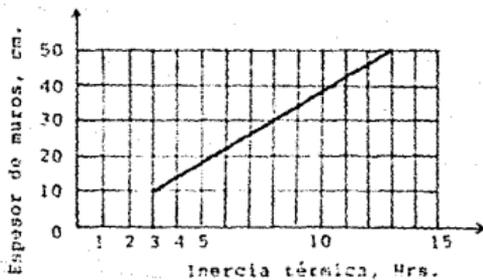


Figura 6.2 Inercia térmica.

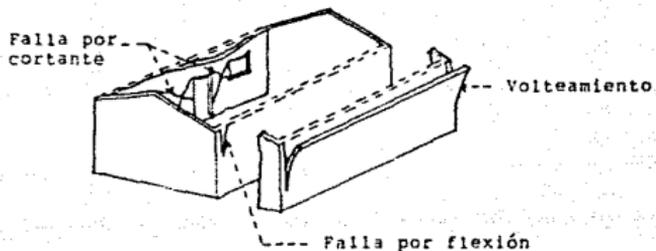


Figura 6.3 Distintos modos de falla.

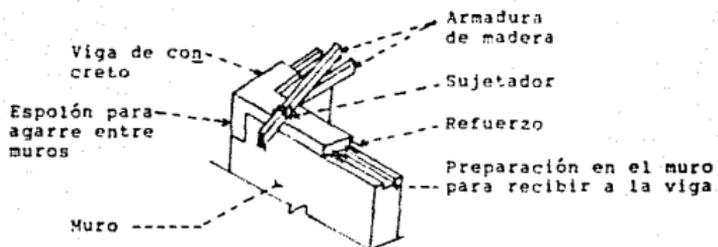


Figura 6.4 Refuerzo con cadena de concreto.

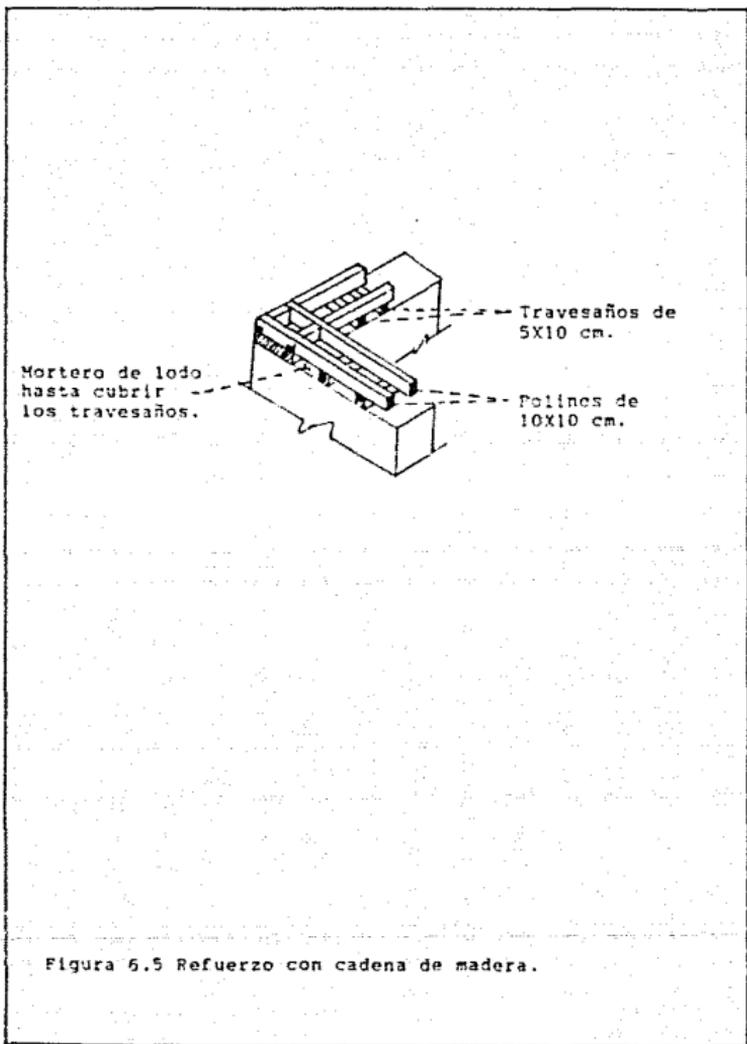
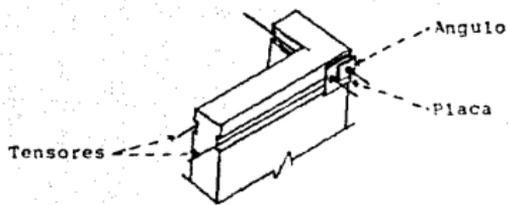
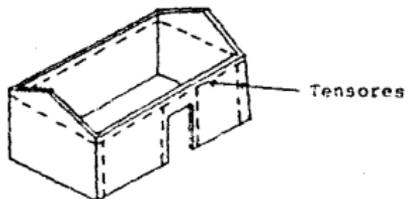


Figura 6.5 Refuerzo con cadena de madera.

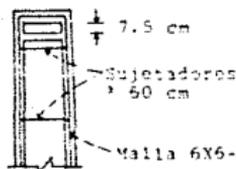
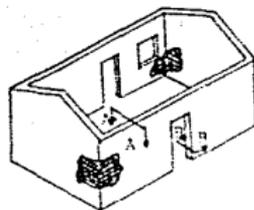


a) Tensores horizontales

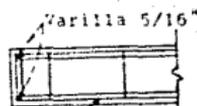


b) Posible ubicación de tensores horizontales y verticales

Figura 6.6 Refuerzo con tensores de acero.



Corte A-A



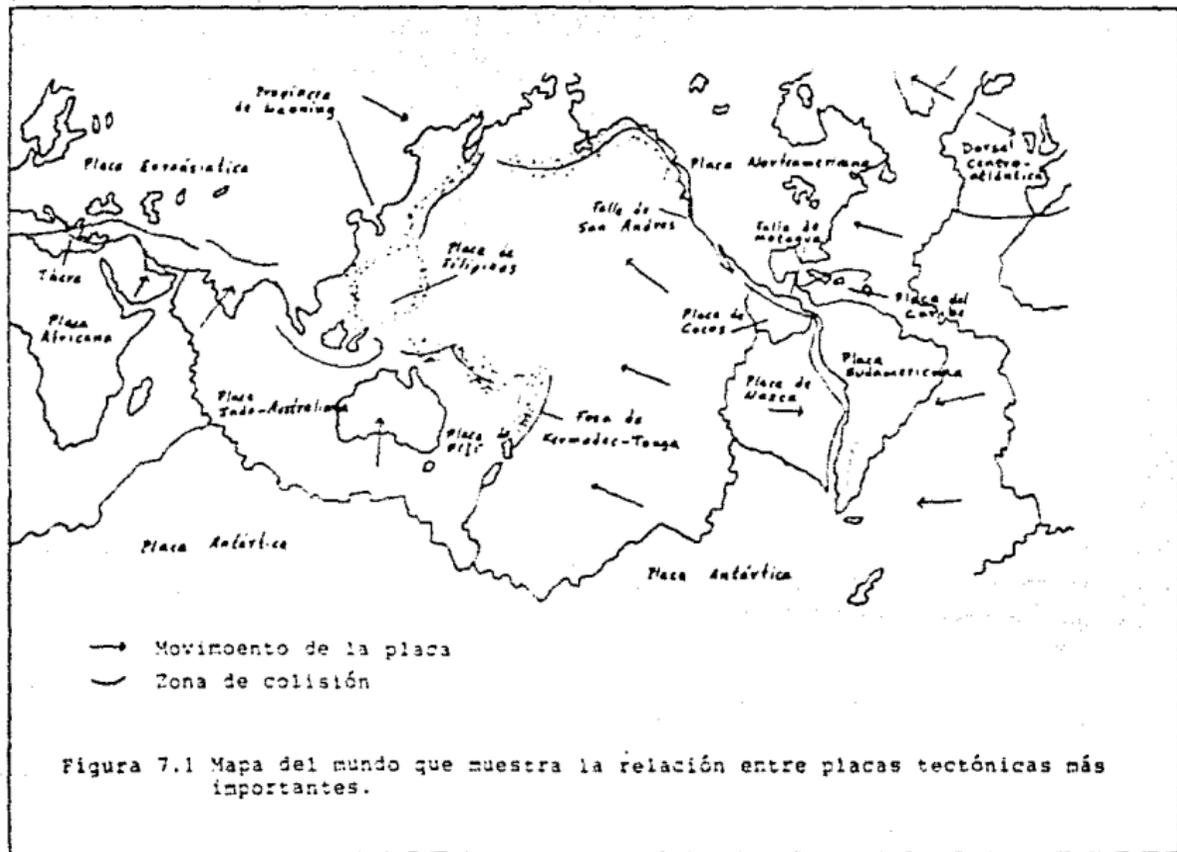
Corte B-B



En esquinas En intersección

Detalles de anclaje del
refuerzo en las esquinas

Figura 6.7 Recubrimiento de mortero sobre malla.



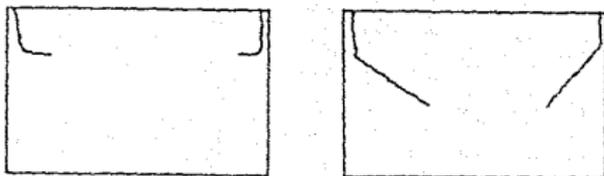


Figura 7.4 Posibles mecanismos de agrietamiento del muro frontal (perpendicular a la dirección del sismo).

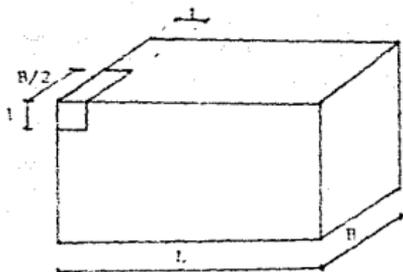


Figura 7.5 Franjas de ancho unitario que deben considerarse para determinar el peso por unidad de longitud al calcular el momento flectante en la esquina.



Figura 7.2 Las concentraciones de esfuerzos en el interior de las placas se deben a la fricción.

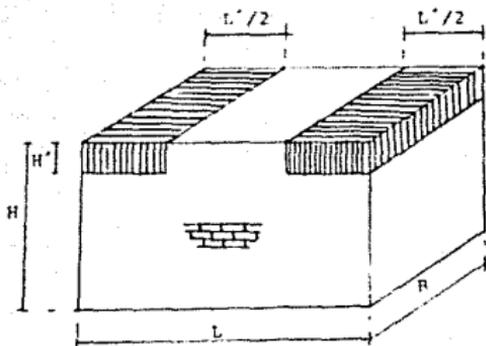
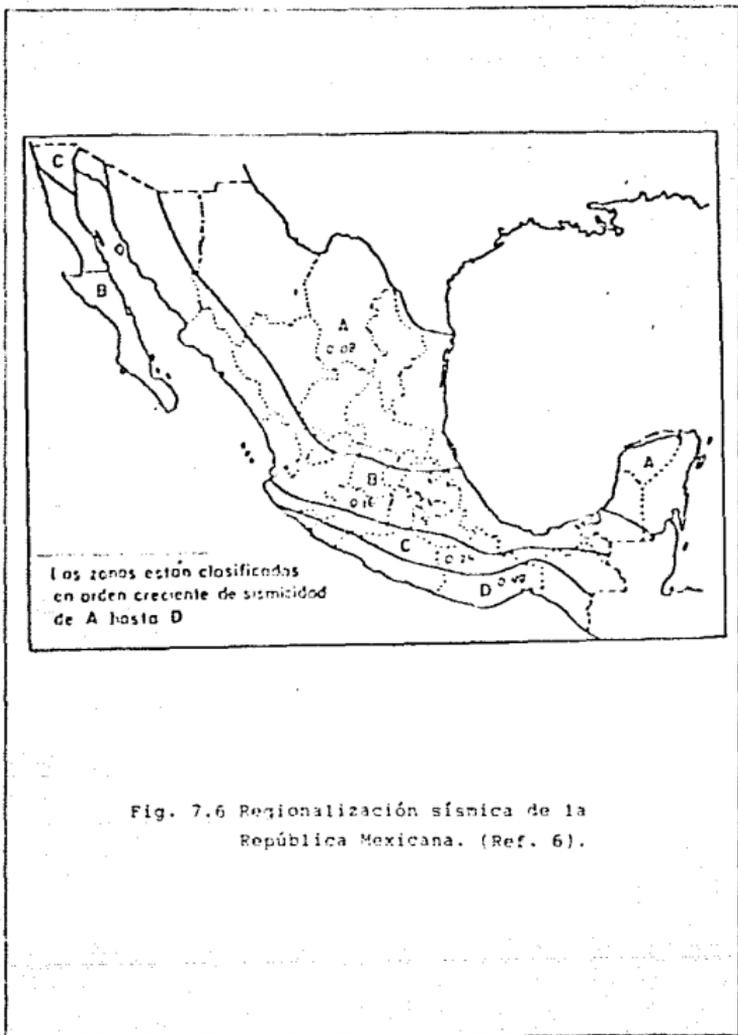


Figura 7.3 Masa equivalente para calcular el cortante con el método simplificado.



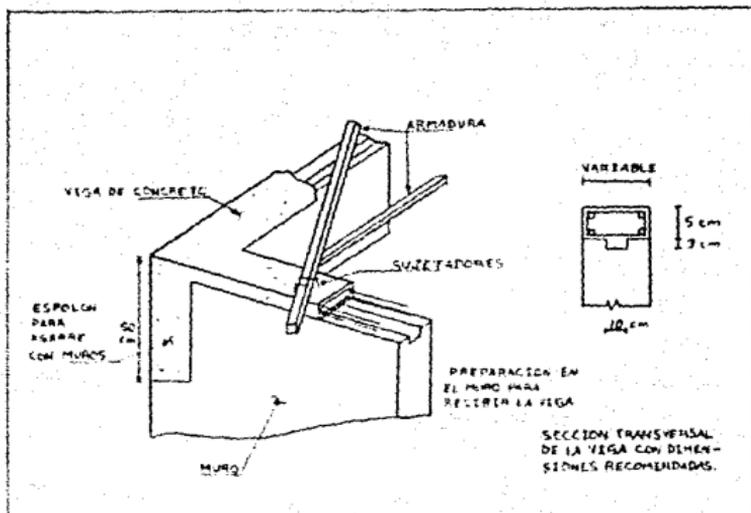


Fig. 8.1 Detalle de anclaje cubierta-cadena de concreto.

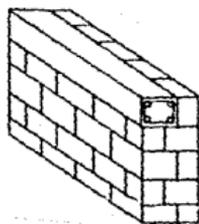


Fig. 8.2

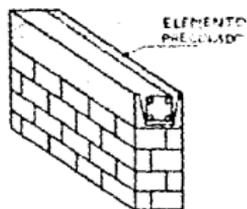


Fig. 8.3

Cadenas de refuerzo.

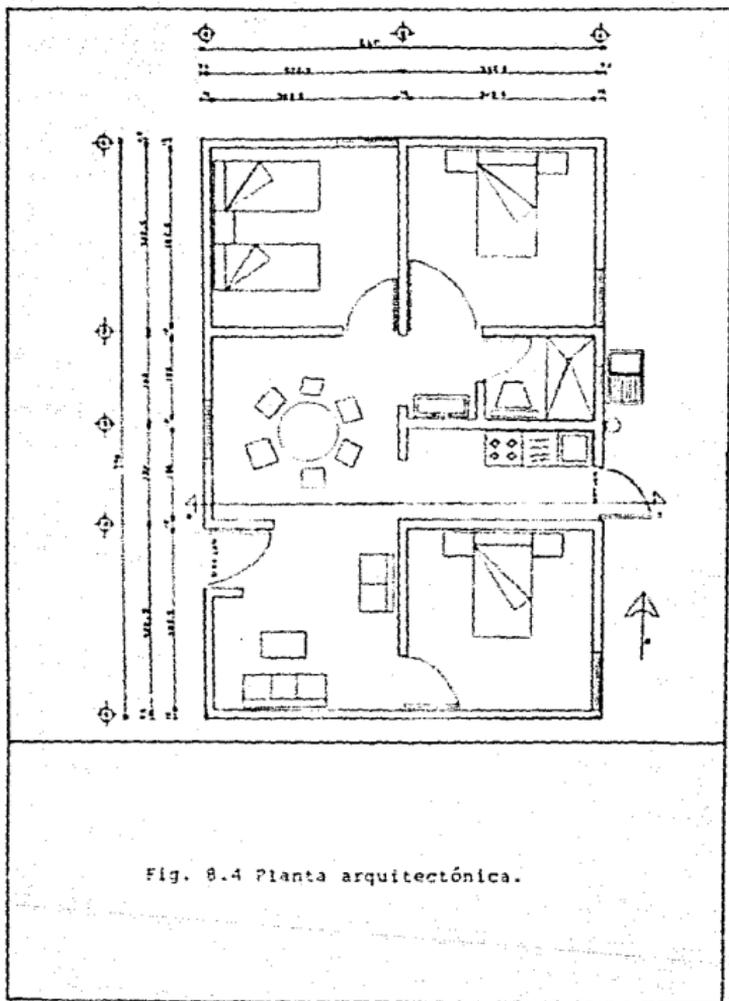


Fig. 8.4 Planta arquitectónica.

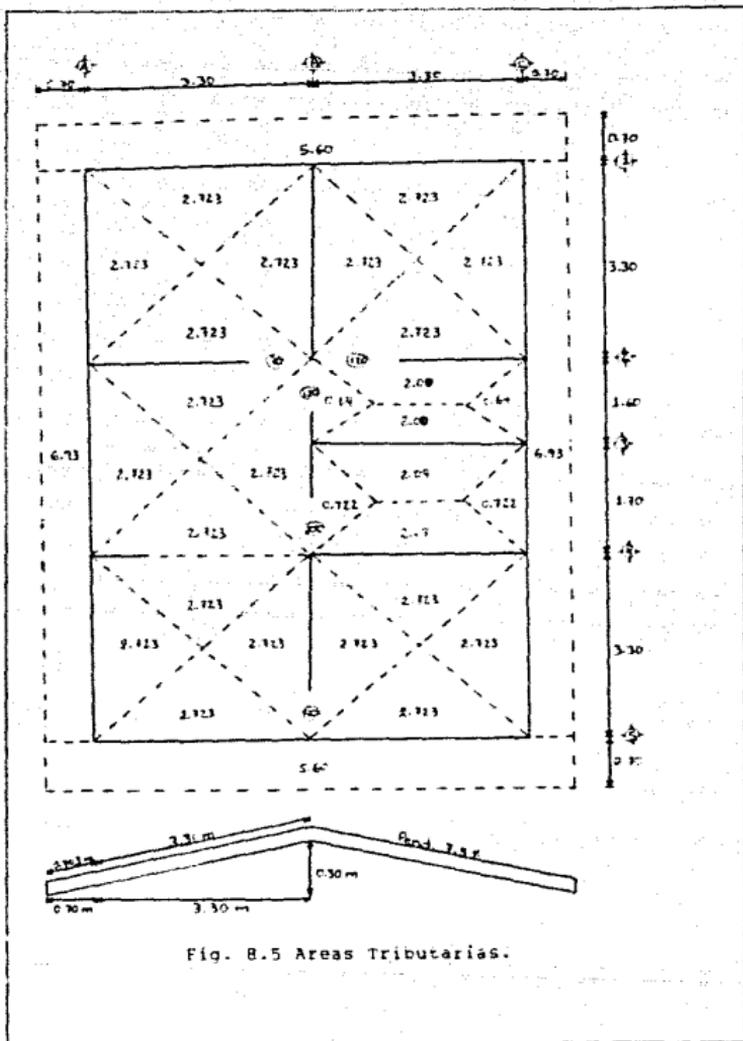


Fig. B.5 Areas Tributarias.

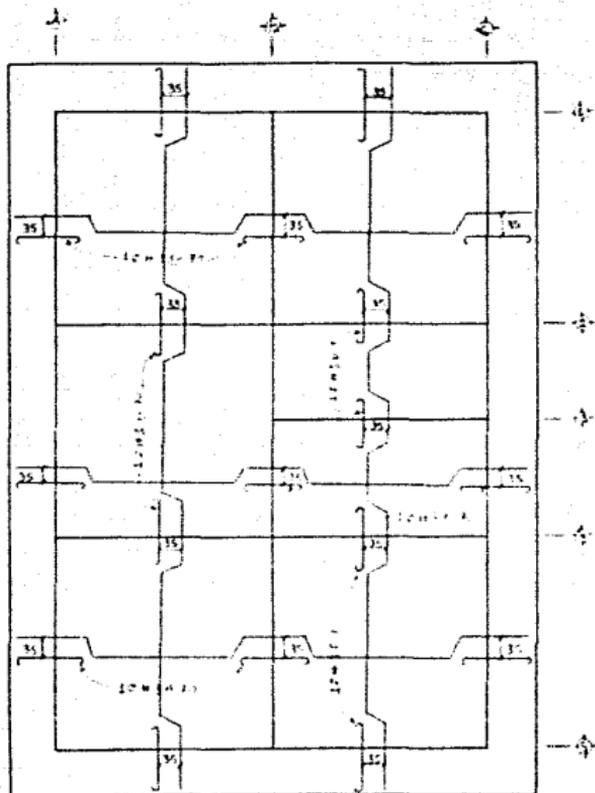
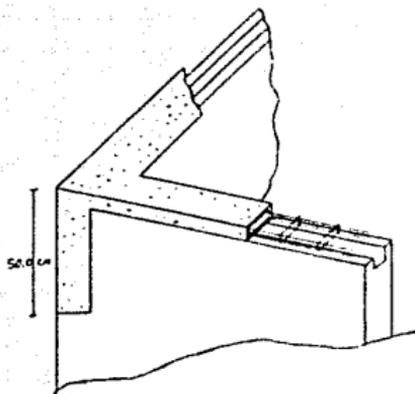


Fig. 8.6 Armado de losa propuesto.



	ARQUE NORMAL	ARQUE ESTALLADO
T	30.0	15.0 CM
t	10.0	5.0 CM
h	15.0	10.0 CM
e	3.0	3.0 CM

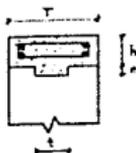


Fig. 8.7 Armado de viga-cadena de cerramiento.

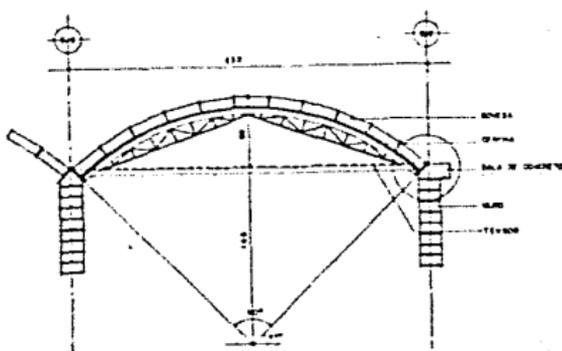


Fig. 8.8 Cubierta tipo bóveda.

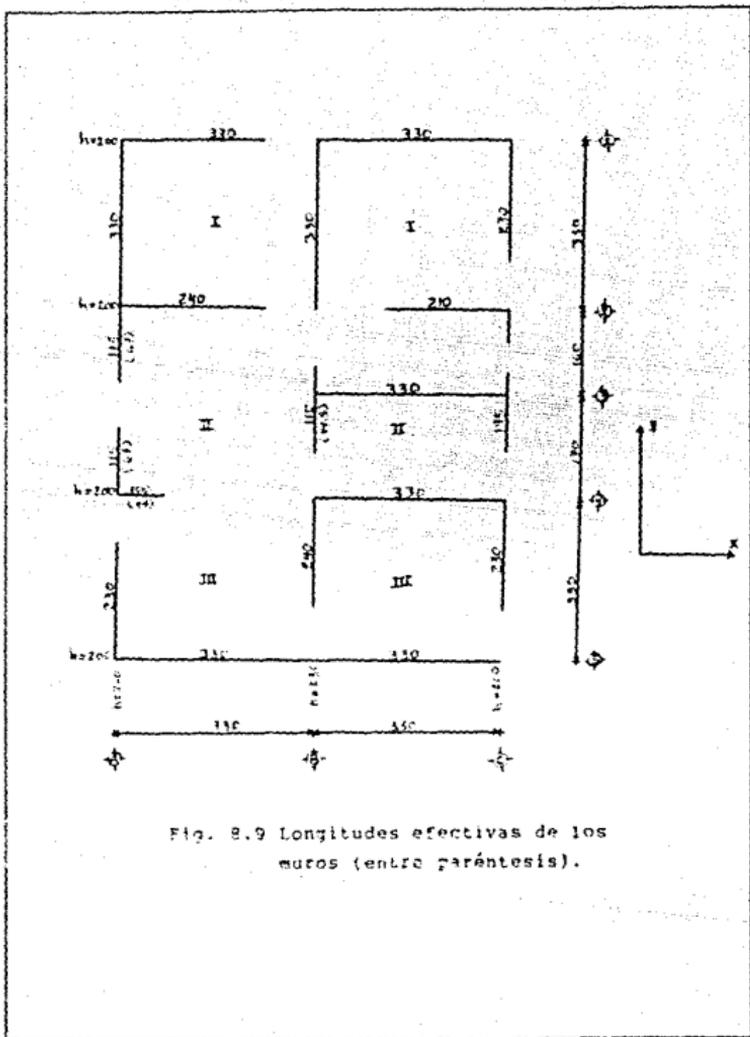


Fig. 8.9 Longitudes efectivas de los muros (entre paréntesis).

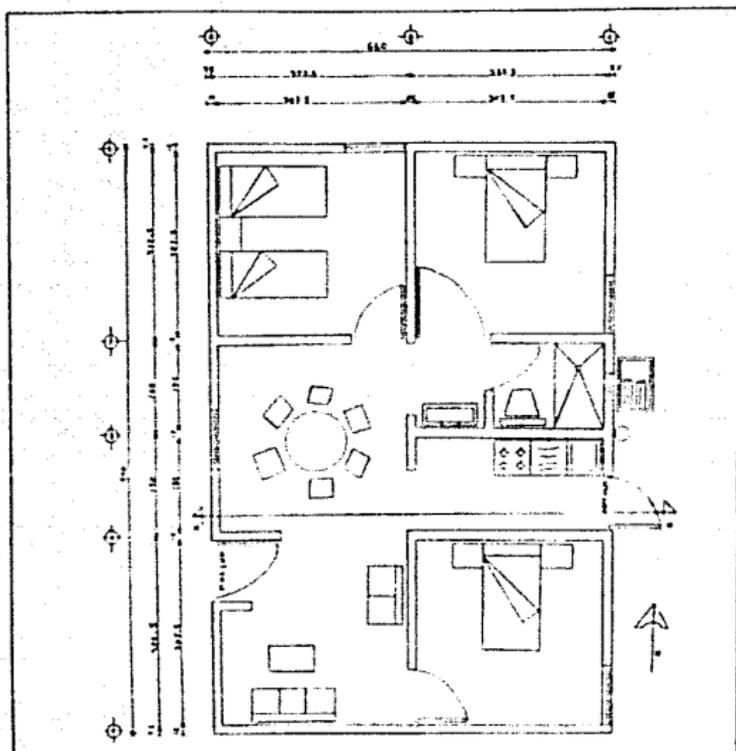
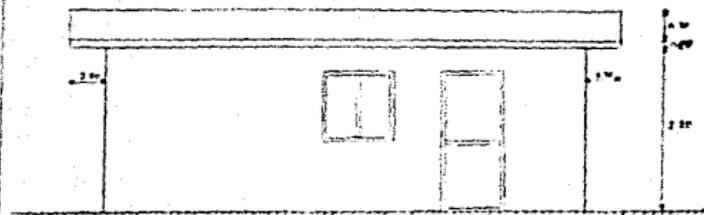
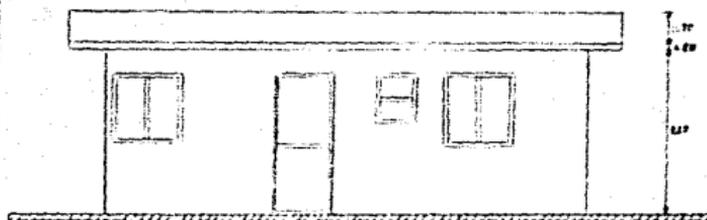


Fig. 9.1 Planta arquitectónica para es-
 tructuración de tabique recoci-
 do y losa maciza.

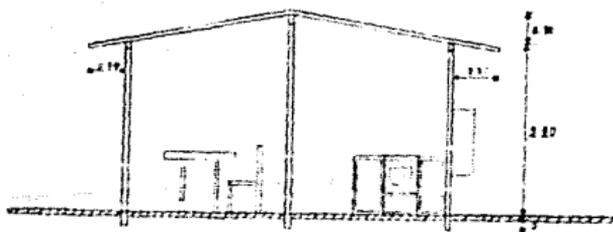
Fig. 9.2 Fachadas y corte.



Fachada Principal.



Fachada Posterior



Corte a-a

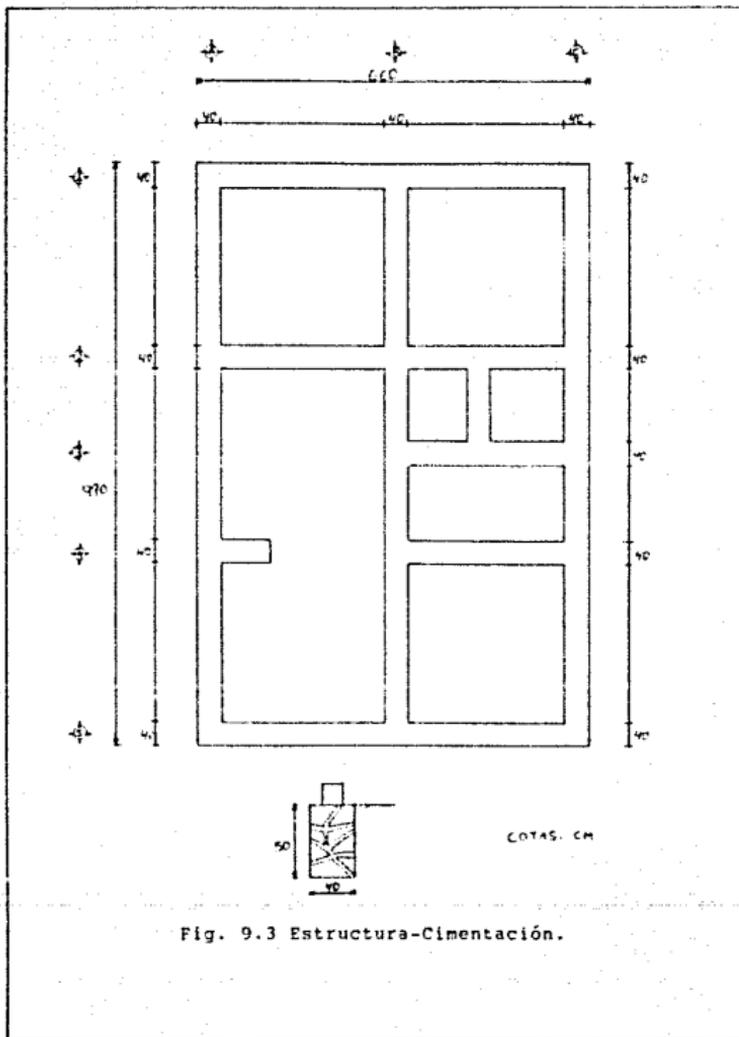


Fig. 9.3 Estructura-Cimentación.

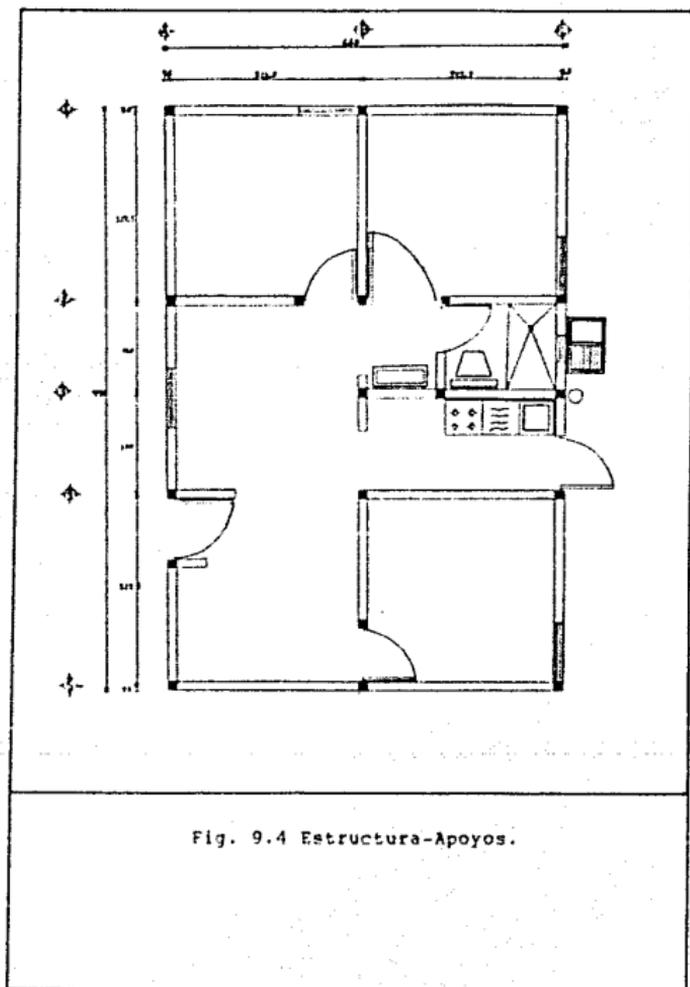
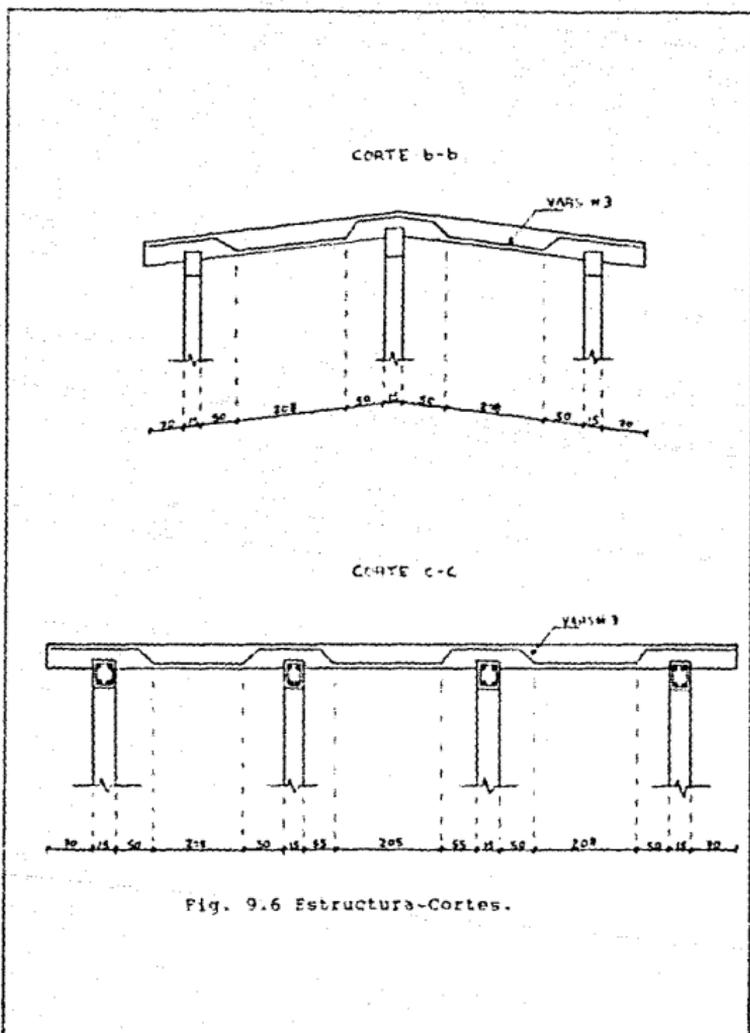


Fig. 9.4 Estructura-Apoyos.



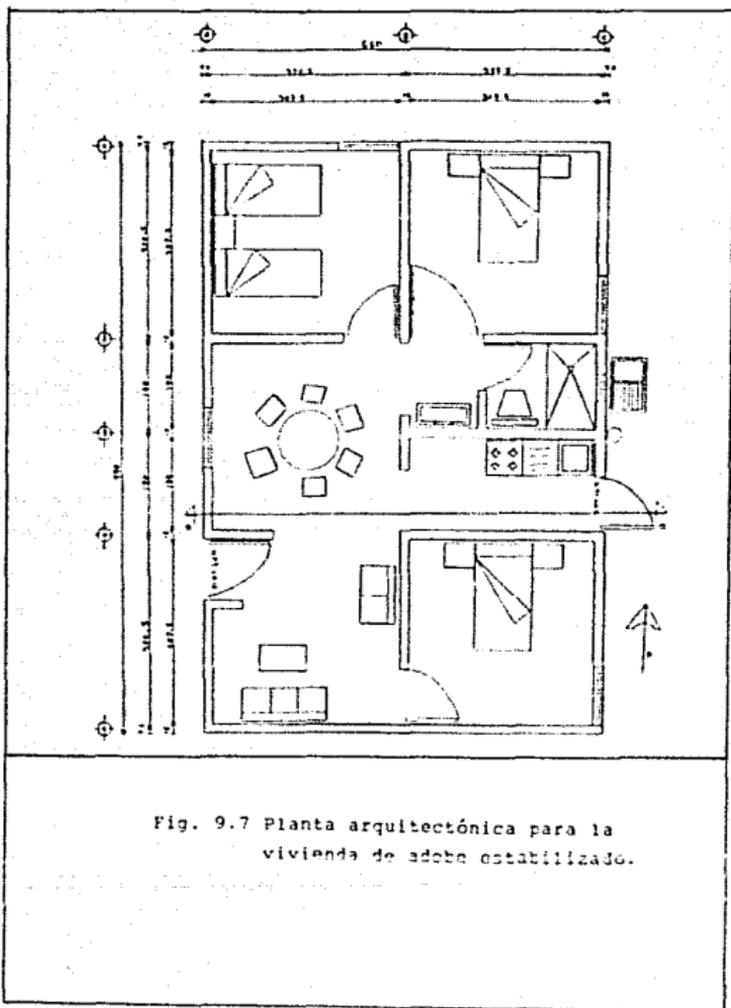


Fig. 9.7 Planta arquitectónica para la vivienda de adobe estabilizado.

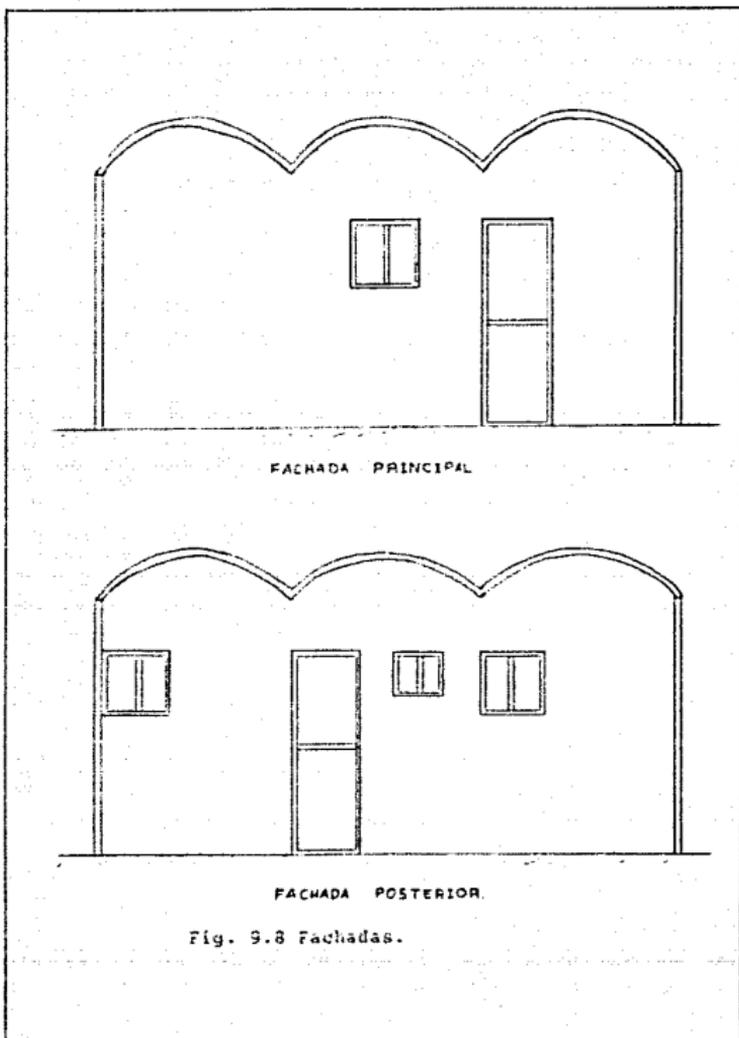


Fig. 9.8 Fachadas.

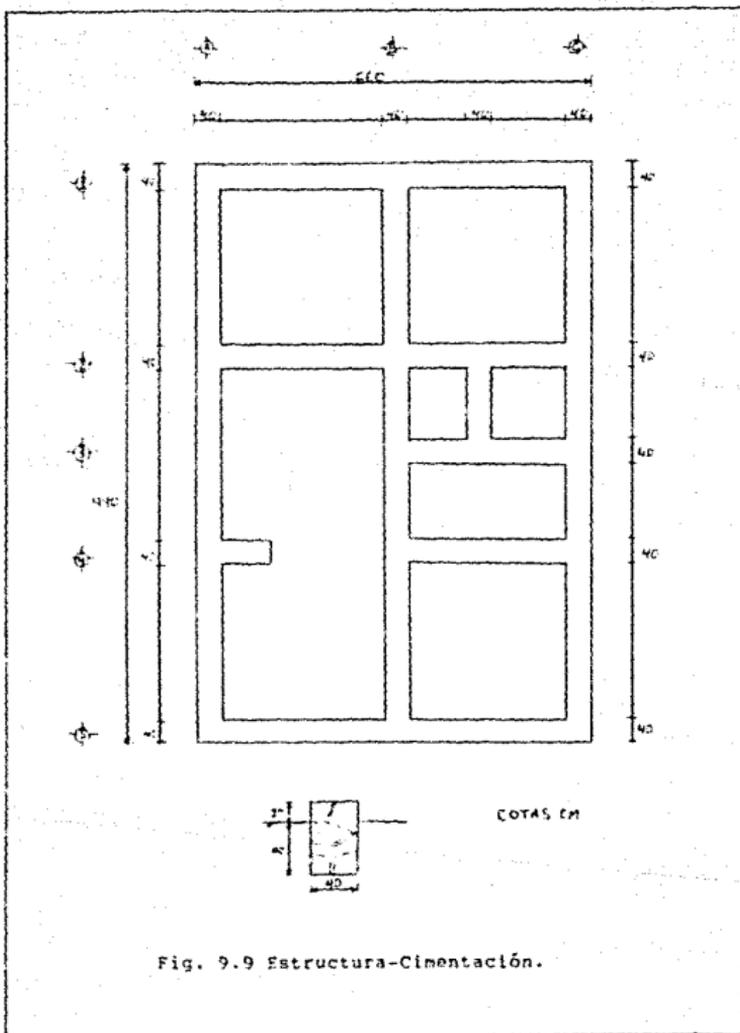
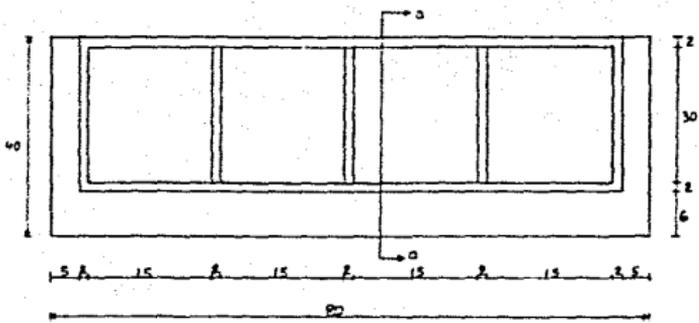
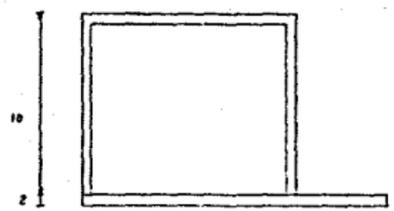


Fig. 9.9 Estructura-Cimentación.



COTAS CM



SECCION a-a

Fig. 9.10 Molde para la fabricación de las piezas de adobe estabilizado.

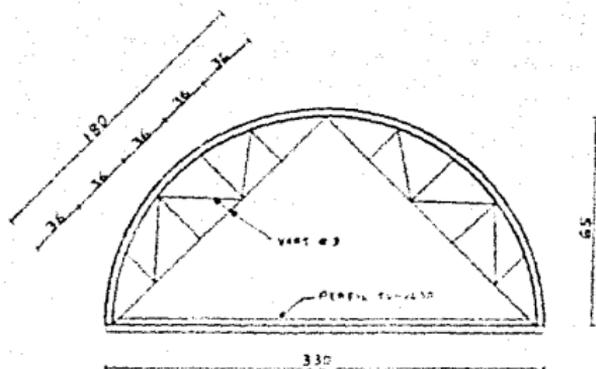


Fig. 9.11 Armadura para la bóveda.

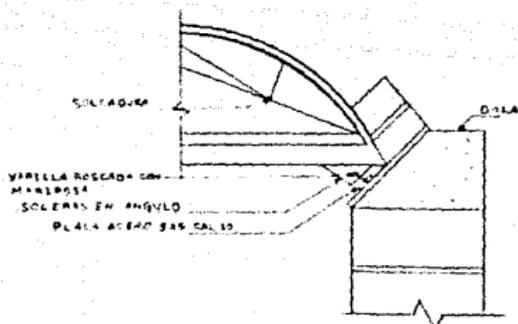


Fig. 9.12 Detalle de unión entre la armadura y la cadena.

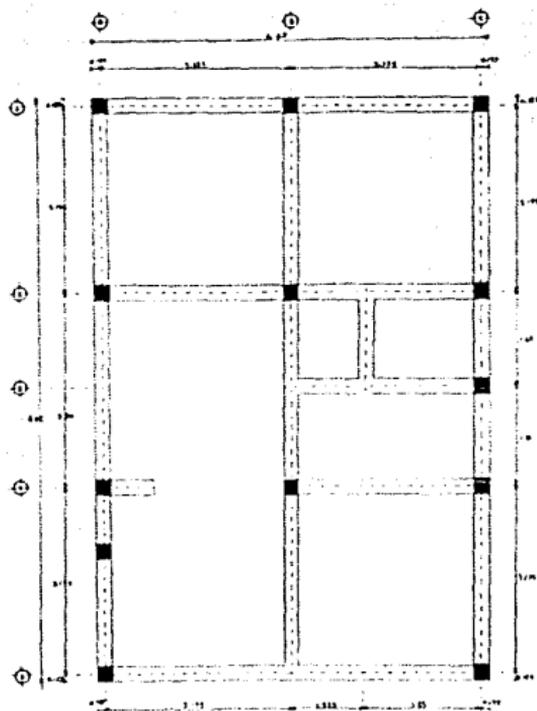


Fig. 9.13 Localización de los espolones para la vivienda de adobe estabilizado.

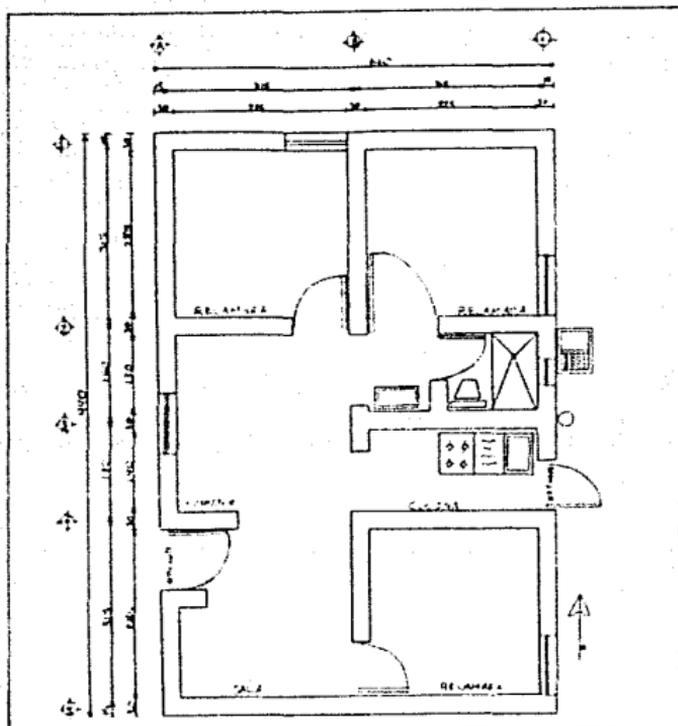


Fig. 9.14 Planta arquitectónica para la vivienda de adobe normal.

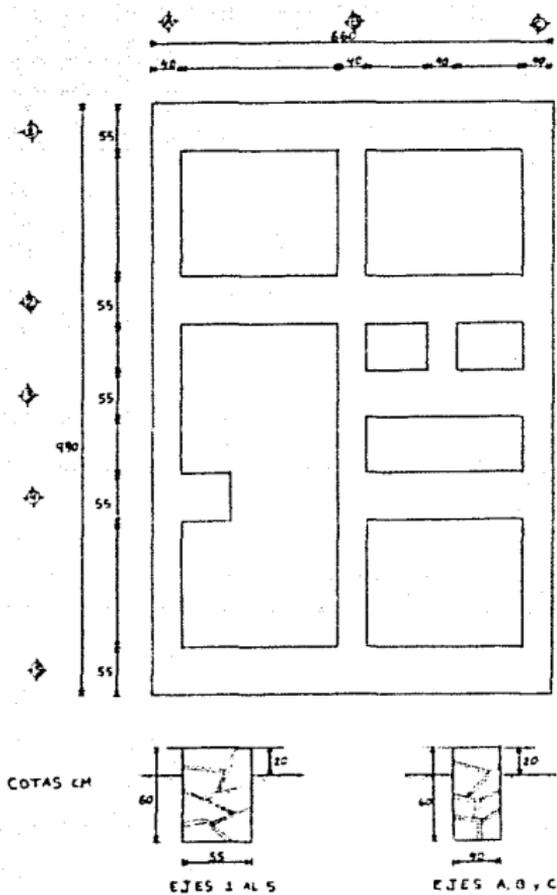


Fig. 9.15 Estructura-Cimentación.

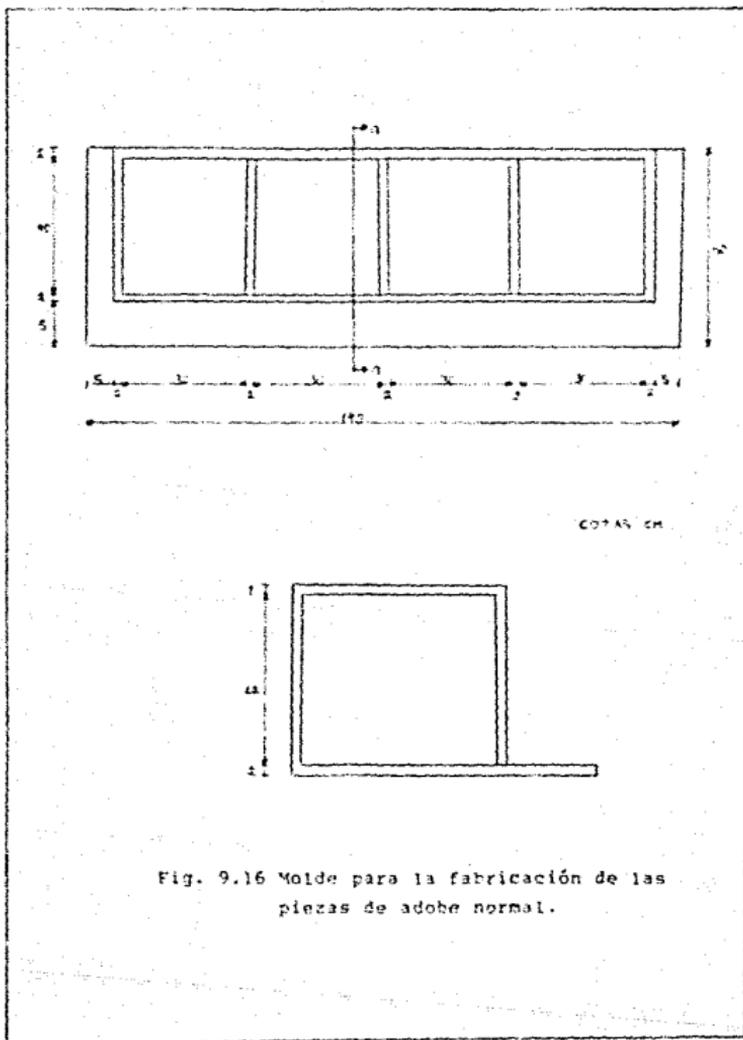


Fig. 9.16 Molde para la fabricación de las piezas de adobe normal.

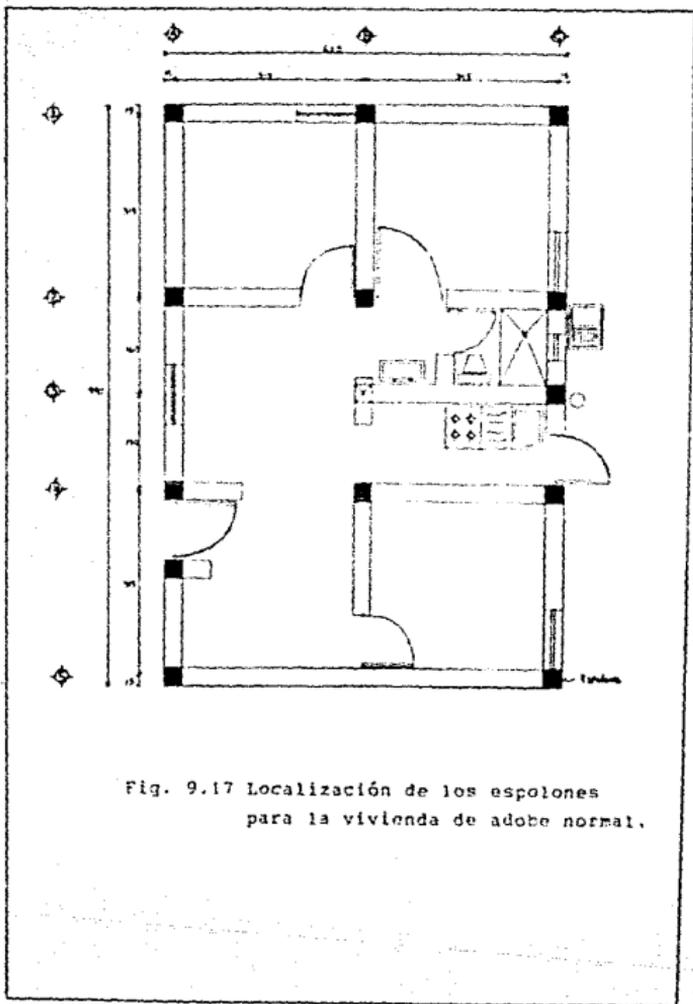


Fig. 9.17 Localización de los espiones para la vivienda de adobe normal.

AÑO	POBLACION TOTAL (MILES)	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (%)
1900	13,607.3	1.09
1910	15,160.4	-0.50
1921	14,334.8	1.72
1930	16,552.7	1.77
1940	19,653.6	2.69
1950	25,791.0	3.08
1960	34,923.1	3.40
1970	48,225.2	3.21
1980	65,846.8	2.78
1997	81,139.4	2.51
1998	82,731.2	1.90

Tabla 2.1 Población total y tasa de crecimiento por periodos anuales.

- (1) Fuente: Censo General de población y vivienda (para las cifras de 1900 a 1980).
- (2) Fuente: Sexto informe de gobierno, Sep./1998 (sexenio de Miguel de la Madrid).

Concepto.	1970	1980	1988
	No. de viviendas.		
a) Viviendas existentes			
Viviendas	8,286	12,074	16,004
Propia	5,471	8,203	10,780
No propia	2,815	3,871	5,224
Beneficiados.	48,225	66,365	81,870
Con vivienda propia	32,908	47,514	55,508
Con vivienda no propia	15,317	18,851	26,362
b) Vivienda según el número de cuartos.			
Viviendas.	8,286	12,074	16,004
Hasta 2 cuartos	5,722	7,079	10,803
De 3 a 5 cuartos	2,114	4,024	4,271
Más de 5 cuartos	450	971	930
Beneficiados	48,225	66,365	81,870
Hasta 2 cuartos	32,156	45,791	56,523
De 3 a 5 cuartos	13,045	17,255	20,885
Más de 5 cuartos	3,024	3,319	4,462
c) Viviendas según material predominante.			
En muros	8,286	12,074	16,004
Adobe	2,495	2,573	2,671
Tabique o ladrillo	3,658	6,773	10,470
Otros	2,133	2,728	2,863
En techos	8,286	12,074	16,004
Concreto o similares	2,833	5,314	8,202
Teja o similares	1,769	4,847	7,517
Otros	3,684	1,913	285
En pisos	8,286	12,074	16,004
Tierra	3,403	3,193	2,898
Otros	4,883	8,881	13,106
d) Viviendas según disponibilidad en servicios.			
Agua entubada	8,286	12,074	16,004
Dentro de la vivienda	3,211	6,022	9,236
Fuera de la vivienda	1,845	2,510	3,362
No disponen	3,230	3,542	3,406
Drenaje	8,286	12,074	16,004
Con drenaje	3,440	6,158	9,446
Sin drenaje	4,846	5,916	6,558

Tabla 2.2 Vivienda en México.

Fuente: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

Denominación	Tamaño en milímetros (diámetro de la esfera que la circunscribe).
Grava	Mayor que 2
Arena gruesa	De 2 a 0.6
Arena media	De 0.6 a 0.2
Arena fina	De 0.2 a 0.05
Limo	De 0.05 a 0.005
Arcilla	De 0.005 a 0.001
Coloides	Menor que 0.001

Tabla 3.1 Clasificación de los componentes del suelo por tamaños. (Ref. 4).

Naturaleza de la tierra.	Permeabilidad después de prensado.	Possibilidades de empleo como material de construcción.
Arenas	Permeables	excelentes o normales.
Arenas limosas	Medio permeables o impermeables.	normales.
Arenas arcillosas Limos orgánicos. arena muy fina, arena fina limosa o arcillosa poco maleable.	Impermeables.	buenas.
Arenas arcillosas Limos orgánicos. arena muy fina, arena fina limosa o arcillosa poco maleable.	Medio permeables o impermeables.	normales.
Arcillas inorgánicas. poco maleables. Arcillas arenosas, arcillas limosas.	Impermeables.	buenas o normales.
Limos orgánicos. Arcillas orgánicas poco maleables.	Medio permeables o impermeables.	normales.
Limos inorgánicos, limos elásticos.	Medio permeables o impermeables.	malas.
Arcillas inorgánicas (maleables).	Impermeables.	malas.
Arcillas orgánicas, maleabilidad fuerte o media.	Impermeables.	malas.

Tabla 3.2 Propiedades de las tierras. (Ref. 8).

Tipo de suelo	Problemas y medios de estabilización usuales.
Suelos Arenosos.	Cuando la granulometría es uniforme puede convenir la estabilización con mezcla de otros suelos. Las arenas limpias pueden mejorar sus características con cemento o asfalto.
Suelos limosos con algo de arcilla.	En general, el único tratamiento económico al que son susceptibles es la compactación.
Suelos limosos con muy poca o ninguna arcilla.	No existen tratamientos económicos. Debe evitarse su uso en superficies expuestas, por los polvos que producen cuando se secan.
Suelos arcillosos agrietados.	Responden a la estabilización con cal.
Suelos arcillosos no agrietados y de textura abierta.	Responden muy bien a la compactación.
Arcillas suaves.	Susceptibles a la estabilización con cal.

Tabla 4.1 Problemas típicos y posibilidades de estabilización de algunos suelos comunes. (Ref. 20).

Mineral o componente del suelo típico.	Estabilización Recomendable.	Finalidad.
Materia Orgánica.	Estabilización Mecánica.	Los demás métodos no son efectivos.
Arenas	Mezcla con materiales finos no plásticos. Cemento Asfalto.	Para estabilización mecánica. Para incrementar resistencia Para adquirir cohesión.
Limos.	No responden a los métodos de estabilización en uso.	
Alófanos.	Cal o mezclas de cal y yeso.	Para incrementar la resistencia.
Caolín.	Arena. Cemento Cal.	Para estabilidad mecánica. Para incrementar la resistencia a corto plazo. Para mejorar -- trabajabilidad y adquirir resistencia a largo plazo.
Ilita.	Cemento.	Para incrementar resistencia a corto plazo.

	Cal.	Para mejorar trabajabilidad y adquirir resistencia a <u>largo</u> plazo.
Montmorilonita.	Cal.	Para mejorar -- trabajabilidad y adquirir resistencia a corto plazo.
clorita.	Cemento.	Aún no hay experiencia concluyente sobre los efectos de esta estabilización.

Tabla 4.2 Respuesta de algunos minerales típicos a los diferentes métodos de estabilización. (Ref. 20).

Material	Conductividad (Kcal/h.m ² .°C)	Inercia (Hrs)
Ladrillo	0.63	31.5
Piedra	1.56	21.8
Concreto	1.3 - 1.5	30.1
Tezontle	0.16	---
Adobe	0.5 - 0.7	---
Tierra seca	0.50	1.54
Madera seca	0.1 - 0.12	58.00
Madera prensada	0.07	72.00
Corcho	0.037	67.00
Vidrio	1.25	46.00

Tabla 6.2 Conductividad e Inercia térmica de algunos materiales.

Suelo número	1	2	3	4
Límite líquido	16	17	28	26
Índice de plasticidad	--	--	15	7
Contenido de humedad óptimo	9.2	10	12.2	15.0
Densidad máxima*	132	130	123	113
AASHO, grupos A	1-b	2-4	6	4

* Valores que se obtuvieron para un contenido de cemento del 10% por peso.

Tabla 4.3 Algunos tipos de suelos y sus propiedades. (Ref. 31).

Cementos asfálticos para formar rebajados.

Propiedad.	Residuos.					
	Penetración 65		Penetr. 90		Penetr. 200	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Densidad relativa	0.99	--	0.98	--	0.97	--
Punto de ignición °C	225	--	220	--	205	--
Punto de reblandecimiento. °C	46	58	42	53	33	44
Penetración a 25 °C	60	70	85	100	180	210
Temperatura para uso en °C.	--	--	160	182	155	182

Rebajados de fraguado lento.

Propiedad.	Ligeros		Medio		Pesado	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Viscosidad en Stokes a 50 °C	0.36	0.71	0.70	1.40	1.10	2.20
Proporción de cemento con penetración 90	100	--	100	--	100	--
Proporción de aceite diesel.	60	--	45	--	30	--
Proporción de kerosena.	50	--	38	--	25	--

Tabla 4.4 Requerimientos comunes para materiales asfálticos. (Ref. 20).

Alquitrán de petróleo.

Propiedad	Para impregnación		Para liga		Para presellado	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Densidad relativa	1.09	--	1.05	--	1.05	--
Viscosidad en Stokes a 50 °C	31	50	1	2	0.10	0.25
Solubilidad en bisulfuro de carbono % (se expresa la fracción insoluble)	--	8	--	5	--	5
Contenido de agua %	--	0.5	--	2	--	5
Temperatura para uso °C	88	93	57	71	18	35

Tabla 4.4 Continuación.

Media	9.9	3.1
Coef. de variación	0.34	0.36
Procedencia	Compresión (kg/cm ²)	Tensión (kg/cm ²)
Chiapas	16.0	2.0
Chiapas	9.9	+
Chiapas	7.9	4.0
Guatemala	9.1	+
Guerrero	8.1	3.0
Guerrero	5.2	4.4
Oaxaca	9.3	+
Oaxaca	13.5	2.0

Tabla 5.1 Resistencia a la compresión y tensión por flexión en adobes de distinta procedencia. (Ref. 7).

Tipo de ensaye	Mortero	Resistencia en kg/cm ²	Módulo de elasticidad, en kg/cm ²
Compresión axial en pila.	Lodo	13.5*	2500
		13.4	2500
	1:2:9	14.0	5000
	0:1:3	Se despejaron los especímenes durante su manejo.	
	0:1:3	14.8	
Cortante por compresión diagonal.	Lodo	1.4*	*Adobes de 10x16x60.
		1.2	! En el resto de los ensa-
	1:2:9	2.6	! yes se emplearon adobes
	0:1:3	0.7	! de 4x16x24 cm y tabicones
	0:1:3	1.4	! cemento-arena de 4x6x10
		! cm. los resultados son	
		! promedio de al menos tres	
Cortante directo.	Lodo	0.7	! ensayes.
		!	!
		!	!

Flexión en murete.	Lodo	2.6	!	!	!	!
-----------------------	------	-----	---	---	---	---

Tabla 5.2 Propiedades mecánicas de
mampostería. (Ref. 7).

Pieza no.	Area (cm ²)	Carga** (kg)	fa = F/A ** (kg/cm ²)
1	671.0	33 200	49.48
2	677.10	37 400	55.23
3	697.68	34 350	49.23
4	712.24	36 150	50.76
5	685.44	37 400	54.56
6	667.95	41 100	61.53
7	670.14	33 350	49.77
8	689.30	40 450	58.68
9	657.51	36 400	55.36
Extra*	610.0	29 350	48.11

* Pieza de adobe simple.

** Carga y esfuerzo a la ruptura

Promedio: $f_a = 484.6 / 9 = 53.84 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 5.3 Resultados de ensayos en piezas.

Cubo no.	Area (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	25	220	8.8
2	25	200	8.0
3	25	230	9.2
4	25	260	10.4
5	25	250	10.0
6	25	280	11.2
7	25	260	10.4
8	25	280	11.2
9	25	260	10.4

Promed. Fmort. = 89.6/ 9 = 9.95 a) Edad 11 dias.

Tabla 5.4 Resultado de ensayos en cubos (mortero)

Cubo no.	Area (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	25	270	10.8
2	25	240	9.6
3	25	360	14.4
4	25	330	13.2
5	25	330	13.2
6	25	300	12.0
7	25	320	12.8
8	25	350	14.0
9	25	350	14.0

Promedio: Fmort. = 114/9 = 12.67 b) Edad 12 dias.

Tabla 5.4 Continuación.

Cubo no.	Area (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	25	330	13.2
2	25	350	14.0
3	25	320	12.8
4	25	200	8.0
5	25	320	12.8
6	25	410	16.4
7	25	290	11.6
8	25	370	14.8
9	25	360	14.4

Promedio: $F_{mort.} = 118/9 = 13.11 \text{ kg/cm}^2$ c) Edad 17 días.

Tabla 5.4 Continuación.

Pila no.	Area (cm ²)	Fuerza (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	648.72	9550	14.72
2	654.84	9950	15.19
3	642.60	9100	14.16
4	630.36	10700	16.97
5	634.40	12800	20.17
6	667.08	9450	14.16
7	681.54	11200	16.43
8	630.36	10350	16.42
9	679.32	11600	17.07
10*	562.40	8050	14.31

* Pila de tierra sin estabilizar.

Promedio: $F_m = 145.29 / 9 = 16.14 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 5.5 Resultado de ensayos en pilas a compresión simple.

Murete no.	Area (cm ²)	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)
1	1421.35	2500	1.76
2	1399.41	2380	1.70
3	1429.52	2230	1.56
4	1384.36	2260	1.63
5	1390.89	4070	2.92
6	1380.12	2850	2.06
7	1408.32	3050	2.16
8	1354.56	1680	1.20
9	1368.64	2270	1.66
10*	1244.50	1720	1.30
11*	1225.76	1600	1.38

* Murete de tierra simple.

Promedio: $V_m = 16.65 / 9 = 1.85 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 5.6 Resultado de ensayos en muretes a tensión diagonal.

Fuente	Resistencia a compresión en kg/cm ²		Resistencia a tensión diagonal (cortante), en kg/cm ² .	
	Normal	Estabilizado	Normal	Estabilizado
Ref. 27	2.0	----	0.30	----
Ref. 7	2.12	----	0.28	----
Ref. 28	2.20	3.20	0.28	0.48
(*)	----	5.20	----	0.46
Promedio	2.10	4.20	0.29	0.47

(*) Del estudio experimental.

Tabla 5.7 Propiedades mecánicas recomendadas para mampostería de adobe normal y estabilizado.

REGION ESTADO	Altiplano Desierto	Bajío	Calcareá Peninsular	Serrana	Tropical
AGS.	X				
B.C.N.	X				
B.C.S.	X				
CAH.			X		X
COAH.	X			X	
COL.				X	X
CHIH.	X			X	
CHIS.				X	X
DGO.	X			X	
GRO.				X	X
GTO.	X	X		X	
HGO.	X	X		X	
JAL.	X	X		X	X
MEX.	X	X		X	
NICH.	X	X		X	X
MOR.				X	X
NAY.				X	X
N.L.	X			X	
OAX.	X			X	X
PUE.	X			X	
Q. ROO.			X		X
S.L.P.	X	X		X	
SIN.					X
SON.	X				
TAB.					X
TAMS.				X	X
TLAX.	X			X	
VER.	X			X	X
YUC.			X		X
ZAC.	X			X	

Tabla 6.1 Regionalización climatológica de la República Mexicana.