



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA

Javier Adolfo Rodríguez Franco

Asesorado por: Dr. Edgar Virgilio Ayala Zapata

Guatemala mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE UN MODULO DE ADOBE PARA VIVIENDA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER ADOLFO RODRÍGUEZ FRANCO

ASESORADO POR DR. EDGAR VIRGILIO AYALA ZAPATA

AL CONFERÍRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Arrivillaga O.
EXAMINADOR	Ing. Ricardo Rodas Romero
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de febrero de 2004.

Javier Adolfo Rodríguez Franco

ACTO QUE DEDICO

A DIOS: Por haberme permitido lograr la meta deseada

A MIS PADRES: Mardoqueo Rodríguez Gaitan † y Judith Franco Paz
En especial a mi madre por su incalculable dedicación y apoyo durante todos estos años.

A MIS HERMANAS: Liza y Diana
A: Mi sobrina Julissa

A MIS FAMILIARES: Con cariño y respeto
A: Mis amigos y compañeros de estudio

A: La Facultad de Ingeniería

A: LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, fuente de toda sabiduría.

Al Doctor Edgar Virgilio Ayala Zapata, por sus enseñanzas y asesoría en el presente trabajo de graduación.

Al ingeniero Mario Corzo por su valiosa ayuda en la realización del ensayo.

A la familia Ortega Franco en especial a mi tía Amarilis Franco por su apoyo para que el presente proyecto se realizara.

Al Centro de Investigaciones de Ingeniería y al personal de la sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos.

A Carlos Padilla por su valiosa ayuda en la construcción del módulo ensayado.

A la Facultad de Ingeniería

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCION.....	XVII

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición del adobe.....	1
Materiales componentes del adobe.....	1
1.2.1 Arena.....	2
1.2.2 Limos.....	2
1.2.3 Arcillas.....	2
1.2.4 Fibras.....	2
1.2.5 Otros materiales.....	3
1.3 Fabricación de adobe.....	3
1.3.1 Fabricación manual de adobe.....	3
1.3.2 Fabricación mecánica.....	4
1.4 Propiedad mecánica del adobe.....	5
1.5 Sistema constructivo de adobes.....	6
1.5.1 Sistema constructivo de viviendas de adobe en Guatemala.....	6
1.6 Comportamiento sísmico en construcción de adobe.....	7

2. MARCO EXPERIMENTAL.

2.1	Ensayos preliminares.....	11
2.1.1	Ensayo a flexión.....	12
2.1.2	Ensayo a compresión.....	13
2.1.3	Ensayo de absorción capilar.....	14
2.1.4	Ensayo de compresión de mortero.....	15
2.1.5	Ensayo de suelo.....	18
2.1.6	Granulometría.....	19
2.1.7	Límites de Atterberg.....	20
2.1.8	Limite líquido.....	22
2.1.9	Limite plástico.....	24
2.2	Descripción del sistema propuesto.....	25
2.2.1	Selección de planta para módulo.....	25
2.2.2	Fabricación de adobes.....	27
2.2.3	Construcción de módulo.....	31

3. MONTAJE Y PROCEDIMIENTO

3.1	Montaje del experimento.....	39
3.2	Procedimientos del ensayo.....	44

4. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Análisis y discusión de resultados de los materiales.....	45
4.2	Análisis y discusión de resultados de los muros.....	46

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA PROPUESTO	
5.1 Ventajas.....	51
5.2 Desventajas.....	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	59
APÉNDICE.....	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Unidad de adobe antes de ensayo a flexión.....	12
2	Unidad de adobe después de ensayo a flexión.....	12
3	Cubo de adobe después de aplicada la compresión.....	13
4	Adobes en proceso de absorción.....	15
5	Moldes utilizados para ensayo de compresión de mortero.....	16
6	Cubos de mortero a los 7 días.....	16
7	Cubo de mortero ensayado a los 7 días.....	16
8	Cubos de mortero a los 28 días.....	16
9	Cubo de mortero ensayado a los 28 días.....	17
10	Muestras de suelo.....	18
11	Muestras en proceso de saturación.....	19
12	Material fino pasando por tamiz # 200, vía húmeda.....	20
13	Material en proceso de sedimentación.....	21
14	Copa casagrande.....	22
15	Planta propuesta 1.....	26
16	Planta propuesta 2.....	26
17	Planta propuesta 3.....	27
18	Esbeltez.....	28
19	Fabricación de adobe.....	29
20	Molde.....	30
21	Secado y apilado bajo techo.....	31
22	Colocación de puentes y zanjeo.....	33
23	Primera hilada.....	33

24	Contrafuertes.....	33
25	Levantado.....	34
26	Levantado, estructura existente al fondo.....	34
27	Levantado, galera.....	35
28	Levantado.....	35
29	Dintel empotrado en la mampostería de adobe.....	36
30	Vano terminado.....	37
31	Modulo terminado.....	38
32	Ubicación de deformómetros y de gatos hidráulicos en módulo.....	40
33	Instalación de gatos hidráulicos y platinas.....	41
34	Gatos hidráulicos apoyados en estructuras existentes.....	41
35	Instalación de deformómetros 1 y 2 a 0.25 m. del nivel de piso.....	42
36	Instalación de tubo para apoyo de los deformómetros 3 y 4 a 2.39 m. del nivel del piso.....	43
37	Instalación de deformómetros 3 y 4 a 3.39 m. del nivel de piso.....	44
38	Levantamiento de dintel.....	46
39	Falla en contrafuerte.....	47
40	Falla en contrafuerte.....	48
41	Falla en adobe.....	49
42	Planta acotada.....	83
43	Planta de distribución de muros y coordenadas.....	84
44	Muro 1 y 2 con vano.....	97
45	Muro 3 sin vano.....	99
46	Marco tectónico de Guatemala.....	103
47	Fallas parte media de América Central.....	104
48	Distribución de volcanes de América Central.....	105

TABLAS

I. Resumen de ensayo de absorción y flexión.....	65
II. Resumen de ensayo a compresión.....	65
III. Flexión y absorción muestra 1.....	66
IV. Flexión y absorción muestra 2.....	67
V. Flexión y absorción muestra 3.....	68
VI. Flexión y absorción muestra 4.....	69
VII. Flexión y absorción muestra 5.....	70
VIII. Ensayo a compresión en muestras de adobe.....	71
IX. Compresión de mortero (promedios).....	72
X. Compresión de mortero 7 y 14 días.....	73
XI. Compresión de mortero 28 días.....	74
XII. Granulometría arcilla color café oscuro.....	75
XIII. Límites de Atterberg arcilla color café oscuro.....	76
XIV. Granulometría arena limosa color café claro.....	77
XV. Límites de Atterberg arena limosa color café claro.....	78
XVI. Granulometría arena limo arcillosa color café.....	79
XVII. Límites de Atterberg arena limo arcillosa color café.....	80
XVIII. Rigidez.....	85
XIX. En sentido X.....	86
XX. En sentido Y.....	86
XXI. Centro de masa.....	87
XXII. Sentido X.....	90
XXIII. Sentido Y.....	91
XXIV. Momentos de volteo.....	92

XXV. Análisis final.....	92
XXVI. Muro 1 y 2 con vano.....	96
XXVII. Muro 3 sin vano.....	98
XXVIII. Lectura de deformómetros 1 y 2	98

LISTA DE SIMBOLOS

Kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro al cuadrado
Lb	Libra
Ft	Esfuerzo de flexión
P	Carga puntual tomada de la maquina universal
L	Luz entre apoyos
B	Base del adobe
h	Altura o espesor del adobe
Fc	Esfuerzo de compresión
A	Área de contacto
Ph	Peso húmedo
Ps	Peso seco
PN	Peso natural
L.P.	Límite plástico
L.L.	Límite liquido
%H	Porcentaje de humedad
PBH	Peso bruto húmedo
PBS	Peso húmedo seco
Pt	Peso de tara
K	Factor de corrección
N	Numero de golpes necesario para cerrar la ranura en la copa de casagrande
e	Esbeltez
θ	Deformación angular
f	Esfuerzo de corte

Ac	Área en la que actuará el esfuerzo de corte
R	Rigidez
Xcm, Ycm	Centro de masa
ey, ex	Excentricidades
Tpx	Momento de rigidez torsionante

GLOSARIO

Alumina	Formando en combinación con la sílice y otros cuerpos, los feldespatos y las arcillas.
Apisonador	Máquina para allanar y apretar el terreno.
Cohesión	Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí o la materia con la que están formadas.
Contrafuertes	Machón saliente en el parámetro de un muro, para fortalecerlo.
Dinámico	Relativo a la fuerza cuando un produce movimiento.
Esbeltez	Relación altura - espesor.
Homogeneidad	Compuesto cuyos elementos son de igual naturaleza o condición.
Plasticidad	Capacidad de un material para sufrir deformación plástica, y no elástica, antes de de su rotura.
Pulverulento	Polvoriento.

Rigidez	Relación de la carga soportada y la deformación producida a un elemento o un conjunto estructural.
Silicato	Grupo de minerales constituidos esencialmente de silicio y oxígeno, asociados a otros elementos, como aluminio, calcio, hierro, magnesio, sodio, potasio, etc. Son los minerales dominantes en la corteza terrestre.
Vanos	Parte del muro en que no hay apoyo para el techo o bóveda.

RESUMEN

Para el presente proyecto, se seleccionó, un diseño de vivienda mínima de adobe adaptable al área rural Posteriormente, en el Área de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se fabricaron adobes que sirvieron para la construcción de un módulo a escala natural.

Al módulo, se le construyeron contrafuertes en las esquinas, ya que una de las fallas mas comunes y peligrosas de las viviendas de adobe es el rompimiento de las mismas , se comprobó por medio de un ensayo a carga lateral, la importancia de este elemento en toda vivienda de adobe, se pudo observar al final del ensayo que el amarre de las esquinas permaneció intacto, dañándose en su lugar algunos adobes que conforman los contrafuertes.

El ensayo, consistió en la colocación de dos gatos hidráulicos apoyados a una estructura existente, se tomaron lecturas de deformación que sirvieron para realizar una evaluación teórica. Se realizaron ensayos de laboratorio a los materiales que se utilizaron para construir los adobes (granulometría, límites de atterberg), a los adobes (flexión, absorción, compresión) y al mortero (compresión de mortero a los 7, 14 y 28 días). Los resultados se compararon con estudios anteriores.

OBJETIVOS

General

Por medio de una evaluación teórica y experimental de un módulo de adobe a escala natural, obtener un diseño y sistema constructivo que llene requisitos estructurales, habitacionales, y de seguridad mínima.

Específicos

1. Dada la necesidad de seguir construyendo con adobe, proporcionar una guía de un modelo mejorado de vivienda de adobe.
2. Complementar estudios anteriores sobre sistemas constructivos de viviendas de adobe.
3. Brindar una solución económica y segura de vivienda a personas de escasos recursos.

INTRODUCCIÓN

El Problema de la vivienda en Guatemala se ha presentado en forma similar que en otros países del área, como consecuencia del gran aumento de población y de la pobreza, especialmente, en zonas rurales y suburbanas, debido a esta situación ha existido una limitación en el uso de elementos tradicionales como el concreto reforzado, siendo la construcción de viviendas con adobe una solución económica y viable, pero insegura si no se utiliza un adecuado sistema constructivo.

En este trabajo de graduación se realizará un ensayo a carga lateral a un módulo de adobe a escala natural, la construcción de este módulo se realizará tomando en cuenta estudios anteriores de adobes, sistemas constructivos y viviendas de adobe. El módulo será sometido a dos cargas laterales por medio de dos gatos hidráulicos colocados en uno de los lados cortos del módulo, la presión de las dos cargas laterales será incrementada para obtener lecturas de deformación de los muros, con los datos obtenidos de esta prueba experimental, se hará un análisis teórico y del comportamiento del módulo, estos análisis serán comparados con estudios anteriores para lograr obtener mejores conclusiones.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición del adobe

El adobe, es el resultado de hacer una mezcla homogénea de tierra limo arcillosa arenosa, la cual junto con pino, paja, u otras fibras vegetales más agua y que, vaciada en moldes rectangulares pasa, posteriormente, a ser el adobe en si. (Ref. 1)

Es una masa de tierra mezclada a veces con fibras, moldeado en forma prismática y secado al aire, que se emplea en la fabricación de paredes o muros. (Ref. 1)

1.2 Materiales componentes del adobe

Estudios realizados, revelan que en la elaboración de adobes se emplean materiales de tierra que deben contener determinados porcentajes de arena, arcilla y limo, básicamente. Adicional a estos elementos, también se agregan fibras como agujas de pino seco, paja, agua y otros.

1.2.1 Arena

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y cuyas partículas varían entre 2 mm. y 0.05 mm. de diámetro. Las arenas, estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla. (Ref. 2)

1.2.2 Limos

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0.05 mm. y 0.005 mm. (Ref. 2)

1.2.3 Arcillas

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.002 mm. y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratada, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar. (Ref. 2)

1.2.4 Fibras

Un elemento básico y tradicional en la composición del adobe, es la fibra larga, cuya función es evitar el erosionamiento por viento o lluvia. Entre estas fibras utilizadas, existen las pajas secas, fibras de hojas de palmera, agujas de pino seco, etc. (Ref. 3)

1.2.5 Otros materiales

Entre otros materiales tenemos el talpetate que es un material pulverulento, de color café claro o café oscuro, compuesto de arcilla, limo y arena en proporciones variables, con un cementante que puede ser la misma arcilla o el carbonato de calcio. Según sea el componente predominante el talpetate se suele llamar arcilloso, limoso, arenoso, arcillo limoso si es que predomina la arcilla, areno limoso si predomina la arena, limo arenoso si predomina el limo, y así sucesivamente. (Ref. 1)

Para mejorar las cualidades físicas y mecánicas de los adobes, se han realizado experimentos con químicos que tienen como objetivo mejorar la cohesión interna de sus partículas y servir como impermeabilizante.

A estos químicos se les conoce como estabilizadores y entre ellos encontramos: asfalto, cemento y cal.

1.3 Fabricación de adobe

1.3.1 Fabricación manual de adobe

Se debe empezar mezclando los materiales, se agrega agua a criterio del fabricante, hasta que la masada este totalmente humedecida, dejándola así durante 24 horas para que se sature, posteriormente se toma una bachada de la masada original, con la cual se empieza a trabajar agregando paja y agua según experiencia del fabricante, hasta lograr una mezcla.

Luego se realiza el moldeado en una superficie plana y limpia, después de quitar el molde se deja el adobe de cinco a siete días secando en un lugar con bastante ventilación pero evitando los rayos solares; luego se colocan de canto para mejorar la circulación del aire y así se produzca un secado uniforme a las tres semanas promedio ya que esto puede variar, por condiciones de clima y ventilación, se verifica el secado. Ya secos los adobes se pueden cargar, apilar y almacenar en un lugar protegido.

1.3.2 Fabricación mecánica

Fabricación con máquinas manuales o automáticas: este proceso requiere un equipo mecánico de mezclado, que permite obtener bloques mas densos, mas fuertes, y mas estables que los obtenidos con una mezcla manual.

Posteriormente, se pasa a la fase de moldeo, para lo cual se emplea una prensa manual o automática que permite una compresión elevada de la tierra en un molde.

Los bloques producidos pueden ser comprimidos a presiones de 35 kg/cm², pudiéndose obtener hasta 1,000 unidades en 8 horas de trabajo.

Fabricación con apisonador: es una mezcla de finos y arena, cuya proporción ha sido diseñada a partir de estudios granulométricos, con un contenido óptimo de humedad tomado a partir de la prueba de compactación (proctor).

La fabricación de estos bloques requiere moldes de madera dura, cepillada y que sean armables por medio de pines, para que tengan una buena durabilidad y un buen desencofrado.

Los moldes deben estar limpios, además se les debe rociar aceite quemado arena fina o un trapo húmedo para que los adobes no se peguen en los moldes, en una superficie plana, sólida y superficialmente dura, para evitar vibraciones o hundimientos a la hora de apisonar.

La mezcla se echa en el molde y se apisona por capas, dos o tres capas, de igual altura cada capa. Para el apisonado se utilizan dos tipos diferentes de apisonadores: uno grande de aproximadamente 15 lb. y de dimensiones de 20 x 20 cm, con el cual se le dan 30 golpes a cada capa. Se utiliza otro apisonador mas pequeño para apisonar las esquinas y el borde que no se pudieran apisonar por las limitaciones del tamaño que posee el otro apisonador. Al terminar de compactar la última capa se debe quitar el excedente de material, utilizando una regla de madera. En seguida se procede a desarmar los moldes para sacar los adobes y quedan listos para el proceso de secado y curado. (Ref.1)

1.4 Propiedades mecánicas del adobe

Para determinar las propiedades mecánicas del adobe se deben realizar los siguientes ensayos:

Ensayo en unidades:

- Ensayo de flexión
- Ensayo de compresión

Ensayo en prismas o muretes:

- Ensayo de flexión
- Ensayo de compresión
- Ensayo de corte diagonal

Ensayo en muros a escala natural:

- Ensayo de flexión
- Ensayo de corte directo
- Ensayo de compresión

1.5 Sistema constructivo de adobes**1.5.1 Sistema constructivo de viviendas de adobe en Guatemala**

En muchos de los casos no existe otra alternativa que construir viviendas a base de tierra o no construir nada.

Las construcciones a base de adobe disminuyeron en las zonas afectadas por el terremoto del 4 de febrero de 1976 y fueron sustituidas por construcciones con mejores propiedades mecánicas, aunque probablemente de menor vida útil en condiciones independientes del fenómeno sísmico. Pero en zonas de alta actividad sísmica, como por ejemplo en las áreas que se verían afectadas por sismos procedentes de la falla del Polochic que en aquella oportunidad no fueron afectadas, la construcción deficiente a base de adobe constituye la mayoritaria y es de suponerse que en futuros terremotos causará daños similares.

1.6 Comportamiento sísmico en construcciones de adobe

La corteza terrestre está dividida en alrededor de 20 placas que se desplazan sobre el manto de la tierra e interaccionan entre sí. En las zonas de encuentro de dichas placas se disipa la mayor parte de la energía sísmica mundial, sin que esto signifique que en otros puntos del globo puedan producirse fallas de la corteza que originen terremotos.

Existe, por lo tanto, una geografía sísmica que define zonas de mayor o menor sismicidad y otras de sismicidad prácticamente nula.

Producido un sismo, digamos que por un fallo de la corteza, la energía de deformación acumulada en el proceso previo, se disipa violentamente y se transmite en forma de ondas hasta la superficie. El tren de ondas que llega a cada construcción es tremendamente complejo y aleatorio, por ser el resultado de una suma de ondas de superficie y de cuerpo que llegan directamente o por reflexiones, que varían mucho con las características de la trayectoria (material, estratos, etc.) y del mecanismo focal del sismo.

Simplificando, es posible pensar que en la base de las edificaciones se produzca un movimiento dinámico, que produce vibraciones en todos los elementos de los edificios.

En ingeniería, es posible estimar los niveles de amplificación de estas vibraciones en términos de desplazamientos, velocidades y aceleraciones, los que sirven para realizar diseños adecuados.

Como consecuencia de lo anterior, es posible afirmar que las estructuras deben estar preparadas para este tipo de movimientos y que esto significa conocer primero el comportamiento dinámico de las estructuras, para luego efectuar un diseño correcto.

El comportamiento sísmico de construcciones de adobe de muros encontrados, es más complejo aún. En términos prácticos, no es posible idealizar su comportamiento. Como el material es muy frágil, la vibración desordenada de los muros, cada uno de distintas dimensiones y condiciones de apoyo, produce esfuerzos de flexión y de corte que generalmente se concentran en los encuentros de los muros.

Producidas las fisuras verticales en los encuentros de muros, cada uno de ellos vibra aisladamente como en el caso de los muros lineales, con la diferencia que normalmente se desploman hacia fuera por el interaccionar entre ellos.

Secundariamente, también se producen fisuras de corte, de tipo diagonal, cuyas rutas críticas van siguiendo preferencialmente las esquinas de las ventanas u otros vanos.

El conocer estos tipos de falla, es fundamental para operar en los trabajos de reconstrucción y también para las nuevas obras. El tratamiento especial de los encuentros o esquinas, así como el de los vanos es fundamental.

Otra zona crítica en las construcciones de adobe, es la del encuentro entre muros y techos.

El peso de los techos concentra empujes horizontales en la parte superior de los muros cuando ocurre un sismo. Esto produce fallas parciales o volteo de los mismos, que a su vez arrastra la caída de los techos.

2. MARCO EXPERIMENTAL

2.1 Ensayos preliminares

2.1.1 Ensayo a flexión

En este ensayo, se le inducen esfuerzos compresivos sobre una sección transversal de la unidad y en la otra parte se inducen esfuerzos tensivos.

Se realizó esta prueba a flexión a cinco unidades de adobe tomadas al azar del lote de 1,000 adobes fabricados.

Se colocó un adobe entero sobre dos apoyos de sección circular, separados a una distancia de 34 cm, aplicando seguidamente una carga central por medio de una barra de acero redondeado. Los resultados, aparecen en el apéndice 1.

Fórmula: $F_t = 3PL / 2bh^2$

Donde;

F_t = Esfuerzo de flexión

P = Carga puntual tomada de la máquina universal

L = Luz entre los apoyos

B = Base del adobe

h = Altura o espesor del adobe

Figura 1. Unidad de adobe antes de ensayo a flexión

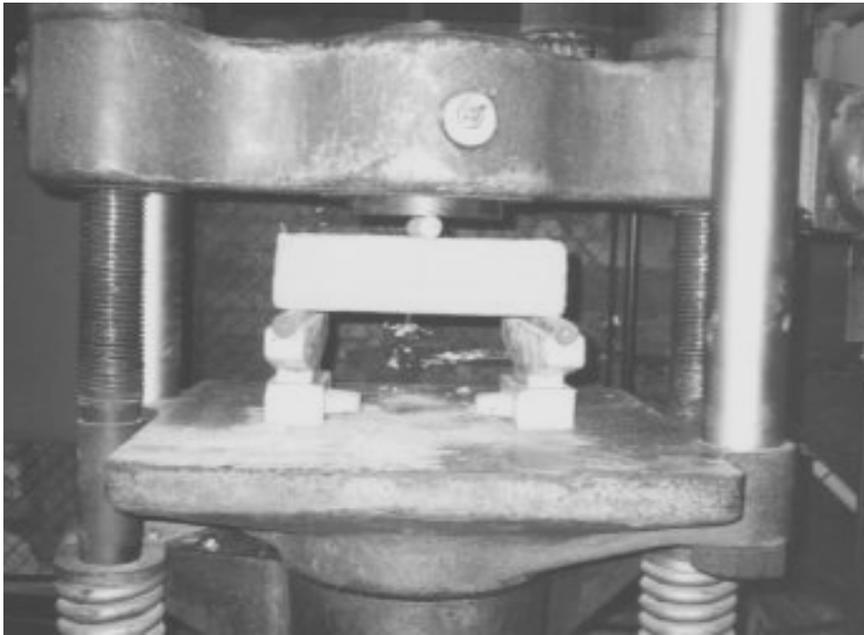
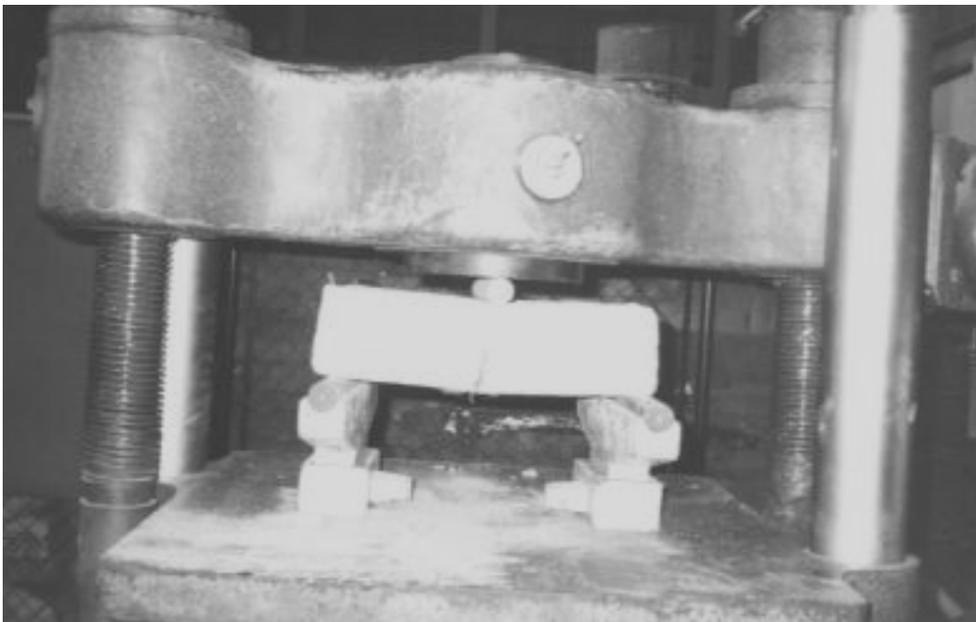


Figura 2. Unidad de adobe después de ensayo a flexión



2.1.2 Ensayo a compresión

El objetivo de este ensayo, es para determinar la capacidad que tiene el material para soportar cargas verticales.

De los pedazos de cada muestra ensayada de flexión, se cortaron piezas cúbicas de, aproximadamente 10 cms. × 10 cms. × el espesor de un adobe.

Fórmula: $F_c = P / A$

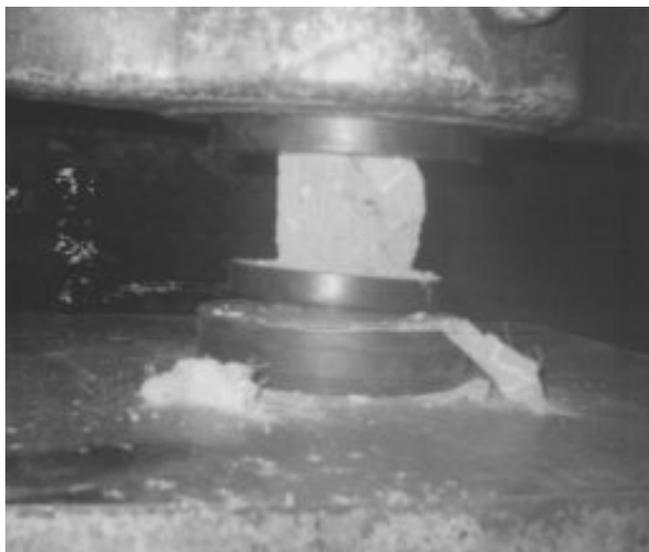
Donde;

F_c = Esfuerzo a compresión

P = Carga de ruptura

A = Área de contacto

Figura 3. Cubo de adobe después de aplicada la compresión



2.1.3 Ensayo de absorción capilar

El porcentaje de absorción es directamente proporcional al porcentaje de finos y al volumen de vacíos. Como podrá deducirse, la absorción es muy dañina para el adobe y habría que prestar especial atención a las viviendas que fueran construidas en zonas lluviosas para evitar su deterioro. (Ref. 3)

Se tomaron 5 adobes de un lote de 1,000 al azar para realizar este ensayo, se pesaron las unidades para obtener el peso natural, posteriormente se colocaron en un horno por 24 horas para obtener el peso seco. Luego fueron colocados en una bandeja manteniéndoles una película constante con agua a una profundidad de, aproximadamente, 3mm., durante 1 hora. Después de una hora dentro del agua, se procedió a medir la altura de saturación alcanzada en ese lapso de tiempo. Luego, se pesaron para obtener así su peso húmedo.

Fórmula: % Absorción = $(Ph - Ps) / Ps \times 100$

% Humedad = $(PN - Ps) / Ps \times 100$

Donde;

Ph = Peso húmedo

Ps = Peso seco

PN = Peso natural

Figura 4. Adobes en proceso de absorción



2.1.4 Ensayo de compresión de mortero

Se hicieron 9 cubos por medio de unos moldes de 2" x 2" x 2", se le aplico el ensayo de compresión a 3 cubos a la edad de 7 días, 3 cubos a la edad de 14 días y 3 cubos a la edad de 28 días. (Ver apéndice 1)

Fórmula: $F_c = P / A$

Donde;

F_c = Esfuerzo a compresión

P = Carga de ruptura

A = Área de contacto

Figura 5. Moldes utilizados para ensayo de compresión de mortero



Figura 6. Cubos de mortero a los 7 días

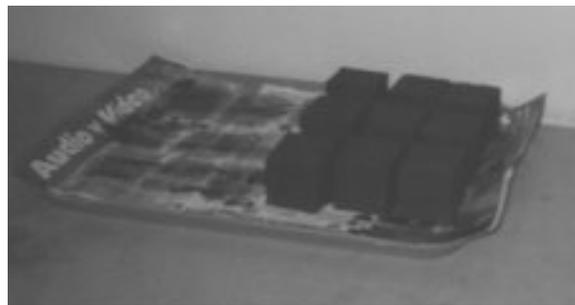


Figura 7. Cubo de mortero ensayado a los 7 días



Figura 8. Cubos de mortero a los 28 días

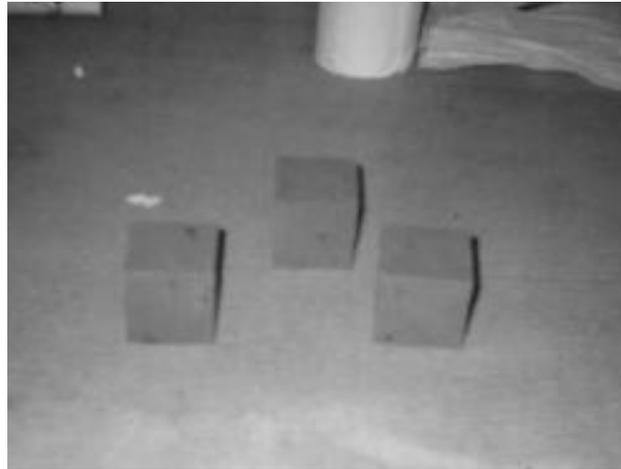
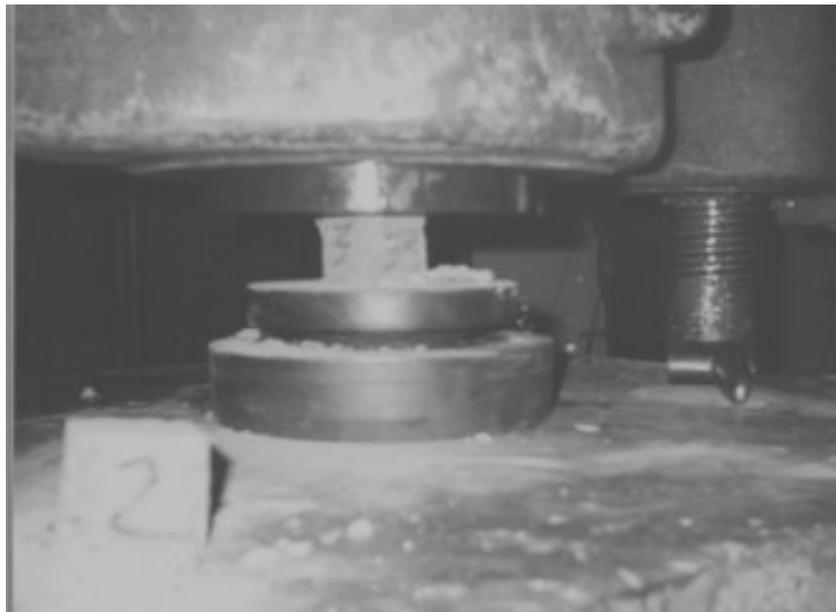


Figura 9. Cubo de mortero ensayado a los 28 días



2.1.5 Ensayo de suelos

Se realizaron ensayos de granulometría, y límites de atterberg a tres muestras diferentes: arcilla color café oscuro, arena limosa color café claro, y arena limo arcillosa color café claro que es una mezcla que se realizó en campo de las dos anteriores, con un 25 % de arcilla color café oscuro y un 75 % de arena limosa color café claro, siendo esta la composición usada para la fabricación de los adobes y del mortero.

Figura 10. Muestras de suelo



2.1.6 Granulometría

El análisis granulométrico sirve para determinar la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

Se trabajó con tres muestras: 550 gramos de arcilla color café oscuro, 850 gramos de arena limosa color café claro, 850 gramos de arena limo arcillosa color café claro; se procedió a secar las muestras dejándolas 24 horas en el horno, se tomaron las lecturas de peso seco; se procedió a saturarlas dejándolas en recipientes y cubriéndolas de agua por 24 horas con el objeto de deshacer los grumos; se lavaron las muestras pasándolas por un chorro a baja presión y haciendo pasar los finos por el tamiz # 200, quedándonos con el material que no paso por el tamiz # 200, se procedió a secar las muestras dejándolas 24 horas en el horno, luego se pasaron por los tamices 1 1/2", 3/4", # 4, # 10, # 40, y luego se calcularon los porcentajes de grava, arena, y finos. (Ver apéndice 1)

Figura 11. Muestras en proceso de saturación



Figura 12. Material fino pasando por tamiz # 200, vía húmeda



2.1.7 Límites de Atterberg

Al igual que en el análisis granulométrico se trabajo con tres muestras distintas, que fueron: arcilla color café oscuro, arena limosa color café claro, la arena limo arcillosa color café claro.

Se tomaron unos 850 gramos de la muestra, se procedió a saturar la muestra dejándola en un recipiente cubierta de agua por 24 horas con el objeto de disolver los grumos; luego la muestra se lavo colocándola en el tamiz # 40 haciéndola pasar por un chorro a baja presión con el objeto de utilizar el material que pase por el tamiz # 40. El material que no paso por el tamiz # 40 se desecho ya que en este ensayo únicamente interesan los finos.

El material que pasó por el tamiz # 40 se dejó reposar en un bote de 5 galones por 48 horas con el objeto de sedimentar el material, luego se retiró el agua quedando un material pastoso en el fondo, que se procedió a secar en el horno por aproximadamente 2 horas; este procedimiento se hizo con cada muestra. Teniendo las tres muestras secas se realizó el ensayo de límite plástico y límite líquido.

Figura 13. Material en proceso de sedimentación



2.1.8 Límite líquido

Realizado el proceso anterior, se colocaron en un recipiente de porcelana unos 200 gramos de material seco y con un apisonador se hizo una mezcla de consistencia suave agregando una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

Se tomó una parte del material, se colocó en la copa de Casagrande, formando una torta alisada de un espesor de 1 cms. en la parte de máxima profundidad.

El material colocado en la copa de Casagrande se dividió en la parte media en dos porciones, utilizando para ello un ranurador. Hecha la ranura, se accionó la copa de Casagrande, se contó el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre a 1.27 cms.

Figura 14. Copa Casagrande



Cuando se obtuvo un valor consistente del número de golpes entre los 15 y 35 golpes, se tomaron las dos muestras separadas de la copa de Casagrande, se colocaron en el horno por aproximadamente 6 horas, se obtuvo el porcentaje de humedad de cada una, se promediaron estos valores y se hizo uso de la fórmula para el límite líquido, este procedimiento se realizó para las tres muestras: la arcilla color café oscuro, arena limosa color café claro, y la arena limo arcillosa color café claro.

Cabe mencionar que el límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia de estado líquido al plástico. (Ver apéndice 1)

$$L . L . = \% H \times k$$

$$\% H = ((PBH - PBS) / (PBS - Pt)) \times 100$$

$$k = (N / 25) ^{0.121}$$

Donde;

L . L . = Límite líquido

% H = Porcentaje de humedad

PBH = Peso bruto húmedo

PBS = Peso bruto seco

Pt = Peso de tara

k = Factor de corrección

N = número de golpes necesario para cerrar la ranura en la copa de Casagrande

2.1.9 Limite plástico

El límite plástico es el contenido de humedad, expresado en porcentaje respecto al peso seco de la muestra secada al horno para el cual los suelos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

Para determinar el límite plástico se hizo uso del material que, mezclado con agua, sobró de la prueba del límite líquido. Se tomó una pequeña bola de material, se hicieron filamentos rodillándose en una placa de vidrio; cuando se obtuvo un rompimiento de los filamentos en un diámetro de 1/8", se colocaron unos ocho filamentos en una tara, se colocaron en el horno por aproximadamente 6 horas, este procedimiento se hizo con el propósito de obtener el porcentaje de humedad correspondiente al límite plástico, esto se realizó con las tres muestras: la arcilla color café oscuro, arena limosa color café claro, y la arena limo arcillosa color café claro. (Ver apéndice 1)

$$L . P . = \% H$$

$$\% H = ((PBH - PBS) / (PBS - Pt)) \times 100$$

Donde;

L . P . = Limite plástico

% H = Porcentaje de humedad

PBH = Peso bruto húmedo

PBS = Peso bruto seco

Pt = Peso de tara

2.2 Descripción del sistema propuesto

2.2.1 Selección de planta para modulo

En Guatemala, por su clima variado, cambia la forma de construir, desde una habitación que permite la circulación de aire en zonas calidas, hasta la típica vivienda cerrada de adobe en el altiplano, que constituye un eficiente resguardo a las inclemencias del clima en zonas frías.

Para realizar el diseño del modulo a ensayar se tomaron en cuenta criterios como:

- En la mayoría de viviendas de adobe el baño se ubica independiente de la casa normalmente en el patio.
- El comedor existe en el corredor, de tal manera que la vivienda mínima para ellos puede constar únicamente de dos ambientes área de dormir y área de cocina.

De los siguientes diseños, la planta 1 (figura 15) no se tomó en cuenta debido a que no existe una eficiente circulación de aire en la vivienda, además, de ser un diseño poco representativo, sin embargo, el diseño de la planta 2 (figura 16), es una vivienda típica de vivienda rural de adobe, debido a esto, se tomó una sección entre los ejes 1 y 2, A y B, acomodando la medida entre el eje 1 y 2 a una estructura existente para apoyar los dos gatos hidráulicos, asimismo se le agregaron contrafuertes en las esquinas (figura 17).

Figura 15. Planta propuesta 1

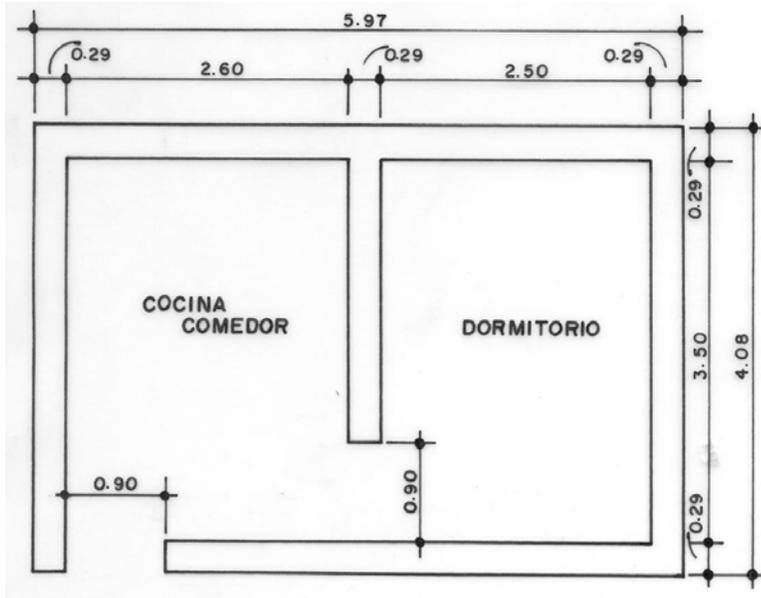


Figura 16. Planta propuesta 2

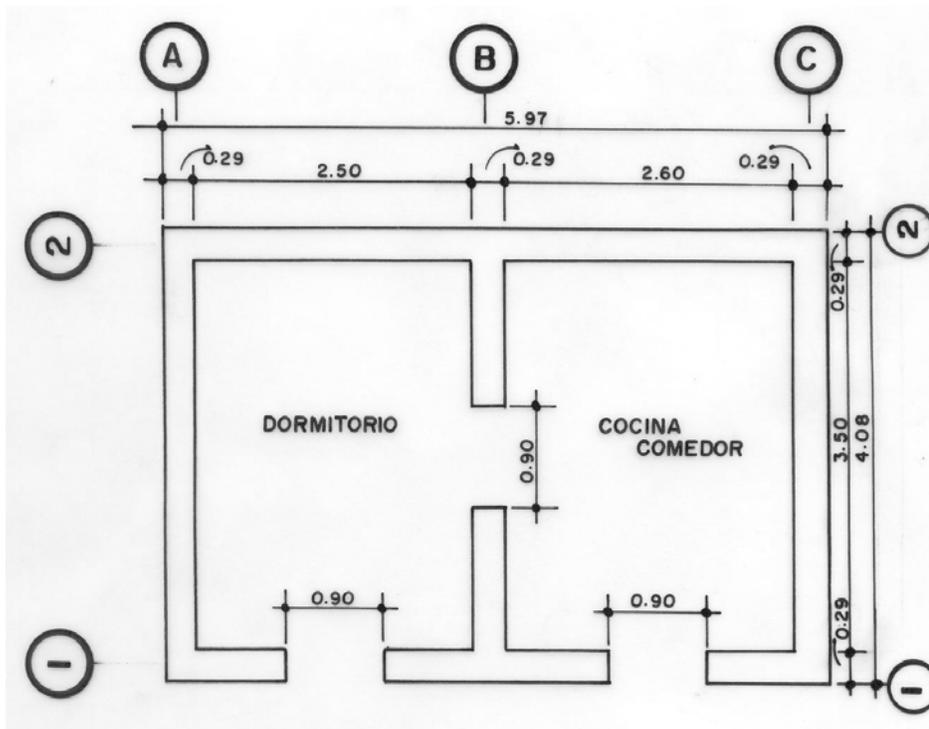
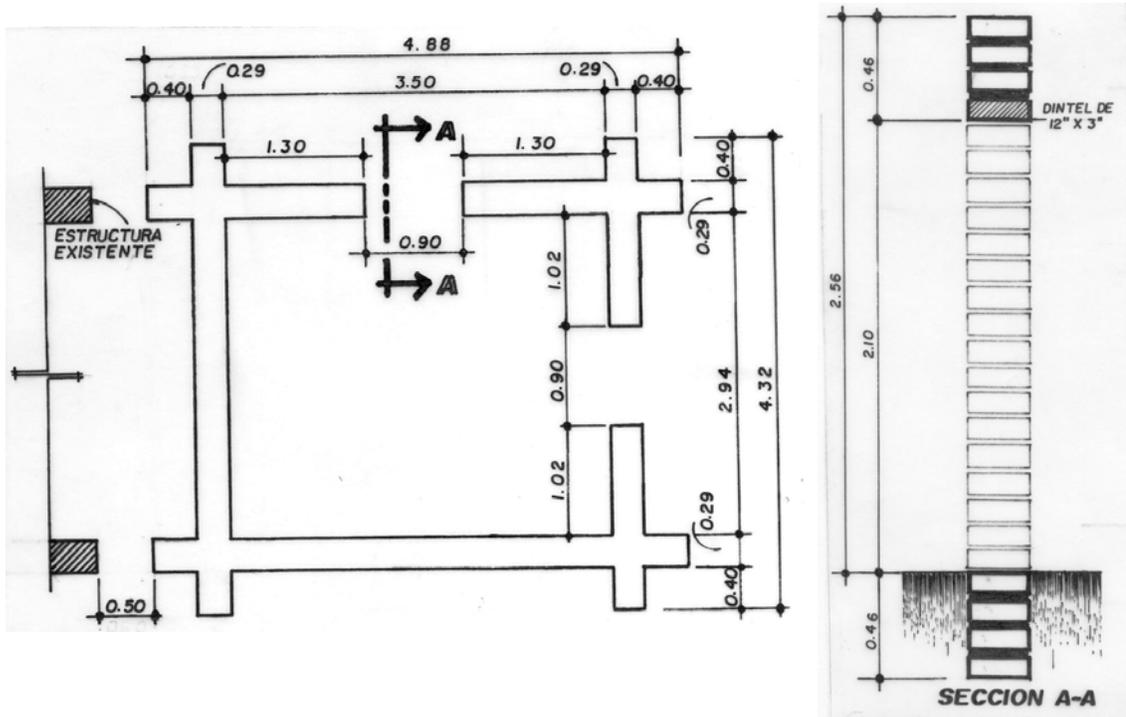


Figura 17. Planta propuesta 3



2.2.2 Fabricación de adobes

La fabricación de los adobes se llevo a cabo en el área de Tecnología De Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se fabricaron 1,000 unidades. Se definieron las dimensiones de los adobes tomando en cuenta estudios anteriores sobre esbeltez (Ref. 4) en esta investigación se obtuvo una zona confiable de esbeltez entre 0.33 y 0.5.

Figura 18. Esbeltez

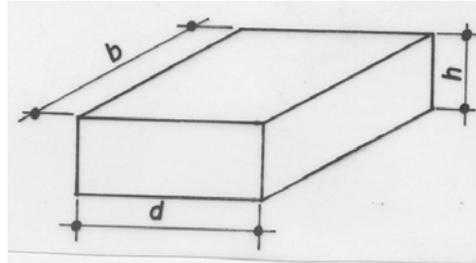
Formula:

$$e = h/d$$

Donde;

$d < \text{o igual a } b$

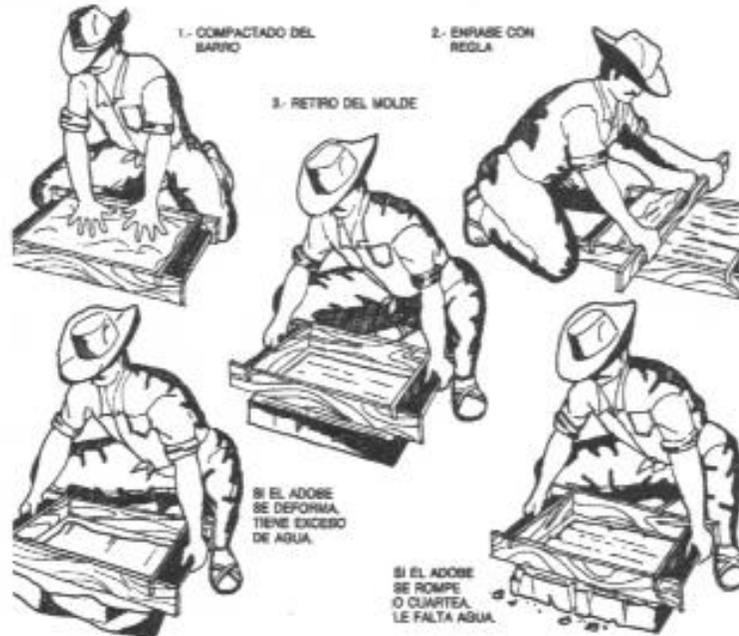
$e = \text{esbeltez}$



Las dimensiones de los adobes fabricados es de 10 cm × 29 cm × 40 cm lo que da una esbeltez de 0.34, que esta dentro del rango recomendado.

El material utilizado para la fabricación de los adobes fue un talpetate (arena limosa color café claro), traído de Villa Nueva, y arcilla color café oscuro, extraída de área de Tecnología de Materiales y Sistemas constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería. Para definir las proporciones a utilizar en la fabricación de los adobes, se fabricaron varios adobes con distintas proporciones de talpetate (arena limosa color café claro) y arcilla color café oscuro; siendo la proporción de 75 % de talpetate (arena limosa color café claro) y 25 % de arcilla color café oscuro, la que logro mejores resultados y finalmente la proporción utilizada para la fabricación de los adobes y del mortero, conjuntamente a la mezcla para la elaboración de los adobes se le adiciono pino seco no así al mortero.

Figura 19. Fabricación de adobes



El secado, se realizó bajo techo y con buena ventilación, el tiempo de secado antes de apilarlos fue de 5 días, después de haberlos apilado, se siguió el proceso de secado por 3 semanas antes de emplearlos.

El motivo de haber escogido hacer los adobes en el área de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería fue para tener más homogeneidad en los adobes.

El equipo que se utilizó fue:

- Azadón
- Pala
- Molde

Además de necesitar un área techada ventilada y con abundante agua.

Figura 20. Molde

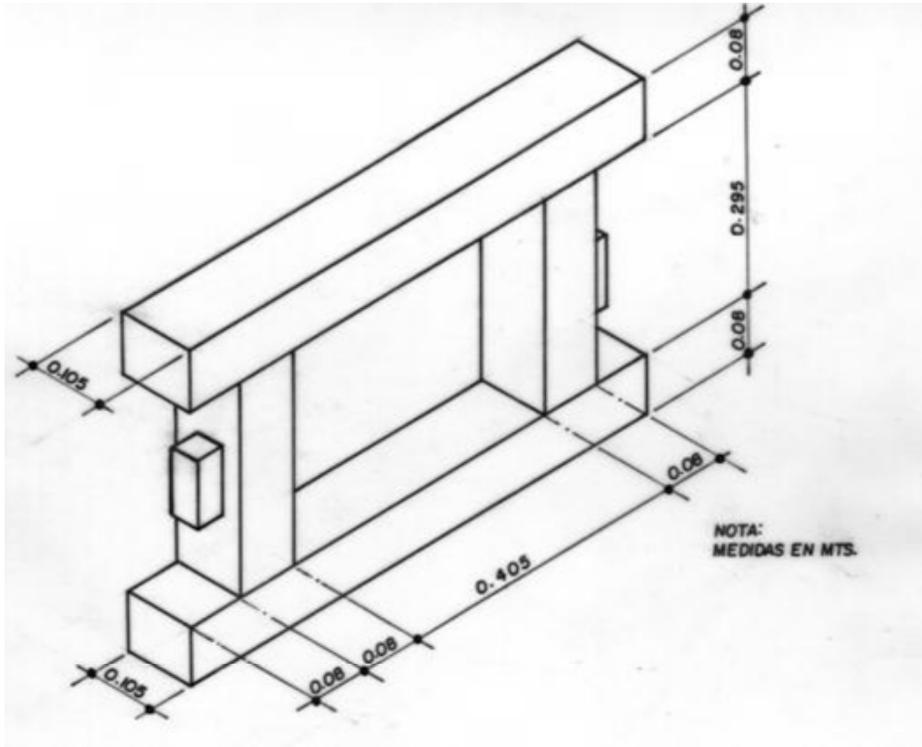


Figura 21. Secado y apilado bajo techo



2.2.3 Construcción de módulo

Debido a las condiciones de invierno, se instaló una galera, para la protección del módulo a construirse (figura 27)

El terreno elegido para construir el módulo fue a un costado de una estructura existente con el objeto de apoyar los gatos hidráulicos (figura 22,26), posteriormente, se realizó la limpieza del terreno y la colocación de puentes de madera para poder hacer la nivelación y trazo de la zanja. El ancho de la zanja fue de 0.70 m. (figura 22)

Al módulo de adobe no se le construyó cimiento, ni sobrecimiento u otro tipo de cimiento superficial, en su lugar, 4 hiladas de adobe quedaron abajo del nivel de piso; esto se debió a que para este ensayo necesitábamos una mejor adherencia y un mejor empotramiento al suelo; y no existiera ningún deslizamiento en la unión del cimiento o sobrecimiento cuando se aplicaran las cargas laterales al modulo.

Figura 22. Colocación de puentes y zanjeo, estructura existente al fondo



Figura 23. Primera hilada



Figura 24. Contrafuertes



Figura 25. Levantado



Figura 26. Levantado, estructura existente al fondo



Figura 27. Levantado, galera



Figura 28. Levantado



En una construcción de adobe, uno de los principales objetivos, es dejar el menor número de vanos posibles, cumpliendo siempre con requisitos mínimos de iluminación y ventilación. Los vanos para puertas y ventanas debilitan la estabilidad de los muros. Durante el sismo se crean grietas diagonales desde las esquinas y sobre los dinteles grietas horizontales.

Los dinteles requieren ser empotrados por lo menos 50 cm. En la mampostería de adobe, para obtener una buena traba. (Ref. 1)

Figura 29. Dintel empotrado en la mampostería de adobe



Figura 30. Vano terminado



Cabe mencionar que los adobes se transportaron aproximadamente 50 m. del lugar donde se encontraban apilados asta el lugar donde se construyó el módulo. 60 % de los adobes fueron transportados en carretas y 40 % en vehículo, desechando los adobes que se rompieron en el manipuleo que fue un aproximado de 5 %

Figura 31. Modulo terminado



3. MONTAJE Y PROCEDIMIENTO

3.1 Montaje del experimento

Equipo utilizado:

- Dos gatos hidráulicos de 10 toneladas
- Una bomba hidráulica manual
- Cuatro deformómetros
- Cuatro platinas de acero
- Cuatro tubos metálicos

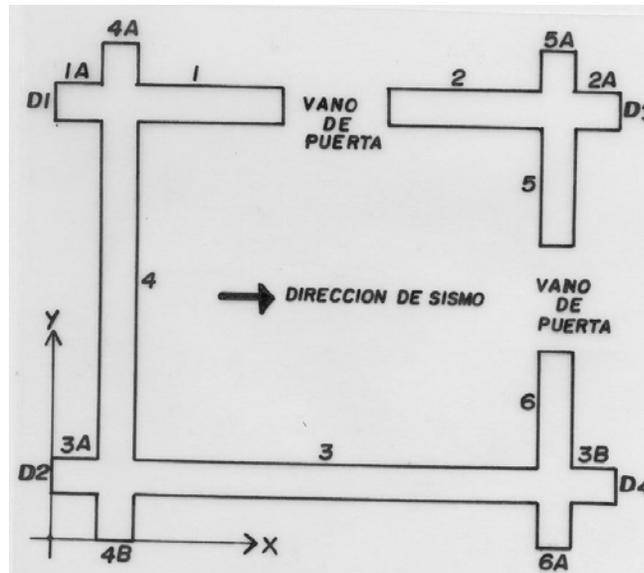
Herramientas:

- Pala
- Barreta
- Martillo
- Alambre de amarre
- Tenazas
- Sacatierra
- Machete

Para realizar el ensayo al módulo, se construyó aledaño a una estructura existente, se dejaron 50 cms, de separación entre dicha estructura y los contrafuertes, para la instalación de los gatos hidráulicos.

Se colocaron 4 tubos metálicos, dos pegados a la estructura existente para apoyar los gatos hidráulicos y dos para apoyar los deformómetros 3 y 4.

Figura 32. Ubicación de deformómetros y de gatos hidráulicos en módulo



Donde;

D1, D2 = Ubicación de deformómetros 1 y 2 a 0.25 mts. del nivel de piso y colocación de gatos hidráulicos en contrafuertes a 2.39 mts. del nivel de piso.

D3, D4 = Ubicación de deformómetros 3 y 4 a 2.39 mts. del nivel de piso

Se colocaron platinas metálicas entre los gatos hidráulicos (figura 33), con el objeto de evitar el contacto directo del pistón del gato hidráulico con el adobe y evitar su destrucción al aplicarle carga.

Figura 33. Instalación de gatos hidráulicos y platinas



Figura 34. Gatos hidráulicos apoyados en estructura existente



Dos de los deformómetros **D1** y **D2** (ver figura 32 y 35) se colocaron a 0.25 mts del nivel de piso con el objeto de detectar algún tipo de volteo y de verificar que el modulo haya trabajado estructuralmente al aplicarle las cargas, mientras que los dos deformómetros restantes **D3** y **D4** (ver figura 32 y 37) se colocaron en los contrafuertes opuestos a los que recibieron la carga (ver figura 32) a 2.39 mts del nivel del suelo, para obtener lecturas de deformación.

Figura 35. Instalación de deformometro 1 y 2 a 0.25 mts. del nivel de piso



Figura 36. Instalación de tubos para apoyo de los deformómetros 3 y 4 a 2.39 m. del nivel de piso



Figura 37. Instalación de deformometro 3 y 4 a 2.39 mts. del nivel de piso



3.2 Procedimiento de ensayo

Se aplicó una presión inicial a cada gato hidráulico de 25 kg/cm^2 , subiéndola en intervalos de 25 kg/cm^2 , hasta llegar a una presión de 100 kg/cm^2 , 120 kg/cm^2 , y 130 kg/cm^2 , donde la carga ya no subió; se obtuvieron lecturas de deformación para cada una de las cargas aplicadas. (las lecturas de deformación se presentan en el apéndice 2)

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y discusión de resultados de los materiales

El promedio de la resistencia a flexión de las 5 unidades ensayadas fue de 2.10 Kg/cm², siendo más bajo que el recomendado por la ref. 1, que es de 3.5 kg/cm².

El promedio de la resistencia a compresión de las 5 unidades ensayadas fue de 5.54 kg/cm², siendo mucho menor que el recomendado por la ref. 1, que es de 14 kg/cm².

El porcentaje de absorción fue de 16.21 %, de un promedio de 5 unidades, y el recomendado por la ref. 1, es de 18 % a 21 %, promedio de 5 unidades.

El material utilizado para hacer el mortero fue el mismo que se utilizó para fabricar los adobes, teniendo más resistencia a la compresión el mortero que los adobes, la resistencia a compresión del mortero a los 7 días fue de 5.01 kg/cm², 14 días 26.95 kg/cm², 28 días 25.40 kg/cm².

En la fabricación de adobes puede variar la granulometría, debido a la diversidad de material. En este caso se obtuvo un 44.1 % de finos, 52.1 % de arena, y un 3.8 % de grava.

Se obtuvo un índice plástico de 11.5 %, siendo menor que el recomendado por la ref.1 que se encuentra en un rango entre 8 % y 10 %.

4.2 Análisis y discusión de resultados de los muros

Una de las fallas más comunes en viviendas de adobe es en los vanos, la producida entre el dintel y el mortero como se puede observar en la figura 38, existió un levantamiento del dintel de aprox. 1.5 cm, cuando se aplicó una presión de 130 kg/cm² a cada gato hidráulico, esto debido a la poca adherencia.

Figura 38. Levantamiento de dintel



La falla más común en una vivienda de adobe cuando ocurre un sismo es la producida cuando el amarre de las esquinas se desprende, esto se pudo comprobar en una visita realizada al departamento de Jutiapa a municipios afectados por el terremoto de El Salvador en enero de 2001, como Jerez, Yupiltepeque, y Atescatempa, viviendas que son habitadas aun teniendo daños severos.

Como se puede observar en la figura 39, 40 los daños que sufrieron los contrafuertes después del ensayo.

Figura 39. Falla en contrafuerte



Figura 40. Falla en contrafuerte



Como se puede apreciar en la figura 41, cuando el adobe soportó flexión y compresión existió un descascaramiento, contrario al mortero que si lo soportó.

Figura 41. Falla



Se realizó una comparación entre el módulo ensayado hecho a base de caña de castilla y adobe de la ref.3 y se pudo comprobar que el presente ensayo duplicó la resistencia.

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA PROPUESTO

5.1 Ventajas

La solución de construcción con tierra no tiene alternativa viable por su doble aspecto: económico y de protección climática (bajas temperaturas en la noche y sol durante el día). El adobe trabaja como un acumulador termico de doble dirección, que conserva la temperatura interior relativamente uniforme.

Permite la incorporación técnica de contrafuertes, los cuales dan mayor rigidez y seguridad a la construcción.

Simplicidad de ejecución

Economía

Aislamiento acústico

Producción sin consumo de energía

5.2 Desventajas

Durabilidad (erosión, humedecimiento, etc.)

Fragilidad frente a desastres naturales (sismos e inundaciones)

Disminución de los aspectos efectivos debido al grosor de los muros

Aceptabilidad social

CONCLUSIONES

1. Para elaborar adobes, es necesario realizar pruebas con proporciones diferentes de materiales, ya que cada caso será distinto, debido a la variedad de propiedades y características de los materiales en cada zona.
2. Con la construcción de contrafuertes en las viviendas de adobe se evita la destrucción del amarre en las esquinas y así el colapso repentino de la estructura, ésta es una de las fallas más comunes y peligrosas en las construcciones de adobe; siendo, además una solución económica. Debido a su importancia los contrafuertes pueden ser considerados elementos estructurales fundamentales en la construcción de viviendas de adobe.
3. Es importante hacer el mortero con la misma proporción de los materiales que se usaron para construir los adobes, debido a que existe una mejor cohesión.
4. El muro con vano fue el elemento mas crítico, ya que presentó mayores deformaciones que el muro sin vano.
5. La fuerza de corte última aplicada experimentalmente, es mayor que la fuerza de corte última teórica, con lo cual se comprueba la funcionalidad del sistema.

RECOMENDACIONES

1. El tamaño de los vanos y sus posiciones en cada pared deben ser pequeños y centrados
2. El ancho de un vano no debe ser mayor a 1.20 m.
3. El dintel del vano debe empotrarse a la mampostería 50 cm de cada lado.
4. Las formas de las plantas de los ambientes deben tender a ser cuadrados.
5. Es importante la aplicación de fibras a las unidades de adobe para evitar la erosión.
6. Una estructura de adobe debe de ser liviana, para disminuir la masa y por lo tanto los movimientos de los distintos elementos.
7. Tomar en cuenta un factor fundamental para la estabilidad de las construcciones de adobe como lo es, la esbeltez.
8. Debe existir una ausencia de puntos críticos de concentración de esfuerzos, lo que se obtiene definiendo arquitecturas adecuadas.
9. Para evitar el aplastamiento del muro con su propio peso la altura máxima de levantado por día no debe ser mayor a 1 m.

10. Debe existir una continuidad en formas y volúmenes de los adobes.
11. Conexiones adecuadas, que garanticen la posibilidad de movimientos dúctiles.
12. Que el mortero sea de similar calidad que el adobe.
13. Utilizar amarres en las esquinas (contrafuertes).
14. Los techos deberán ser livianos, distribuyendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, y fijados adecuadamente a estos a través de la viga solera.
15. La madera a utilizar en vanos, debe estar seca para evitar que se deforme con el peso del adobe.
16. Los techos deberán ser diseñados de tal manera que no produzcan empujes laterales que provengan de las cargas gravitacionales.
17. Realizar estudios para determinar el comportamiento del adobe en absorción bajo diferentes cargas de compresión.
18. Realizar estudios de plasticidad de la arcilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Edgar Ortega Valvert. Recomendaciones para la construcción de una vivienda de adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.

2. Carlos Crespo Villalaz. **Mecánica de suelos y cimentaciones.** (4^a ed. México: Editorial Limusa. 1999)

3. Selvin Estuardo Arriaga Franco y González Armas, Rolando Estuardo. Ensayo de un módulo de adobe reforzado con caña de castilla sometido a carga lateral. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.

4. Rudy Manglio Samayoa Cárdenas. Evaluación experimental del ensayo a compresión en adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Arrivillaga, Eduardo. **Estudio de la vivienda rural en Guatemala**. Universidad de san carlos de Guatemala, 1980.
2. Arriaga Franco, Selvin Estuardo y González Armas, Rolando Estuardo. Ensayo de un módulo de adobe reforzado con caña de castilla sometido a carga lateral. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990.
3. Aquino López, Gonzalo y Cario Paz, Sergio A. Resistencia a corte en muros de adobe a escala natural, reforzados con caña de castilla. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1987.
4. Gálvez Villatoro, Jorge Arnulfo. Estabilización del talpetate para elemento de construcción el adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
5. Guevara Aparicio, Roberto. Evaluación de la fabricación del adobe y su control de calidad, recomendaciones para normalizar ensayos de adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986.

6. Nitch Pineda, Juan. Guía de laboratorio para las practicas de diseño estructural en mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1985.
7. Ortega Valvert, Edgar. Recomendaciones para la construcción de una vivienda de adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.
8. Pirir Quelex, Julio Oswaldo: Análisis, evaluación y propuesta de norma para la construcción con adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.
9. Richardson Echeverría, Roberto Arturo. Análisis y diseño de mampostería reforzada para Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1978.
10. Salas Serrano, Julián. **Contra el hambre de vivienda soluciones tecnológicas latinoamericanas**, (Segunda edición) s. d. e.
11. Samayoa Cárdenas, Rudy Manglio. Evaluación experimental del ensayo a compresión en adobe. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986.

12. Villatoro Estrada, Martha Patricia. Diseño de edificios sismorresistentes de concreto reforzado de conformidad con el código recomendado para Guatemala por la universidad de Stanford. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979.

APÉNDICE 1

Tabla I. Resumen de ensayo de absorción y flexión

# De adobe	% De absorción máxima	Esfuerzo a flexión (kg/cm²)
1	21.13	1.763
2	17.18	2.298
3	12.78	2.118
4	13.85	2.483
5	16.1	1.863
Promedio	16.21	2.105

Tabla II. Resumen de ensayo a compresión

#	Carga (Kg)		Esfuerzo (Kg/cm²)	
	Primera grieta	última	Primera grieta	última
1	223	470	2.322	4.894
2	470	492	4.957	5.189
3	350	575	3.710	6.095
4	625	450	2.780	4.722
5	350	640	3.730	6.820
Promedio	403.60	525.40	3.50	5.544

Tabla III. Flexión y absorción muestra 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**SECCIÓN DE METALES PRODUCTOS MANUFACTURADOS
ADOBES**

INFORME No: 1115-M O.T. No. 16873
 INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
 PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA"
 FABRICA: *****
 FECHA: 06/10/2003
 No. MUESTRAS: 1
 APARIENCIA: BUENA

	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.
PROMEDIO	39.5	28.5	10
MÁXIMA	39.5	28.9	10
MÍNIMA	39.5	28.3	10
DESVIACION			
(+)	0	0.4	0
(-)	0	0.2	0

ALTURA DE SATURACIÓN	PESO	ABS. %	CONTENIDO DE HUMEDAD	ESFUERZO A FLEXIÓN
	NATURAL	MÁXIMA		kg/cm ²
6.75 cm	14.667 kg	21.13	0.79%	1.763

MUESTRA TOMADA POR EL INTERESADO.

ATENTAMENTE

ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ
 JEFE SECCIÓN METALES Y PRODUCTOS
 MANUFACTURADOS

cbr



Vo.Bo

ING. FRANCISCO JAVIER QUINONEZ DE LA CRUZ
 DIRECTOR C.I.I.



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC
 Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
 E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Tabla IV. Flexión y absorción muestra 2



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



SECCIÓN DE METALES PRODUCTOS MANUFACTURADOS ADOBES

INFORME No: 1116-M O.T. No. 16873
 INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
 PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA"
 FABRICA: *****
 FECHA: 06/10/2003
 No. MUESTRAS: 1
 APARIENCIA: BUENA

	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.
PROMEDIO	39.6	28.23	9.83
MÁXIMA	39.8	28.4	10
MÍNIMA	39.5	28	9.5
DESVIACIÓN			
(+)	0.2	0.167	0.167
(--)	0.2	0.233	0.333

ALTURA DE SATURACIÓN	PESO	ABS. %	CONTENIDO DE HUMEDAD	ESFUERZO A FLEXIÓN kg/cm ²
6.375 cm	14.655	17.18	0.79%	2.298

MUESTRA TOMADA POR EL INTERESADO.

ATENTAMENTE

ING. PABLO CHRISTIAN DE LEON RODRIGUEZ
 JEFE SECCION METALES Y PRODUCTOS
 MANUFACTURADOS

cbr



Vo.Bo

ING. FRANCISCO JAVIER QUIRÓNEZ DE LA CRUZ
 DIRECTOR C.I.I.



Tabla V. Flexión y absorción muestra 3



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**SECCIÓN DE METALES PRODUCTOS MANUFACTURADOS
ADOBES**

INFORME No: 1117-M O.T. No. 16873
 INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
 PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA"
 FABRICA: *****
 FECHA: 06/10/2003
 No.MUESTRAS: 1
 APARIENCIA: BUENA

	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.
PROMEDIO	39.46	28.6	9.73
MÁXIMA	39.5	28.8	9.9
MÍNIMA	39.4	28.8	9.5
DESVIACIÓN			
(+)	0.03	0.2	0.167
(-)	0.06	0.2	0.233

ALTURA DE SATURACIÓN	PESO	ABS.%	CONTENIDO	ESFUERZO A FLEXIÓN
	NATURAL	MÁXIMA	DE HUMEDAD	kg/cm ²
6.125 cm	15.011	12.78	0.71%	2.118

MUESTRA TOMADA POR EL INTERESADO.

ATENTAMENTE

ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ
 JEFE SECCIÓN METALES Y PRODUCTOS
 MANUFACTURADOS

cbr



Vo.Bo

ING. FRANCISCO JAVIER QUIJONEZ DE LA CRUZ
 DIRECTOR C.I.I.



Tabla VI. Flexión y absorción muestra 4



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**SECCIÓN DE METALES PRODUCTOS MANUFACTURADOS
ADOBES**

INFORME No: 1118-M O.T. No. 16873
INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA"
FABRICA:
FECHA: 06/10/2003
No. MUESTRAS: 1
APARIENCIA: BUENA

	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.
PROMEDIO	39.66	28.73	9.93
MÁXIMA	39.8	29	10
MÍNIMA	39.5	28.4	9.8
DESVIACIÓN			
(+)	0.133	0.267	0.067
(-)	0.167	0.333	0.133

AL TURA DE SATURACIÓN	PESO	ABS. %	CONTENIDO DE HUMEDAD	ESFUERZO A FLEXIÓN
	NATURAL	MÁXIMA		kg/cm ²
6.500 cm	14.756	13.85	0.62%	2.483

MUESTRA TOMADA POR EL INTERESADO.

ATENTAMENTE

ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRIGUEZ
JEFE SECCION METALES Y PRODUCTOS MANUFACTURADOS
cbr



Vo.Bo

ING. FRANCISCO JAVIER QUINONEZ DE LA CRUZ
DIRECTOR C.I.I.



Tabla VII. Flexión y absorción muestra 5



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**SECCION DE METALES PRODUCTOS MANUFACTURADOS
ADOBES**

INFORME No: 1119-M O.T. No. 16873
INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
PROYECTO: TESIS: "EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA"
FABRICA: *****
FECHA: 06/10/2003
No. MUESTRAS: 1
APARIENCIA: BUENA

	LARGO cm.	ANCHO cm.	ALTO cm.
PROMEDIO	39.36	28.8	10.133
MÁXIMA	39.4	29	10.4
MÍNIMA	39.3	28.6	9.8
DESVIACIÓN			
(+)	0.033	0.2	0.267
(--)	0.067	0.2	0.333

ALTURA DE SATURACIÓN	PESO	ABS. %	CONTENIDO DE HUMEDAD	ESFUERZO A FLEXIÓN
	NATURAL	MÁXIMA		kg/cm ²
6.000 cm	14.777	16.1	0.82%	1.863

MUESTRA TOMADA POR EL INTERESADO.

ATENTAMENTE

ING. PABLO CHRISTIAN DE LEON RODRIGUEZ
JEFE SECCION METALES Y PRODUCTOS
MANUFACTURADOS

Vc.Bo

ING. FRANCISCO JAVIER QUIRÓNEZ DE LA CRUZ
DIRECTOR C.I.I.

cbr



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443 9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Tabla VIII. Ensayo a compresión en muestras de adobe



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



O.T. No. 16873

INFORME No. 1120-M

INTERESADO: JAVIER A. RODRÍGUEZ F.
 PROYECTO: TESIS: EVALUACIÓN DE UN MÓDULO DE ADOBE PARA VIVIENDA
 ASUNTO: ENSAYO A COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE ADOBE
 FECHA: GUATEMALA, 07 DE OCTUBRE 2003.

Antecedentes

JAVIER ADOLFO RODRIGUEZ FRANCO, estudiante de la Facultad de Ingeniería con numero de carne: 9213079, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara ensayo de compresión a 05 adobes, el ensayo en cuestión es parte de su trabajo de tesis "Evaluación de un Moduló de Adobe para Vivienda".

Resultados

Número	Área cm ²	Carga kg		Esfuerzo kg/cm ²	
		Primera grieta	Última	Primera grieta	Último
01	96.039	223	470	2.322	4.894
02	94.819	470	492	4.957	5.189
03	94.332	350	575	3.710	6.095
04	95.306	625	450	2.780	4.722
05	93.844	350	640	3.730	6.820

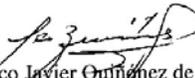
Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
 Jefe Sección Metales y Productos
 Manufacturados



Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 Director C.I.I.



cbr

Tabla IX . Compresión de mortero (promedios)

Edad	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
7 días	5.01
14 días	26.95
28 días	25.40

Tabla X. Compresión de mortero edad 7 y 14 días



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. T. No. 16887

INFORME No. 10-2003 S.AM

INTERESADO: JAVIER RODRÍGUEZ
PROYECTO: Tesis
ASUNTO: Ensayo resistencia a la compresión a un mortero de talpetate de arcilla.
FECHA: 10 de octubre de 2003

1. Generalidades

El interesado proporcionó los materiales necesarios para preparar el mortero, para evaluarle su resistencia a la compresión.

2. Procedimiento

Se elaboró el mortero de acuerdo a las recomendaciones dadas por el interesado, quien definió la trabajabilidad del mismo. Se elaboraron probetas para ensayar a 7, 14 y 28 días. El curado de las probetas fue al ambiente.

3. Resultados

3.1 Edad 7 días

No. de muestra	Área cm ²	Carga kg	Resistencia a la compresión kg/cm ²
1	22.44	162	7.22
2	22.68	62.5	2.76
3	22.56	114	5.05

3.2 Edad 14 días

No. de muestra	Área cm ²	Carga kg	Resistencia a la compresión kg/cm ²
1	22.44	590	26.29
2	22.09	600	27.16
3	22.44	615	27.41

Tabla XI. Compresión de mortero edad 28 días



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



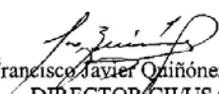
3.3 Edad 28 días

No. de muestra	Área cm ²	Carga kg	Resistencia a la compresión kg/cm ²
1	22.32	575	25.76
2	22.03	550	24.96
3	22.56	575	25.49

Atentamente,


Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
Jefe Sección Aglomerantes y Morteros

Vo. Bo.


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



c.c.: Archivo.

Tabla XII. Granulometría arcilla color café oscuro



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 232 S.S. O.T. No. 16886

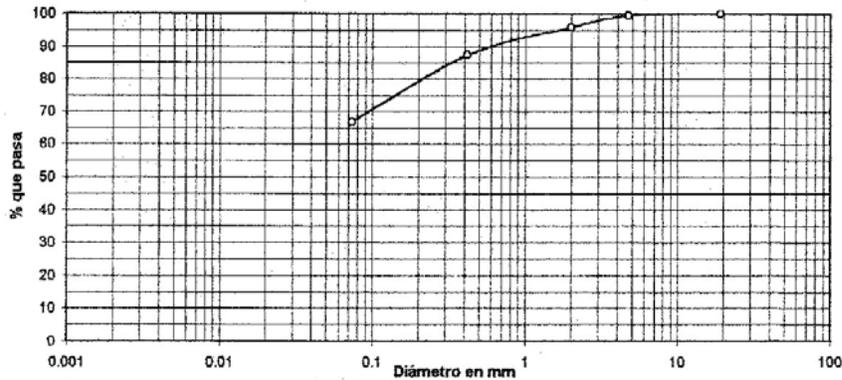
Interesado: Javier Rodríguez
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27
 Proyecto: TESIS
 Procedencia:
 Fecha: 01 de octubre de 2003
 Muestra No. 1

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.05	100.0
4	4.76	99.6
10	2.00	96.0
40	0.42	87.4
200	0.074	66.8

% de Grava: 0.5
 % de Arena: 32.7
 % de Finos: 66.8

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa

Gs:



Descripción del suelo: Arcilla color café oscuro
 Clasificación: S.C.U.: MH P.R.A.: A-7-5
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.
 Ing. Francisco Javier Quiñones de La Cruz
 DIRECTOR CIUSAC.



Inga. Flor de María González Culajay
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Tabla XIII. Límites de Atterberg arcilla color café oscuro



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 233 S.S.

O.T. No. 16886

Interesado: Javier Rodríguez
 Proyecto: TESIS
 Asunto: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
 Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Procedencia:

FECHA: 01 de octubre de 2003

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	1	66.4	27.9	MH	Arcilla color café oscuro.

(*) C.S.U. = CLASIFICACIÓN SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.

[Signature]
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR USAC



[Signature]
 Inga. Flor de María González Cudajay
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Tabla XIV. Granulometría arena limosa color café claro



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 234 S.S. O.T. No. 16886

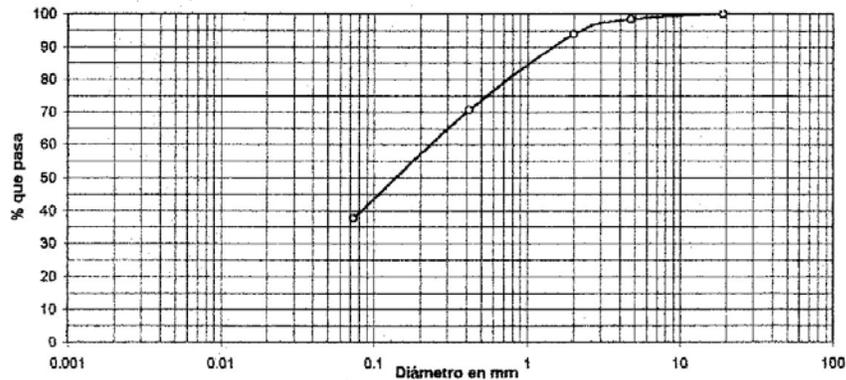
Interesado: Javier Rodríguez
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27
 Proyecto: TESIS
 Procedencia:
 Fecha: 01 de octubre de 2003
 Muestra No. 2

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/4"	19.05	100.0
4	4.76	98.4
10	2.00	93.9
40	0.42	70.7
200	0.074	37.6

% de Grava: 1.6
 % de Arena: 60.8
 % de Finos: 37.6

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa

Gs:



Descripción del suelo: Arena limosa color café claro.
 Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-4
 Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Vo. Bo.
 Ing. Francisco Javier Quiñones de La Cruz
 DIRECTOR CI/USAC.



Inga Flor de María González Culajay
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Tabla XV. Límites de Atterberg arena limosa color café claro



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 235 S.S.

O.T. No. 16886

Interesado: Javier Rodríguez
Proyecto: TESIS
Asunto: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Procedencia:

FECHA: 01 de octubre de 2003

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	2	38.5	4.3	ML	Limo color café claro.

(*) C.S.U. = CLASIFICACIÓN SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



Inga. Flor de María González Culajay
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Tabla XVI. Granulometría arena limo arcillosa color café



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 236 S.S. O.T. No. 16886

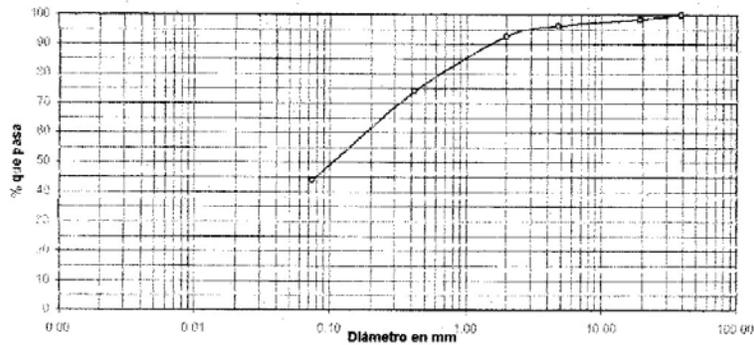
Interesado: Javier Rodríguez
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.
Norma: A.A.S.H.T.O. T-27
Proyecto: TESIS
Procedencia:
Fecha: 01 de octubre de 2003
Muestra No. 3

Análisis con Tamices.		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
1 1/2"	38.10	100.00
3/4"	19.05	98.4
4	4.76	96.2
10	2.00	92.7
40	0.85	73.0
200	0.074	44.1

% de Grava: 3.8
% de Arena: 52.1
% de Finos: 44.1

Análisis por Sedimentación:	
Diámet. mm.	% que pasa

Ca:



Descripción del suelo: Arena limo-arcillosa color café
Clasificación: S.C.U.: SM P.R.A.: A-7-5
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado (75% de Tapetate+ 25% de Arcilla color café)

Atentamente,

Vo. Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñones de La Cruz
DIRECTOR CII/USAC.



Inga. Flor de María González Culajay
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: cii@ing.usac.edu.gt

Tabla XVII. Límites de Atterberg arena limo arcillosa color café



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 237 S.S.

O.T. No. 16886

Interesado: Javier Rodríguez
Proyecto: TESIS
Asunto: ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Procedencia:

FECHA: 01 de octubre de 2003

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	3	44.5	11.5	ML	Limo arcilloso color café

(*) C.S.U. = CLASIFICACIÓN SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado (755 Taipetate + 25% de Arcilla color café)

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC



Inga. Flor de María González
Jefe Sección Mecánica de

APÉNDICE 2

APÉNDICE 2

Análisis método Simplificado

El método simplificado asume que solamente los muros paralelos a la dirección del sismo contribuyen en la resistencia, despreciando la contribución de los muros transversales a la dirección de la fuerza aplicada.

Arreglo de muros analizado

t = Espesor de muro = 0.29 mts

h = Altura de aplicación de fuerzas = 2.39 mts

Peso de muros = 812.5 lb. / m² ~ 369.32 kg / m²

Figura 42. Planta Acotada

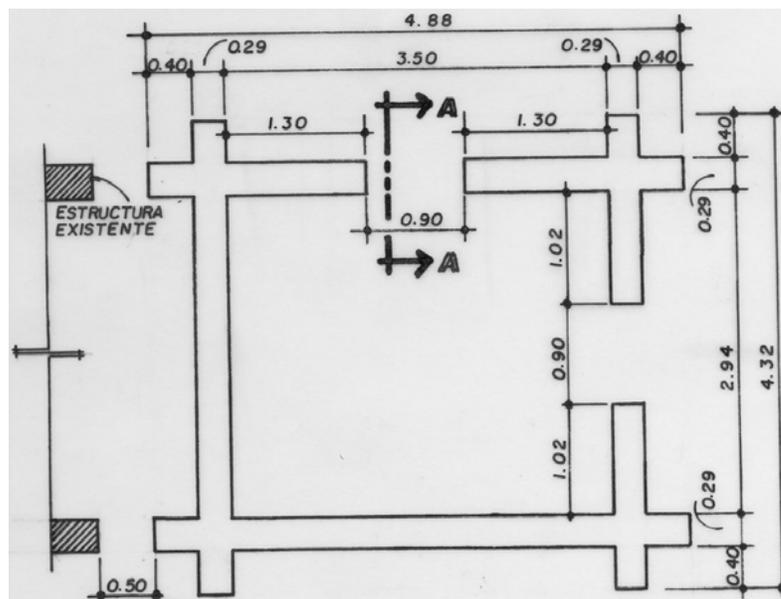
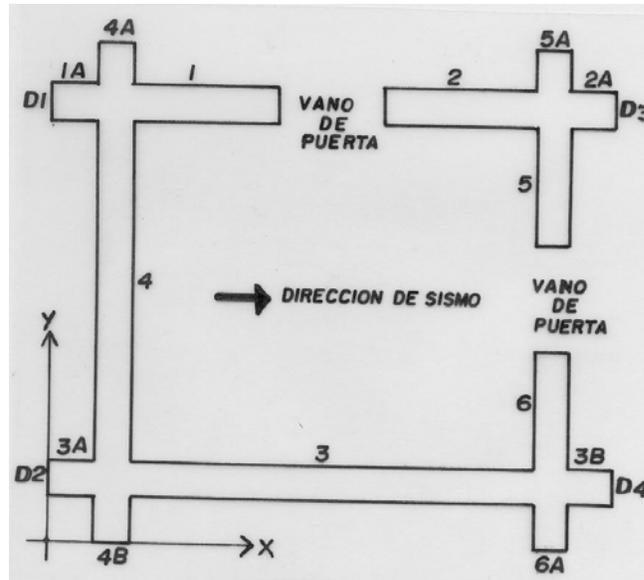


Figura 43. Planta de distribución de muros y coordenadas



1) Es necesario calcular la rigidez de cada muro en la dirección del sismo

$$R = t / (h/L)^3 + 3(h/L)$$

R = Rigidez

h = Altura de aplicación de fuerzas

L = Largo de muro

Tabla XVIII. Rigidez

Sentido	Muro	L	h/L	t	R
X	1	1.59	1.50	0.29	0.037
X	1A	0.69	3.46	0.29	0.006
X	2	1.59	1.50	0.29	0.037
X	2A	0.69	3.46	0.29	0.006
X	3	4.08	0.59	0.29	0.148
X	3A	0.69	3.46	0.29	0.006
X	3B	0.69	3.46	0.29	0.006
Y	4	3.52	0.68	0.29	0.123
Y	4A	0.69	3.46	0.29	0.006
Y	4B	0.69	3.46	0.29	0.006
Y	5	1.31	1.82	0.29	0.025
Y	5A	0.69	3.46	0.29	0.006
Y	6	1.31	1.82	0.29	0.025
Y	6A	0.69	3.46	0.29	0.006

2) Cálculo del centro de corte de muro

Tabla XIX. En sentido X

Sentido	Muro	Rx	Yi	Rx×Yi
X	1	0.037	3.775	0.140
X	1A	0.006	3.775	0.023
X	2	0.037	3.775	0.140
X	2A	0.006	3.775	0.023
X	3	0.148	0.545	0.081
X	3A	0.006	0.545	0.003
X	3B	0.006	0.545	0.003
		$\Sigma = 0.246$		$\Sigma = 0.412$

$$Y_{cc} = (\sum Y_i \times R_x) / (\sum R_x) = 0.412 / 0.246 = 1.67 \text{ m.}$$

Tabla XX. En sentido Y

Sentido	Muro	Ry	Xi	Ry×Xi
Y	4	0.123	0.545	0.067
Y	4A	0.006	0.545	0.003
Y	4B	0.006	0.545	0.003
Y	5	0.025	4.335	0.108
Y	5A	0.006	4.335	0.026
Y	6	0.025	4.335	0.108
Y	6A	0.006	4.335	0.026
		$\Sigma = 0.197$		$\Sigma = 0.342$

$$X_{cc} = (\sum X_i \times R_y) / (\sum R_y) = 0.342 / 0.197 = 1.74 \text{ m.}$$

3) Cálculo del centro de masa

Tabla XXI. Centro de masa

Sentido	Muro	L	Xi	Yi	Xi×L	Yi×L
X	1	1.59	1.195	3.775	1.900	6.002
X	1A	0.69	0.345	3.775	0.238	2.605
X	2	1.59	3.685	3.775	5.859	6.002
X	2A	0.69	4.535	3.775	3.129	2.605
X	3	4.08	2.44	0.545	9.955	2.224
X	3A	0.69	0.345	0.545	0.238	0.376
X	3B	0.69	4.535	0.545	3.129	0.376
Y	4	3.52	0.545	2.16	1.918	7.603
Y	4A	0.69	0.545	3.975	0.376	2.743
Y	4B	0.69	0.545	0.345	0.376	0.238
Y	5	1.31	4.335	3.265	5.679	4.277
Y	5A	0.69	4.335	3.975	2.991	2.743
Y	6	1.31	4.335	1.055	5.679	1.382
Y	6A	0.69	4.335	0.345	2.991	0.238

$$\Sigma = 18.92$$

$$\Sigma = 44.459 \quad \Sigma = 39.414$$

$$X_{cm} = (\Sigma Xi \times L) / (\Sigma L) = 44.459 / 18.92 = 2.35 \text{ m.}$$

$$Y_{cm} = (\Sigma Yi \times L) / (\Sigma L) = 39.414 / 18.92 = 2.08 \text{ m.}$$

4) Carga lateral por Stanford

$$A = 0.30$$

$$B = 0.33$$

$$D = 2.00$$

$$Q = 1.30$$

Donde;

P = corte en la base de un edificio.

WT = peso permanente de la estructura.

A (valor de zona de aceleración)

Depende de la sismicidad de la región procede a un plateo de la aceleración del suelo, en función del periodo de retorno del sismo, el factor A cumple con el factor de zona, ya que para cada región de país se puede obtener su curva correspondiente.

D (Factor principal de amplificación dinámica.)

Será determinado de acuerdo al tipo de suelo y en función del periodo "T" de la estructura.

Fue un análisis estadístico 444 movimientos fuertes en la historia, representando 57 eventos sísmicos que conducen a mover el espectro.

B (valor de comportamiento estructural)

Depende del tipo de sistema capaz de resistir la fuerza lateral.

Q (factor de calidad)

Es la medida que nos sirve para definir lo relativamente bueno o pobre de la escala de proporción de las cualidades particulares de la resistencia sísmica de una estructura dada.

$$P = (0.30) \times (0.33) \times (2.00) \times (1.30) \times WT$$

$$P = 0.257 \times WT$$

$$WT = W \text{ muros}$$

$$W \text{ muros} = 25 \text{ unidades / m}^2 \times 32.5 \text{ lb}$$

$$W \text{ muros} = 812.5 \text{ lb / m}^2$$

$$WT = 812.5 \text{ lb / m}^2 \times 39.84 \text{ m}^2 = 32,370 \text{ lb}$$

$$P = \text{Corte Vasal} = 0.257 \times 32,370 \text{ lb} = 8,319.09 \text{ lb} \sim 3781.40$$

$$P = 3,781.40 \text{ kg.}$$

5) Excentricidades de la carga laterales con sismo en X

$$e_y = [Y_{cm} - Y_{cc}] = 2.08 - 1.67 = 0.41$$

6) Calculo del momento de rigidez torsionante

$$T_{px} = P_x \times e_y = (3,781.40) (0.41) = 1,550.37 \text{ kg - mt}$$

7) Distribución de carga lateral

$$P_x = 3,781.40 \text{ kg}$$

Tabla XXII. Sentido X

Sentido	Muro	Rx	Ycc	Rx.Ycc²	[(Rx/ ΣRx)]×Px	[(Ycc.Rx)]× Tp/Jp	Fc (kg)
X	1	0.037	+2.105	0.164	568.747	+101.131	669.878
X	1A	0.006	+2.105	0.027	92.229	+16.40	108.629
X	2	0.037	+2.105	0.164	568.747	+101.131	669.878
X	2A	0.006	+2.105	0.027	92.229	+16.40	108.629
X	3	0.148	-1.125	0.187	2,274.989	-216.195	2,274.989
X	3A	0.006	-1.125	0.008	92.229	-8.765	92.229
X	3B	0.006	-1.125	0.008	92.229	-8.765	92.229

$$\Sigma = 0.246$$

$$\Sigma = 0.584$$

Tabla XXIII. Sentido Y

Sentido	Muro	Ry	Xcc	Ry.xcc ²
Y	4	0.123	-1.195	0.176
Y	4A	0.006	-1.195	0.009
Y	4B	0.006	-1.195	0.009
Y	5	0.025	+2.595	0.168
Y	5A	0.006	+2.595	0.040
Y	6	0.025	+2.595	0.168
Y	3A	0.006	+2.595	0.040
		$\Sigma=0.197$		$\Sigma=0.61$

$$J_p = \Sigma R_y X_{cc}^2 + \Sigma R_x Y_{cc}^2 = 0.61 + 0.584 = 1.194$$

8) Distribución del momento de volteo

$$M_v = P_x \times h$$

$$M_{vx} = 3781.40 \times 2.39m = 9,037.55 \text{ kg.m}$$

$$\text{Momento} = (R_x \times M_v) / (\Sigma R_x)$$

Tabla XXIV. Momento de volteo

Sentido	Muro	Rx	Momento
X	1	0.037	1,359.306
X	1A	0.006	220.428
X	2	0.037	1359.306
X	2A	0.006	220.428
X	3	0.148	5,437.225
X	3A	0.006	220.428
X	3B	0.006	220.428

9) Resultado final de análisis

Tabla XXV. Análisis final

Sentido	Muro	Fuerza de corte (Kg)	Momento (Kg)
X	1	669.878	1,359.306
X	1A	108.629	220.428
X	2	669.878	1,359.306
X	2A	108.629	220.428
X	3	2,274.989	5,437.225
X	3A	92.229	220.428
X	3B	92.229	220.428

APÉNDICE 3

APÉNDICE 3

Ensayo de módulo

Las deformaciones angulares y los esfuerzos de corte, se calcularon para los muros del módulo paralelos a la carga aplicada, y que aparecen tabulados, y se obtuvieron por medio de las siguientes fórmulas:

$$\gamma = \frac{\Delta i}{h \cdot \Delta i} \quad ; \quad f = \frac{P}{A_c}$$

- Donde:
- γ = Deformación angular
 - Δi = Lectura del deformometro i (cm)
 - $h \cdot \Delta i$ = Altura a que esta colocando el deformometro i (cm)
 - f = Esfuerzo de corte (kg/cm²)
 - A_c = Área en la que actúa el esfuerzo de corte (cm²)
 - P = Presión del gato (kg/cm²) × área del pistón
(14.78cm²)

Tabla XXVI. Muro 1 y 2 con vano

Presión de gatos (kg/cm ²)	P (kg)	Lectura de deformómetro Δi_3 (cm)	Deformación angular (γ) $\times 10^{-3}$	Esfuerzo de corte f (kg/cm ²)
0	0	0	0	0
25	369.50	0.81	0.339	0.032014
50	739.00	1.55	0.649	0.064027
75	1108.50	2.51	1.05	0.096041
100	1478.00	3.905	1.634	0.128054
120	1773.60	7.91	3.31	0.153665
130	1921.40	14.50	6.067	0.166470

$h.\Delta i_3$ = Altura de colocación del deformómetro 3 = 2,390 cm

Área de corte = $((488 - 90) \times 29) = 11542 \text{ cm}^2$

Figura 44. Muro 1 y 2 con vano.

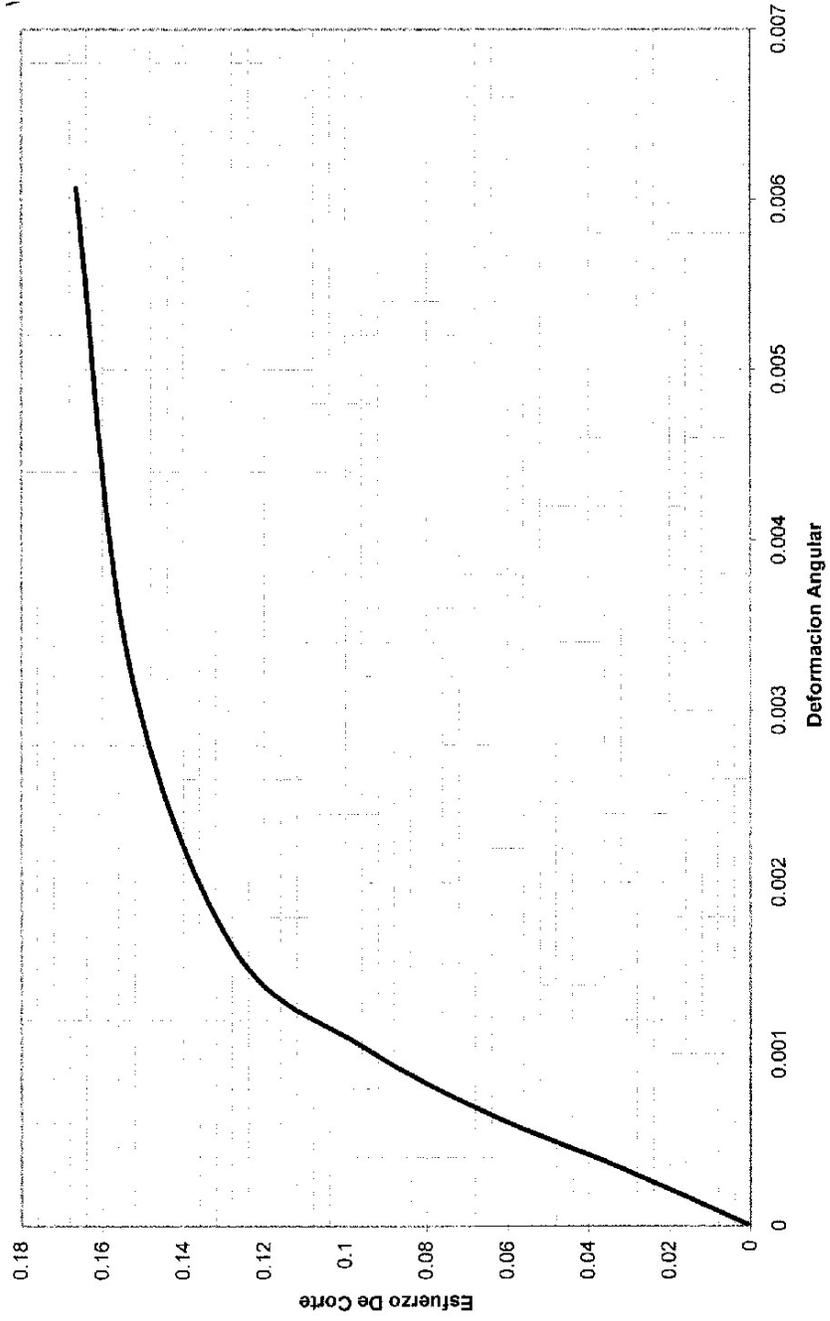


Tabla XXVII. Muro 3 sin vano

Presión de gatos (kg/cm ²)	P (kg)	Lectura de deformómetro $\bar{\Delta}i$ 4 (cm)	Deformación angular (γ) $\times 10^{-3}$	Esfuerzo de corte f (kg/cm ²)
0	0	0	0	0
25	369.50	0.30	0.126	0.026109
50	739.00	0.46	0.192	0.052219
75	1108.50	0.59	0.247	0.078328
100	1478.00	0.59	0.247	0.104438
120	1773.60	1.24	0.519	0.125325
130	1921.40	1.51	0.632	0.135769

$h.\bar{\Delta}i$ = Altura de colocación del deformómetro 4 = 2,390 cm

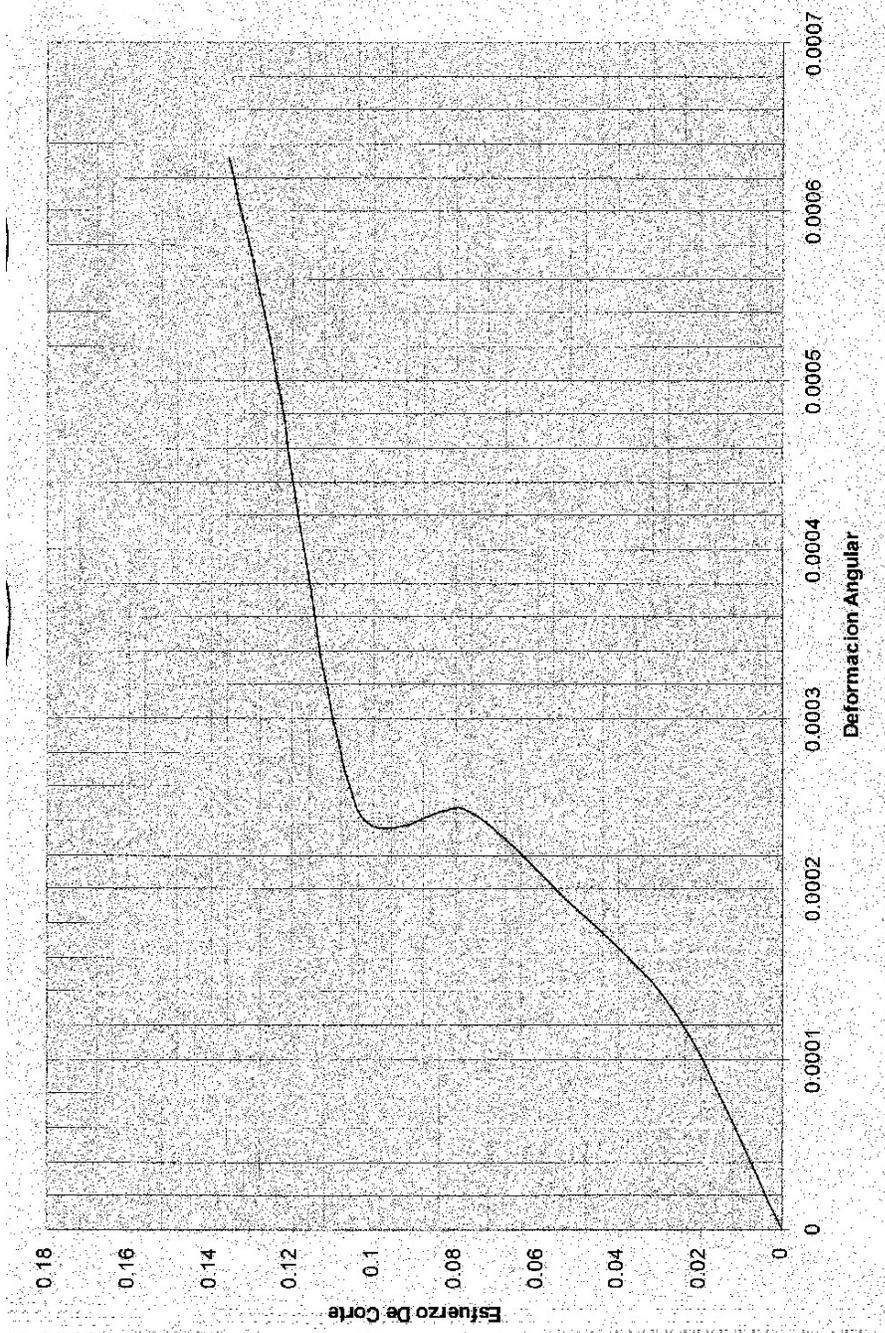
Área de corte = (488 \times 29) = 11542 cm²

Tabla XXVIII. Lectura de deformómetros 1 y 2

Presión de gatos (kg/cm ²)	P (kg)	Lectura de deformómetro $\bar{\Delta}$ 1 (cm)	Lectura de deformómetro $\bar{\Delta}$ 2 (cm)
0	0	0	0
25	369.50	0.13	0
50	739.00	0.23	0.07
75	1108.50	0.41	0.24
100	1478.00	0.62	0.24
120	1773.60	1.43	0.24
130	1921.40	2.20	0.27

$h.\bar{\Delta}i$ = Altura de colocación del deformómetro 1 y 2 = 25 cm

Figura 45 Muro 3 sin vano



APÉNDICE 4

Figura 46. Marco tectónico de Guatemala

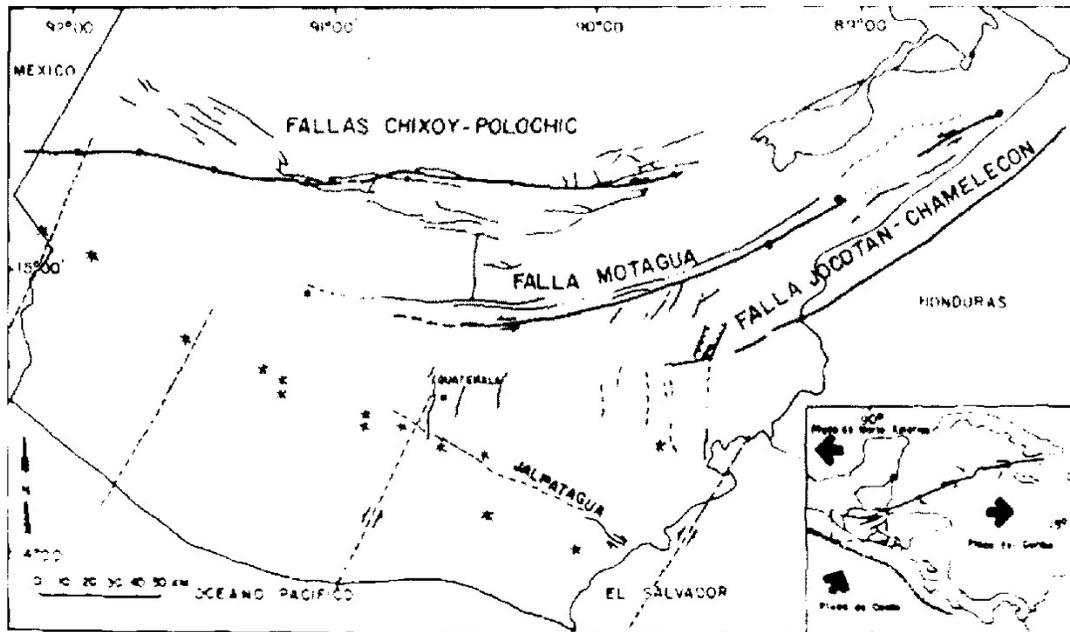


Figura 47. Fallas parte media de América central

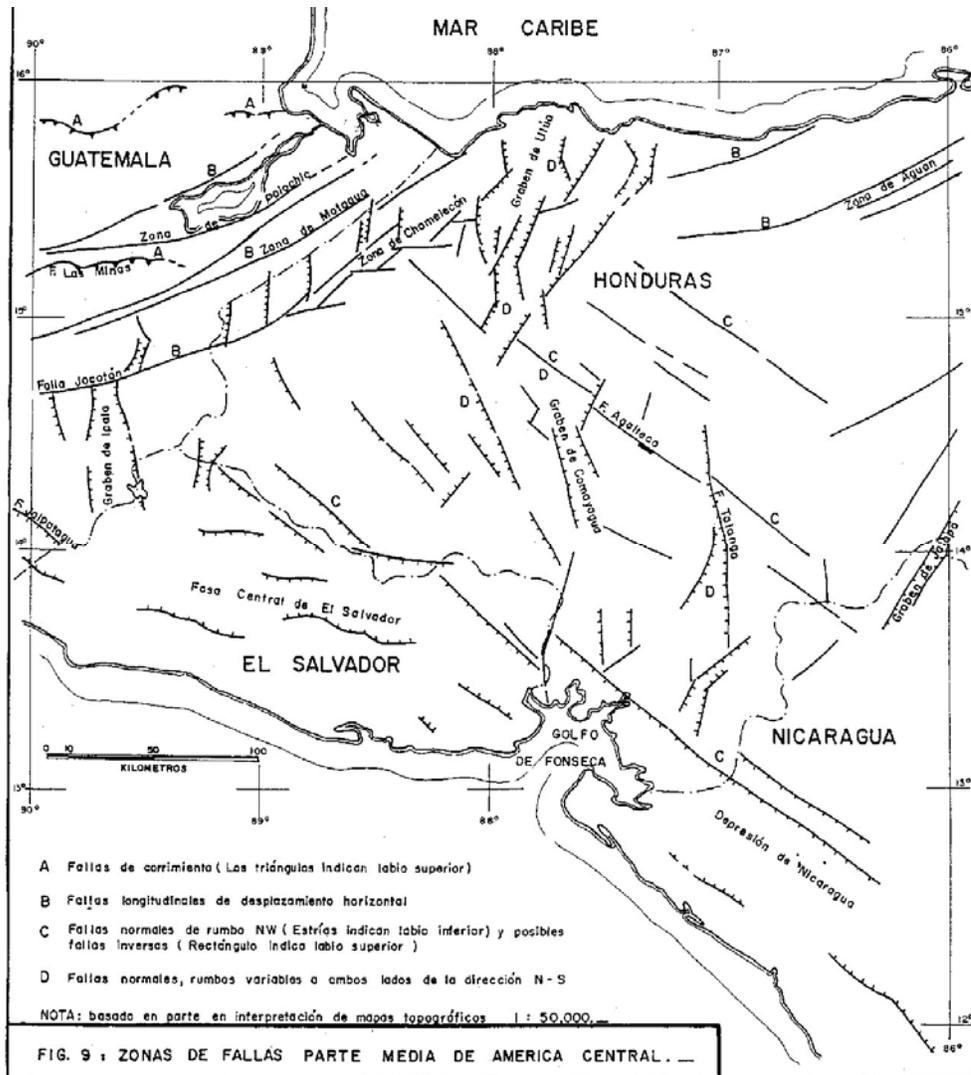


Figura 48. Distribución de Volcanes de América central

