



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

## **ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO, PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES**

**Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado**  
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, agosto de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO,  
PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUILLERMO EDUARDO CHINCHILLA MALDONADO**  
ASESORADO POR EL INGENIERO MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
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
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
EXAMINADORA	Inga. Marta Patricia Villatoro Estrada de Escobar
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **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:

### **ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO, PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de mayo de 2004.

Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado

Guatemala, 22 de mayo de 2006.

Ing. Oswaldo Escobar  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO PARA VIVENDAS DE ADOBE EXISTENTES**, realizado por el estudiante universitario **Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado** con carné **199911023**, tema que fue aprobado en mayo de 2004.

Considero que el trabajo desarrollado, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

  
Mario Rodolfo Corzo  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089  
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Asesor de Trabajo de Graduación  
No. de colegiado 2089



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 6 de julio de 2,006

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar Álvarez.

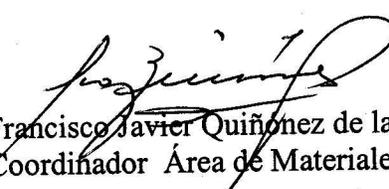
Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES**, elaborado por el estudiante universitario **Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Chinchilla Maldonado**, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales





FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado, titulado ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO, PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez



Guatemala, agosto 2006.

/bbdeb.

*"TODO POR TI CAROLINHA MIA"*  
*Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 aniversario de su nacimiento*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 263-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES**, presentado por el estudiante universitario **Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, agosto 2 de 2,006



/gdech

*Foto por el Centenario*  
Dr. Carlos Martínez Durán  
2006: Centenario de su Nacimiento

**DEDICATORIA A**

**LAS COMUNIDADES MÁS NECESITADAS**

## **AGRADECIMIENTOS A**

<b>Dios</b>	Por permitirme vivir, darme salud, fuerzas y entendimiento.
<b>Mis padres</b>	Edna y Luís, por ser mis mentores en la vida.
<b>Mi familia y amigos</b>	Por brindarme su apoyo incondicional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser parte importante de mi formación profesional.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>III</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
1.1. Antecedentes.....	13
1.2. Identificación de fallas comunes en viviendas de adobe....	14
1.2.1. Factores influyentes en las fallas.....	14
1.2.2. Fallas.....	16
1.3. Tipos de sistemas de refuerzo que existen en la actualidad	21
1.3.1. Sistemas de refuerzo para nuevas viviendas.....	23
1.3.2. Sistemas de refuerzo para viviendas existentes.....	25
<b>2. ANÁLISIS Y ENSAYOS.....</b>	<b>33</b>
2.1. Sistema de refuerzo: bandas de malla electrosoldada y mortero	33
2.1.1. Descripción del sistema.....	33
2.1.2. Elementos del sistema.....	36
2.1.2.1. Morteros.....	36
2.1.2.2. Mallas.....	41
2.1.3. Ensayo de módulo de adobe.....	45
2.1.3.1. Procedimiento.....	45
2.1.3.2. Resultados.....	55

<b>3. FACTORES INCIDENTES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA..</b>	<b>61</b>
3.1. Aspectos Económicos.....	61
3.1.1. Análisis de costos del sistema de refuerzo.....	62
3.2. Aspectos culturales en la elaboración del adobe y su construcción.	64
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>75</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Pandeo y volteo de muros	18
2	Factores que provocan el volteo	18
3	Daños comunes en viviendas de adobe	20
4	Daños en viviendas alrededor del mundo	21
5	Refuerzo de caña en muros de adobe	24
6	Refuerzo con contrafuertes	25
7	Refuerzo con viga corona con nervadura y estabilización del techo	26
8	Refuerzo con vigas y columnas	28
9	Refuerzo con varillas de acero	28
10	Refuerzo con malla y mortero	29
11	Consideraciones en la construcción y/o refuerzo de viviendas de adobe	31
12	Ensayos en mesa vibratoria	34
13	Ensayo a compresión de un cubo de mortero	40
14	Placa para ensayo de adherencia	41
15	Colocación de placa para ensayo de adherencia	41
16	Muestra de malla electrosoldada para ensayo a tensión	43
17	Medición de diámetros con Vernier	44
18	Sistema de ensayo	45
19	Muestra fallada	45
20	Relleno en grieta	47
21	Banda de malla vertical	48

22	Espaciamiento de clavos en banda vertical	49
23	Banda de malla horizontal	50
24	Espaciamiento de clavos en banda horizontal	50
25	Guías para mortero	52
26	Superficie final de mortero	53
27	Dirección de la fuerza	54
28	Equipo utilizado en el ensayo	55
29	Primeras grietas	57
30	Prolongación de grietas	58
31	Distribución del módulo de adobe	77

## TABLAS

I	Proporción de morteros	36
II	Resultados teóricos de resistencia del módulo de adobe	56
III	Resultados teóricos por lado	57
IV	Resultados de ensayo previo	58
V	Resultados	59
VI	Precios y cantidades de materiales	62
VII	Materiales por metro cuadrado	63
VIII	Resumen estadístico de viviendas	78

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Desgaste de una superficie por fricción o frotación
<b>Corte</b>	Fuerza tangente al plano en donde actúa una fuerza, manifestándose como fallas diagonales.
<b>Ductilidad</b>	Propiedad de un material de poder sufrir gran deformación permanente, sin llegar a la falla.
<b>Flexión</b>	Encorvamiento que sufre un sólido por la acción de una fuerza, presentándose tensión y compresión en el sólido
<b>Fraguado</b>	Cambio del mortero de un estado plástico a un estado sólido.
<b>Momento</b>	Fuerza que actúa sobre un brazo de giro



## RESUMEN

El adobe es uno de los materiales de mayor uso en comunidades rurales, debido a su fácil elaboración y bajo costo, es utilizado como material de construcción aún en la actualidad. Las construcciones con adobe y la existencia de las mismas, son comunes en Guatemala.

En este estudio se propone una alternativa que permite restaurar con mejor ductilidad, y que al momento de un sismo no colapse inmediatamente. Pero no sólo se trata de un refuerzo funcional, sino también va de la mano de su costo, debido a que las viviendas de adobe son construidas en su mayoría por sus propietarios, y es por eso que es necesaria una alternativa fácil de implementar y de bajo costo como es el método de las bandas de malla electrosoldada y mortero. Este refuerzo consiste en clavar directamente sobre los muros malla electrosoldada de  $\frac{3}{4}$ " con clavos de  $2 \frac{1}{2}$ " con tapas de agua gaseosa y recubierto con mortero 1:4 de proporción cemento:arena, simulando vigas y columnas, colocadas en ambas caras de los muros.

En comparación con un estudio previo se han obtenido resultados favorables, que sobrepasan los datos teóricos y experimentales de dicho estudio.



# OBJETIVOS

## **General**

Proponer una alternativa de refuerzo para viviendas de adobe que sea funcional y de bajo costo, que pueda ser implementada como un modelo a seguir en un futuro en comunidades rurales.

## **Específicos**

1. Identificar las fallas comunes en viviendas de adobe cuando ocurre un terremoto.
2. Analizar y experimentar el sistema de refuerzo de bandas, a base de malla electrosoldada y mortero.
3. Analizar los aspectos económicos y culturales que conlleva implementar el sistema de refuerzo.



# INTRODUCCIÓN

En Guatemala, existe una gran cantidad de viviendas de adobe que carece de refuerzos estructurales, debido a que eleva el costo de construcción y debido a desconocimiento de soluciones estructurales se omiten estos refuerzos. Estas viviendas son construidas por sus propietarios, ya que son de bajo costo y de fácil construcción.

Teniendo como punto de partida, que estas viviendas son altamente vulnerables a la acción de un sismo, es necesario identificar las causas por las que fallan o colapsan, por medio de documentación escrita o gráfica, para establecer una tendencia de falla e identificar los puntos más críticos de la vivienda. Con lo anterior resuelto, se analizó un sistema de refuerzo que proporcione a la vivienda una mayor resistencia al efecto de sismo, y que permita aumentar el punto de colapso. Este sistema de refuerzo es a base de bandas de malla electrosoldada y mortero; su función es aumentar la resistencia de los muros a esfuerzos de corte por medio de elementos tipo bandas horizontales y verticales, es decir, se colocó una banda horizontal alrededor de la vivienda (un cerramiento o corona) simulando vigas y bandas verticales simulando columnas. Como recubrimiento se aplicó un mortero a base de cemento y arena.

Para lo anterior, fue necesario ensayar en laboratorio el sistema, por medio de ensayos a muros de adobe a corte, con lo cual, pudimos comparar entre muros no reforzados y muros reforzados con este sistema. Se realizó un análisis de costos, ya que este sistema por sus materiales y su forma de aplicación, puede ser hecho por el propietario de la vivienda; además, como es costumbre estas viviendas son construidas por sus propietarios con lo cual reducen el costo de construcción, por lo que el sistema de refuerzo también puede ser construido por el propietario de la vivienda, con el fin de reducir costos.

# 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

El adobe como material de construcción para viviendas, se ha utilizado desde hace miles de años, en las culturas latinoamericanas, asiáticas, africanas y europeas. Alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de adobe. Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de adobe (2-5). En Guatemala según el último censo, (realizado a finales del año 2002) el 24.28% del total de viviendas a nivel nacional son hechas con adobe y es el segundo material más utilizado después del bloque de arena pómez<sup>1</sup>, ver tabla VIII en apéndice.

Es un material frágil, y también es un aislante térmico y acústico; tiene un bajo costo y los materiales necesarios para elaborarlo son accesibles, sobre todo en una comunidad rural; sus pobladores adoptan el sistema de construcción con adobe, no solo a las razones anteriormente descritas, sino también a que muchas de estas comunidades se encuentran en lugares muy alejados y el costo de acarreo o transporte de otros materiales es elevado.

---

<sup>1</sup> Según datos de los censos nacionales XI de población y VI de habitación del año 2002. El total de viviendas construidas con adobe ascienden a 625,905 de un total de 2,578,265 a nivel nacional; mientras que las construidas con bloques de arena pómez ascienden a 1,130,753.

Además, la elaboración de adobes es algo artesanal, es decir, es un oficio que se ha transmitido de generación en generación empíricamente. También hay que considerar que la construcción de viviendas de adobe es realizada por sus propios propietarios, llamado también autoconstrucción, y prescinden de profesionales calificados.

Existe documentación diversa alrededor del mundo respecto a la elaboración de adobes, incluso en la Facultad de Ingeniería de la USAC, se han elaborado diversas tesis dedicadas al estudio del adobe, y se han propuesto soluciones y alternativas para poder hacer más eficiente el elemento de adobe como material y sistema constructivo. Si bien es cierto que la construcción de este tipo de viviendas es por cultura, identidad y economía, en la actualidad toma importancia por la integración de los grupos humanos dentro de las ciudades.

## **1.2. Identificación de fallas comunes en viviendas de adobe**

### **1.2.1. Factores influyentes en las fallas**

En la construcción de cualquier tipo de edificación, intervienen diversos factores: económicos, sociales, estructurales, ambientales, culturales y de identidad, todos relacionados con la actividad sísmica. No debemos olvidar que Guatemala es un país con una actividad sísmica alta, en sus diferentes formas de generación, y que la vulnerabilidad en viviendas de adobe también es alta. Una parte muy importante de una edificación es la estructural.

Los refuerzos estructurales son el “esqueleto” de la misma y actúan en forma similar al esqueleto humano, soporta su peso propio, el peso de músculos, órganos, tejidos y piel, pero también soporta cargas externas que son transmitidas a los pies para ser distribuidas en el suelo.

De igual manera los refuerzos estructurales soportan su peso propio, el peso de cargas vivas, cargas muertas, cargas externas ya sea por sismo, viento, presión debido a un fluido, y son transmitidas a la cimentación para ser distribuidas en el suelo.

Además de los refuerzos estructurales existen otros factores que inciden u originan las fallas o incluso el colapso de viviendas de adobe como son los que se describen a continuación. En muchas de las viviendas de adobe existentes, no cuentan con refuerzos estructurales o algún tipo de refuerzo que permita hacer al sistema un tanto más dúctil. Además debemos considerar que la elaboración de bloques de adobe para la construcción, en la mayoría de casos, no se elaboran con materiales adecuados y las proporciones de los mismos tampoco son las adecuadas; incluso, el proceso de fabricación de dichos bloques no cuenta con un control de calidad mínimo y no está respaldado en una norma, reglamento, código o documento similar, que proporcione al constructor un material resistente, con medidas adecuadas, libre de agrietamientos o rajaduras y que no se desintegre con facilidad.

Otro factor es el proceso constructivo de la vivienda, como en cualquier edificación; una mala construcción puede dar origen a puntos débiles en la vivienda, presentándose grietas o fisuras en los muros. Recordemos que los muros son construidos con una serie de elementos de adobe colocados en hileras, y que estas hileras deben estar unidas unas con otras. Esto se logra con un mortero colocado entre hileras, el cual se busca que tenga como mínimo una resistencia igual que el elemento que se está uniendo, ya que el muro debe comportarse como un elemento único, es decir, en el momento de recibir una carga y generarse esfuerzos en el muro, se debe transmitir ese efecto en los adobes y en el mortero como si éstos fueran uno solo.

Asimismo, debemos considerar como factores influyentes el espesor, altura y longitud de los muros, la simetría de la vivienda, el tamaño de los vanos de puertas y ventanas, el cimiento, el tipo de techo, que no se encuentre a una altura muy grande, y que la vivienda sea de un solo nivel.

### **1.2.2. Fallas**

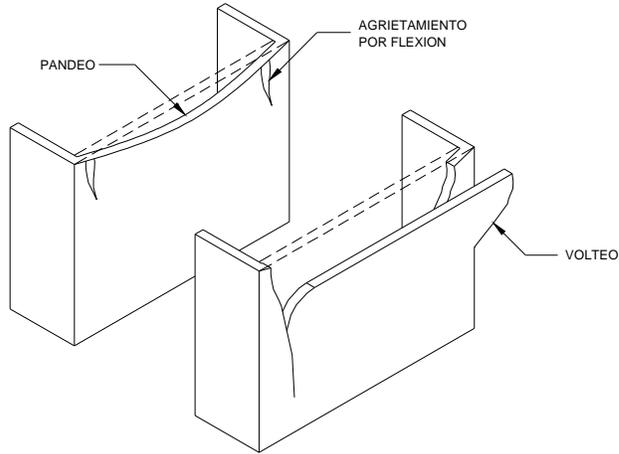
En el apartado anterior, hemos analizado varios factores que influyen o inducen las fallas. Uno de los más importantes es la calidad del adobe. Debido a que este material tiene una baja resistencia ante esfuerzos de compresión y tensión, y que también es afectado por la abrasión de la intemperie, provocada por las lluvias, inundaciones y el viento. Los modos de falla más comunes en muros de adobe, debido a sismos, son el corte, volteo y pandeo de muros (flexión en el muro) en la parte superior, como se muestra en la figura 1; esto es debido a:

- La excesiva relación longitud y altura del muro
- No contar con muros transversales que le ayuden como refuerzo
- Un pobre anclaje entre muros
- Un pobre anclaje y rigidez del techo

Cuando el techo está formado por vigas que no están constituidas en una armadura como un solo elemento, permite el movimiento perpendicular de los muros en su extremo superior. Además, los muros vibran debido a la fuerza de inercia que actúa paralelamente a sus planos, generando momentos flexionantes que son máximos en los extremos laterales del muro y que tienden a provocar grietas en forma vertical a partir del techo hacia abajo y el muro empieza a comportarse como una viga en voladizo (6-419), ver figura 2.

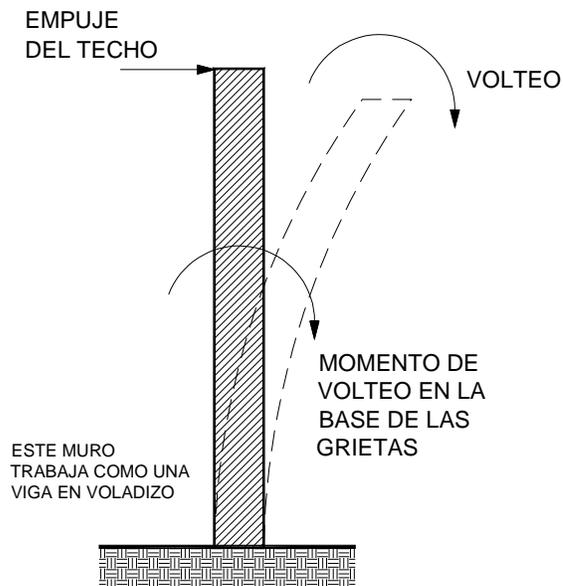
Los momentos de volteo se presentan en la base de la longitud agrietada y se vuelven críticos a medida que la longitud aumenta y finalmente provoca el volteo del muro, generalmente hacia fuera, colapsando el techo. Esto es debido al mal anclaje o unión entre el techo y los muros; además las vigas provocan un empuje en el muro, especialmente si están inclinadas, con lo cual contribuye al volteo del muro y ocasionalmente producen una falla local en el muro, es decir un volteo local del muro (6-419).

Figura 1. Pandeo y volteo de muros



Fuente: **International conference on natural hazards mitigation, research and practice: small buildings and community development.** Pág. 430.

Figura 2. Factores que provocan el volteo



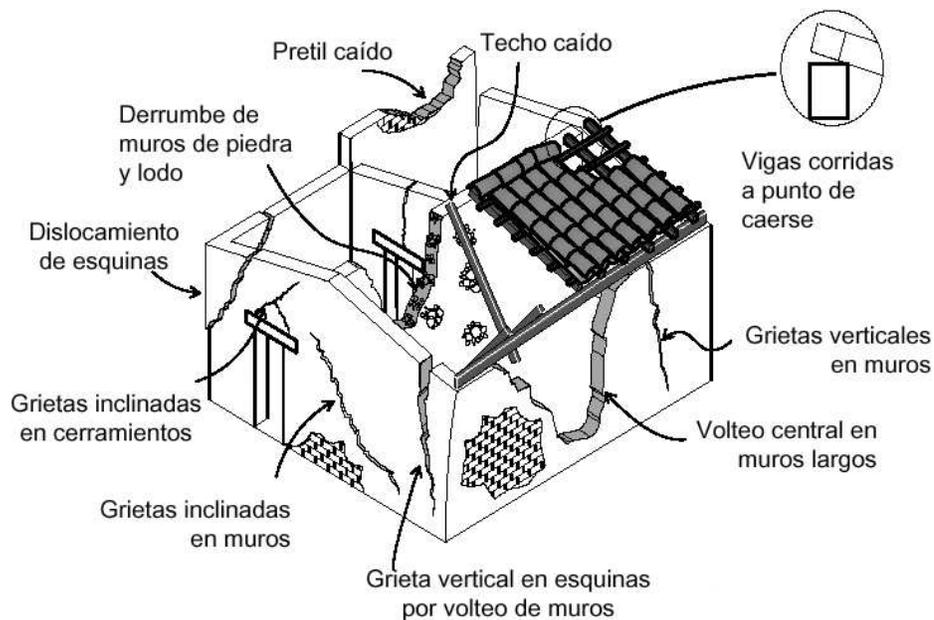
En la situación anteriormente mencionada, el pandeo transversal (flexión) es la fuerza interna gobernante. Si el techo se encuentra unido entre sí, y está anclado adecuadamente a los muros, la vivienda actúa como un único elemento, como si fuera una caja, en donde las fuerzas gobernantes son las de corte. Si la vivienda cuenta con una buena distribución de muros en ambos sentidos, es decir ortogonalmente, puede resistir fuerzas laterales de considerable magnitud, así como soportar altas intensidades sísmicas. La falla que se provoca son grietas en diagonal, debido al corte; pero debemos recordar que la resistencia del muro se ve reducida drásticamente si cuenta con grandes aberturas, como lo son los vanos de puertas y ventanas (6-419).

Los dos modos de falla anteriormente mencionados, pueden estar afectados por otros efectos, fuerzas concentradas debido a masas grandes de muros, fuerzas de torsión por no contar con una distribución simétrica de muros, una mala cimentación que sea capaz de transmitir las fuerzas laterales originadas entre el suelo y los muros y que evite asentamientos desiguales en condiciones de un suelo no apto para resistir una estructura o con grandes asentamientos (6-420).

Como se ha mencionado, un punto débil en una estructura de adobe es la unión entre muros. Esta unión debe estar hecha de tal forma que los elementos que se estén uniendo se comporten como una unidad, ya que si no sucede esto, cuando actúa un sismo se produce una separación entre sus miembros, regularmente en las esquinas, y si agregamos el efecto de volteo, provocará que la o las esquinas de las viviendas se separen y se derrumben. Además en las esquinas de los vanos de puertas y ventanas se producen concentraciones de esfuerzos, los cuales provocan agrietamientos diagonales a partir de esa esquina, como se muestra en la figura 3.

Los efectos anteriormente mencionados, son similares de una región a otra, debido al comportamiento del material, en este caso el adobe; con esto se establece un patrón de fallas como las que aparecen en la figura 3. En la figura 4 se pueden apreciar distintos modos de fallas, con lo cual tenemos una idea del comportamiento del adobe y tomando en cuenta este comportamiento se han realizado estudios en diferentes partes, que recrean estas situaciones y así, proponer soluciones y alternativas de refuerzos, para que este tipo de viviendas sean menos vulnerables a los sismos.

Figura 3. **Daños comunes en viviendas de adobe**



Fuente: **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** Pág. 5

Figura 4. **Daños en viviendas alrededor del mundo**



**Jabalpur, India 1997**



**Nazca, Perú 1996**



**El Salvador, febrero 2001**



**Jabalpur, India 1997**

Fuente: Marcial Blondet y otros. **Construcciones de adobe resistentes a los terremotos:**  
tutor. Pág. 6

### **1.3. Tipos de sistemas de refuerzo que existen en la actualidad**

En cualquier comunidad, principalmente rural, la construcción de viviendas de adobe hoy en día sigue realizándose, por razones de tipo económico o culturales. Recordemos que este tipo de vivienda es de autoconstrucción, es decir, sus moradores las construyen sin supervisión alguna de una persona especializada y con materiales que en algunos casos, no son de buena calidad.

Debido a lo anterior, se han realizado a nivel Latinoamericano estudios en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) de la USAC, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con el fin de establecer las propiedades mecánicas del adobe, como su resistencia a la compresión, tensión y corte; así como también las proporciones necesarias y materiales para elaborarlo y sus dimensiones y forma. Pero, también se ha estudiado el adobe como sistema constructivo, el tipo de mortero para unir las unidades de adobe, la cimentación de los muros de adobe, la altura, espesor y largo de los muros, el tamaño y la cantidad de aberturas o vanos en los muros, entre otros.

Los estudios realizados han evaluado el adobe como sistema constructivo, a base de ensayos en prismas y muros, a corte y compresión (Guatemala), así como módulos a escala natural o a una escala reducida en mesas vibratorias (México y Perú); tal es el caso en la UNAM que se recrearon tres registros de terremotos, El Centro en 1940, Managua en 1972, y Oaxaca en 1973, para establecer fallas y puntos débiles en el sistema. Caso similar es el de Perú que a partir de 1972 se realizaron los primeros ensayos en módulos, muros y prismas de adobe.

Todas estas investigaciones han arrojado resultados útiles para proponer soluciones estructurales que ayuden a prevenir o retrasar el colapso de viviendas de adobe con rapidez. Existen diferentes soluciones tanto para nuevas viviendas como para viviendas existentes. En este estudio nos centraremos en una alternativa para viviendas existentes, pero describiremos algunas soluciones para nuevas viviendas y viviendas existentes, para conocer las diferencias entre los mismos y que el lector tenga una panorámica de las distintas soluciones.

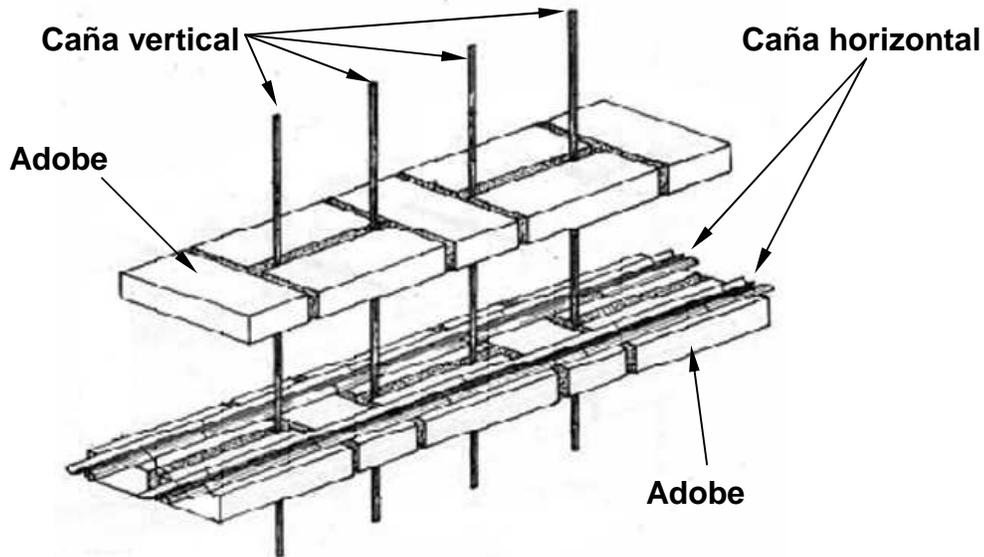
### **1.3.1. Sistemas de refuerzo para nuevas viviendas**

Para el caso de nuevas viviendas que se deseen construir, podemos recurrir a mejorar el adobe como material, agregándole algún tipo de aditivo, mezcla o algún tipo de material que trabaje como estabilizador, como el cemento Pórtland, la cal, algún elemento vegetal, azufre y también podemos recurrir al asfalto. Los estabilizantes son utilizados para limitar variaciones de volumen, provocados por la arcilla y el desproporcionamiento y calidad del agua en la mezcla, así como impedir el exceso de absorción de agua (8-8).

Para proporcionar una rigidez adecuada a la estructura y que sea capaz de resistir cargas laterales de considerable magnitud, se utilizan cañas de castilla, colocadas en el interior del muro, como elemento estructural y que pasan a formar parte del muro como elemento único. Estas cañas se colocan en ambos sentidos, vertical y horizontal, las verticales se colocan dentro del adobe, se puede realizar perforando los adobes o colocarlas entre sisas.

Para las cañas en sentido horizontal se colocan en la sisa, haciendo notar que las cañas verticales se colocan completas, mientras que las horizontales se colocan tiras o bandas de caña, mitades, en la sisa, como se ve en la figura 5. Las cañas van ancladas desde la cimentación y amarradas entre sí, en algunos casos.

Figura 5. Refuerzo de caña en muros de adobe

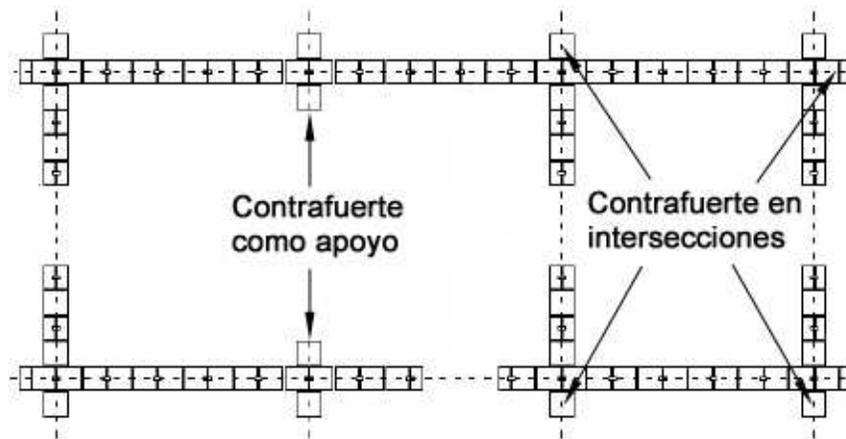


Fuente: Marcial Blondet y otros. **Adobe in Peru, tradition, research and future.** Pág. 6

Otro sistema de refuerzo para nuevas viviendas es el de contrafuertes, como se muestra en la figura 6. Los contrafuertes son salientes que se colocan en las uniones de muros longitudinales y transversales, en esquinas, y también se colocan en muros excesivamente largos, que no cuentan con muros en el sentido opuesto o algún tipo de apoyo o refuerzo intermedio (por ejemplo columnas), con el fin de reducir esta longitud.

Esto también se puede lograr agregando muros transversales para reducir longitudes, que estén bien anclados al cemento y a los muros existentes. Los contrafuertes colocados en muros sin apoyos o los muros transversales, reducen el efecto de flexión y pandeo, y aumentan el área neta del muro para resistir cargas laterales y disminuyendo la posibilidad de falla por corte (6-422).

Figura 6. Refuerzo con contrafuertes



Fuente: Dominic Dowling. **Improved adobe in El Salvador.** Pág. 14

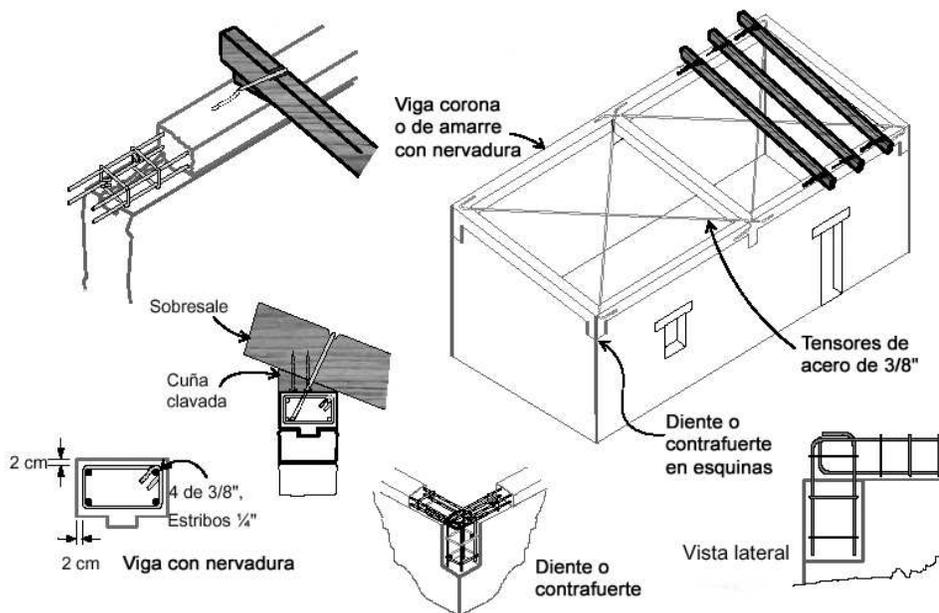
En la figura 6 se muestra la planta de una pequeña guardería construida en el año 2002 en El Salvador, en la cual, se combinaron los sistemas de refuerzo de viga corona, contrafuertes, cimiento de piedra y concreto y refuerzo con cañas; aunque en el sentido horizontal no se colocaron cañas sino que se utilizó alambre espigado para unir las cañas verticales.

### 1.3.2. Sistemas de refuerzo para viviendas existentes

Una solución de refuerzo para viviendas existentes, es la colocación de una viga corona o viga collar que sirva de amarre en la parte superior de la vivienda, que puede ser de madera o de concreto. Para este último, es un poco dificultoso adquirir un buen anclaje o adherencia entre el adobe y el concreto. Debido a los cambios volumétricos por contracción y humedad, el adobe tiende a separarse del concreto por lo que el efecto de amarre de la viga se pierde.

Para resolver este problema es necesaria una viga con nervadura y que en las esquinas tenga un diente o contrafuerte (6-421), como se aprecia en la figura 7. Además se muestra una solución para estabilizar el techo y los muros a base de tensores.

Figura 7. Refuerzo con viga corona con nervadura y estabilización del techo



Fuente: **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** Pág. 13

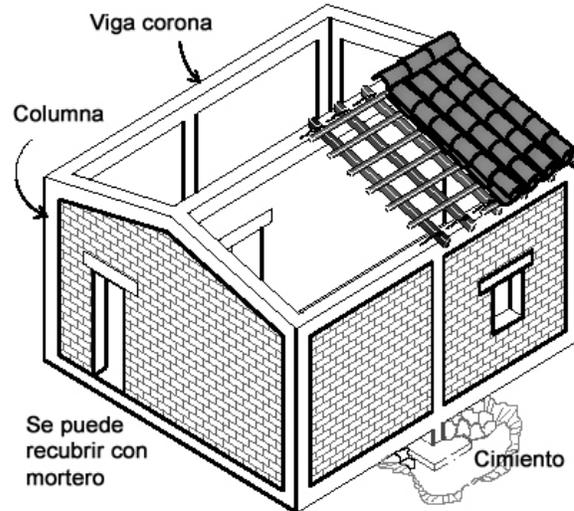
La anterior alternativa puede ser utilizada tanto en nuevas viviendas o en viviendas existentes dañadas por terremotos.

Sin embargo, debemos recordar que obtenemos mejor resultados contra efectos de sismo si colocamos refuerzos verticales; es importante remarcar que los refuerzos deben colocarse en ambos sentidos, vertical y horizontal, ya que obtendremos mejores resultados que colocándolos solo en un sentido. Con base en lo anterior, se propone otra solución, colocar columnas en las esquinas y en los vanos de mayor abertura, además de la viga corona, ver figura 8; esto proporcionará un confinamiento a los muros de adobe, aportándole un comportamiento dúctil (6-421).

En contraste con proporcionarle ductilidad y resistencia a la flexión a la vivienda, este sistema puede adquirir un costo elevado. Esto debido a las grandes masas de concreto que se necesitan y la cantidad de acero necesarios para cubrir toda la vivienda (6-421). Recordemos que estas viviendas generalmente son autoconstruidas y financiadas por sus propietarios.

Este sistema anteriormente descrito, se puede fusionar con el de refuerzo con cañas, ya que, las cañas deben estar ancladas en los refuerzos principales, en el cimiento, vigas y columnas. En el caso de la cimentación se debe construir con piedra o concreto, ya que son materiales muy resistentes ante cambios de humedad en el suelo; además la cimentación es conveniente que esté por lo menos 30 centímetros arriba del nivel del suelo, para prevenir daños en las bases de los muros por condiciones climáticas o de intemperie. Además el terreno debe ser lo más plano posible, el suelo no debe ser suave y que no sufra asentamientos diferenciales (6-427).

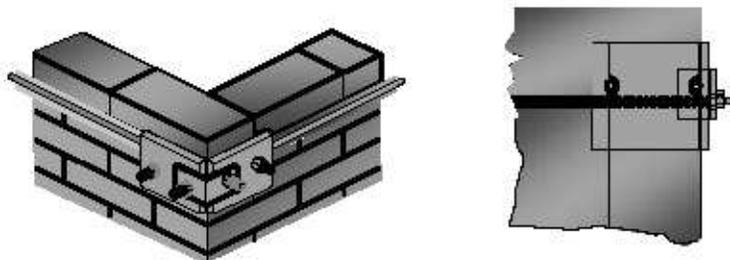
Figura 8. Refuerzo con vigas y columnas



Fuente: **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** Pág. 9

Otro método utilizado es colocar varillas de acero en sentido horizontal, como tensores, en la parte superior de los muros, tanto dentro como fuera de la vivienda, los cuales pueden ser ligeramente postensionados y así compresionar el muro (6-422). Estas varillas de acero se anclan en los extremos con platinas de acero o madera y se colocan dentro de una pequeña hendidura en el muro, que se protege con un mortero o con adobe, ver figura 9.

Figura 9. Refuerzo con varillas de acero

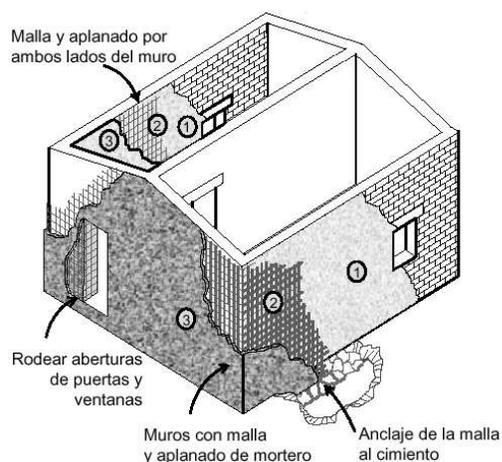


Fuente: **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** Pág. 15

Otra solución para viviendas existentes ha sido estudiada en México. Este sistema es un refuerzo continuo en toda la vivienda, consiste en recubrir la vivienda, tanto dentro como por fuera, así como los vanos de puertas y ventan, con una malla electrosoldada clavada en el muro y recubierta con un mortero.

Este refuerzo ha sido propuesto desde los años 80 y como se ha consultado en fuentes bibliográficas, y ha sufrido algunas modificaciones. Primeramente, se proponía colocar varillas de acero en los perímetros de los vanos y en la parte superior de los muros o bien una viga corona, así como en las esquinas de los mismos, esto con el fin de lograr amarrar la malla a las varillas de acero y evitar la separación de la malla (6-423). Pero una publicación más reciente del Centro de prevención de desastres naturales CENAPRED en México, del año 2000, propone la aplicación del sistema, con unas variantes. Se aplica un mortero primeramente, se deja secar, se procede a clavar la malla y luego se le aplica mortero nuevamente (4-6), eliminando totalmente las varillas de acero. Este sistema se puede apreciar en la figura 10.

Figura 10. **Refuerzo con malla y mortero**



Fuente: **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** Pág. 7

A pesar de ser una solución bastante efectiva, se ve afectada por su costo, debido a que se debe cubrir toda la vivienda con la malla y el mortero. Si se procede a implementar la solución descrita en la documentación del CENAPRED, se debe contemplar la malla y dos recubrimientos con mortero; esto hace que el costo para el propietario sea un tanto elevado, ya que, como hemos mencionado, las viviendas de adobe son autoconstruidas, así que los refuerzos que se implementen serán también autoconstruidos.

Además de todas estas soluciones o alternativas, tenemos otro factor que ayudará a reforzar una vivienda de adobe, independiente del tipo de refuerzo que utilicemos. Ese factor a considerar es el techo. El techo debe ser lo más liviano posible, debe contar con un buen anclaje o amarre con los muros y deben estar sujetos sus miembros entre sí, es decir, se deben amarrar las vigas entre si para que funcione como una armadura única, y de este modo se logrará una mayor rigidez en el techo. De esta manera, toda la vivienda actuará como una caja, es decir como un solo elemento, capaz de transmitir las cargas a los muros y estos a su vez, a la cimentación para ser transmitidas al suelo.

Debemos tener en cuenta la mayoría de factores posibles, que incidan o incluyan en la construcción de viviendas de adobe o bien en implementar un refuerzo para las mismas. Un resumen gráfico se hace en la figura 11.

Figura 11. **Consideraciones en la construcción y/o refuerzo de viviendas de adobe**



Fuente: Dominic Dowling. **Improved adobe in El Salvador.** Pág. 12

Otra alternativa de refuerzo es el método de bandas de malla electrosoldada y mortero, el cual será descrito, estudiado y analizado en posteriores capítulos, ya que es el punto central del presente trabajo.



## **2. ANÁLISIS Y ENSAYOS**

### **2.1. Sistema de refuerzo: bandas de malla electrosoldada y mortero**

#### **2.1.1. Descripción del sistema**

Como todos los refuerzos expuestos en el capítulo anterior, esta alternativa nace por la necesidad de crear un refuerzo que soporte los efectos de un sismo al proporcionarle ductilidad a la vivienda de adobe, que retrase el colapso o que lo evite si es posible, que sea confiable, simple y barato, y que su costo pueda ser absorbido por sus propietarios. Aunque como en cualquier país latinoamericano, las comunidades rurales en su mayoría son de bajos recursos, y en algunos casos no es posible adoptar un sistema de refuerzo por el costo que representa, aún sabiendo la importancia del mismo ante un sismo. Otro factor que incide son los techos que no trabajan como diafragmas, ya que muchas veces la separación de los tendales es muy grande, tal es el caso de la visita realizada por el Ing. Mario Corzo a Jerez, Jutiapa, en el transcurso del año 2005, donde pudo apreciar que la separación de los mismos era más de 1.25m.

El sistema está basado en el refuerzo de malla y mortero, teniendo la similitud de la malla electrosoldada y el mortero, pero con la diferencia que no se aplica en toda la vivienda. Este refuerzo ha sido estudiado en México y Perú, pero en Guatemala no existe documentación al respecto, por lo que nos basaremos en los estudios realizados en el Perú.

Diferentes estudios se realizaron en Perú (en la Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP), con el fin de obtener una vivienda de adobe con un mejor comportamiento sísmico; concentrándose en viviendas existentes de adobe, se propuso un refuerzo externo, con lo cual se ensayaron diferentes materiales. Los materiales ensayados fueron tablas de madera, lazos de  $\frac{1}{2}$  pulgada (1.27cm), malla de gallinero y malla electrosoldada de 1mm de diámetro. Realizaron distintos simulacros sísmicos en mesas vibratorias, a muros en forma de “U”, es decir 3 muros conformaban la “U”, con y sin refuerzo (1-7), ver figura 12.

Figura 12. **Ensayos en mesa vibratoria**



Fuente: Marcial Blondet y otros. **Adobe in Peru, tradition, research and future.** Pág. 6

Estos ensayos reflejaron que el material más efectivo como refuerzo fue la malla electrosoldada, la cual ayudó a retrasar el colapso del muro, ya que su resistencia fue ocho veces mayor que la de gallinero.

El sistema de refuerzo en estudio, como ya hemos mencionado, es una derivación del refuerzo con malla electrosoldada y mortero aplicada a toda la vivienda. Pero para este caso las bandas simulan vigas y columnas en la vivienda, además se colocan bandas verticales en vanos de puertas y de ventanas muy grandes. La aplicación de la misma es bien sencilla, consiste en clavar directamente sobre el muro de adobe (interior y exterior) la malla electrosoldada por medio de clavos y tapas de gaseosas; colocando primeramente las bandas verticales (columnas) de manera continua, mientras que las bandas horizontales (vigas) se colocan después de las verticales pudiéndose traslapar 30cm a un tercio de la longitud del muro, evitándose traslapes a la mitad o en las esquinas del mismo; luego de haber clavado las bandas de malla, se procede a recubrir el refuerzo con un mortero.

Existen dos variantes entre la propuesta de refuerzo peruano y el presente en estudio; primeramente, en la propuesta peruana existe un cable de acero que se coloca perforando el muro para que este se engrape o ancle a ambas caras del muro, colocándose a cada 25cm sólo en el sentido vertical, y luego de estar engrapado o anclado a las caras del muro es necesario rellenar el agujero por donde atraviesa el muro. Estructuralmente ayuda a que la malla no se corra o se desclave del muro además de tensar ambas caras de la malla, pero por otro lado conlleva más tiempo y costo en su instalación, por lo que se ha omitido su instalación; y por último se ha substituido el cemento Pórtland tipo I de 5000psi, por un cemento Pórtland puzolánico de 4000psi.

## 2.1.2. Elementos del sistema

### 2.1.2.1. Morteros

En el caso del mortero, primeramente se establecieron ocho tipos de morteros, es decir, ocho proporciones diferentes con diferentes materiales para obtener una muestra más amplia. Las ocho proporciones de morteros las podemos apreciar en la tabla I.

Tabla I. Proporción de morteros.

Mortero	Proporción	Materiales
1	1:1:4.5	cemento:cal:arena de río
2	1:4	cemento:arena de río
3	1:0.5:3.5	cemento:cal:arena de río
4	1:3 (0.75:0.25:3)	cemento:cal:arena de río
5	1:0.5:3.5	cemento:cal:arena amarilla
6	1:3	cemento:arena amarilla
7	1:3	arcilla:arena amarilla
8	1:3	arcilla:arena de río

Estos morteros nos ayudan a comparar entre ellos sus propiedades tanto de compresión, como de adherencia. No solo es importante establecer cuanto esfuerzo de compresión pueda resistir, sino también cuanta adherencia tendrá con el adobe, que recordemos, es un material elaborado de una manera “artesanal” con materiales que hasta cierto punto son orgánicos, y su comportamiento de adherencia difiere a como se comportaría con concreto.

En el estudio realizado por la PUCP, se ha utilizado una proporción de mortero 1:4 (cemento:arena); cemento Pórtland tipo I y arena de río. Para nuestro estudio, utilizamos la misma proporción pero modificando el tipo de cemento, es decir, hemos utilizado un cemento Pórtland puzolánico. El cemento utilizado fue: Cemento UGC (Cementos Progreso) cemento Pórtland puzolánico, norma ASTM C 1157 UGC-28 (Tipo GU) de 4000 psi. Se ha considerado utilizar este cemento para reducir el costo del refuerzo, ya que éste será cubierto por sus propietarios, y la mayoría de ellos son de recursos bajos; por lo que ofrecer una alternativa de bajo costo y funcional es lo ideal.

El cemento utilizado en los morteros 1, 2, 3, 5 y 6, se ha utilizado Cemento UGC (Cementos Progreso) cemento Pórtland puzolánico, norma ASTM C 1157 UGC-28 (Type GU) de 4000 psi; mientras que, para el mortero 4 se ha utilizado cemento mezclado, Cemento Pórtland tipo I y escoria de siderurgia, en una proporción de 75% de cemento y 25% de escoria<sup>2</sup>. Hemos utilizado este cemento como otra alternativa de comparación y comportamiento en adherencia con el adobe.

---

<sup>2</sup> El estudio completo acerca de este tipo de cemento mezclado puede ser consultado en la tesis "Evaluación y aplicación de morteros de mampostería elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno", autor Kenneth Alejandro Molina Escobar, Ing. Civil, USAC; ya que al momento de realizar este trabajo de investigación, dicha tesis también se encuentra en desarrollo.

Para el caso de los morteros 7 y 8 se ha utilizado una arcilla como aglomerante, dicha arcilla proviene de la Aldea El Carrizal, Jutiapa, Guatemala. La utilización de una arcilla nos ayuda a comparar su resistencia a compresión y su adherencia con el adobe. Además se debe considerar que el tipo de arcilla difiere de un lugar a otro, esto se comprueba al realizarse los respectivos ensayos en el laboratorio de suelos<sup>3</sup>.

El agregado fino de los morteros 1, 2, 3, 4 y 8 es arena de río, cernida en el tamiz No.4 (4.75mm); mientras que en los morteros 5, 6, y 7 se utilizó arena amarilla. Se han utilizado dos tipos de agregado fino que difieren tanto en propiedades físicas y mecánicas, como también en costos, con el objetivo de obtener resultados comparativos.

Debemos tener en cuenta que los agregados finos utilizados en las proporciones, no fueron ensayados, ya que esto nos desviaría de nuestro punto de investigación. Pero se ha tratado de utilizar materiales “óptimos”, es decir, agregados finos que no contengan materia orgánica, libres de suciedad y mal olor, y que pase el tamiz No. 4; para el caso de la humedad en la arena de río, nos basta decir que se puede utilizar un tanto húmeda, pero no escurriendo agua, ya que esto alteraría la resistencia de nuestro mortero, ya que el mismo también cuenta con una proporción de agua.

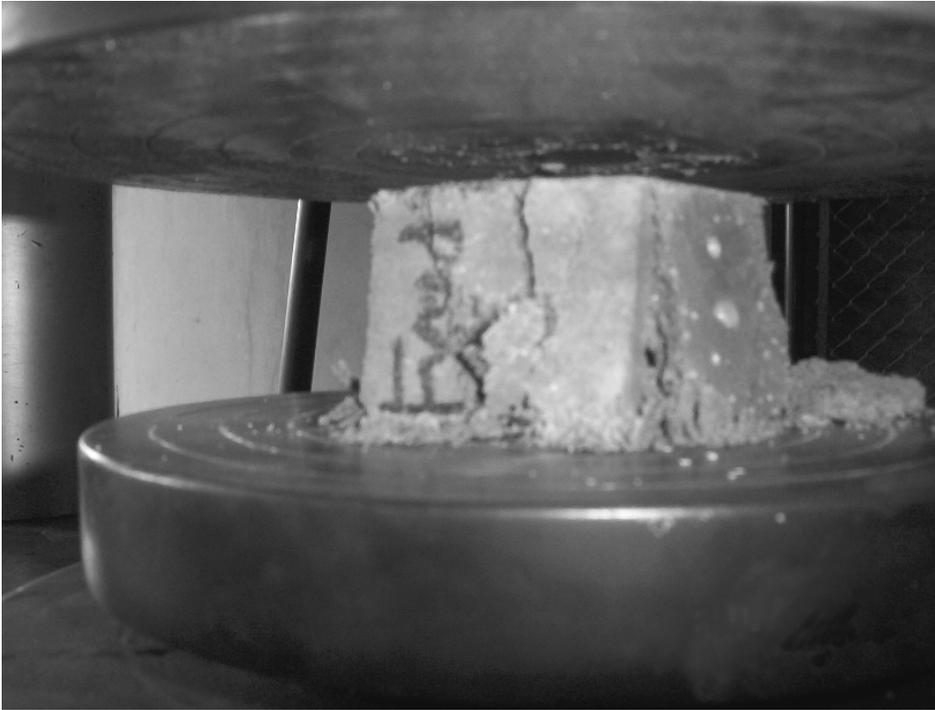
---

<sup>3</sup> Esta arcilla ha sido estudiada en la tesis “Relación granulometría adherencia mecánica de suelos usados como revestimiento”, autor Luis Eduardo Palencia Flores, Ing. Civil, USAC.

Para la proporción de agua se recomienda que la mezcla sea manejable, es decir que no contenga demasiada agua debido a que, demasiada o muy poco agua varía nuestra resistencia en el mortero. Además es de tener en cuenta que, en campo la proporción de agua muy rara vez es medida, ya que el obrero encargado de elaborar la mezcla simplemente agrega agua hasta obtener una manejabilidad deseada. En el laboratorio se han ensayado estos morteros en base a la norma ASTM C 109, por lo tanto, hemos establecido la cantidad de agua de una manera más precisa.

Las muestras a ensayar son cubos hechos con mortero en moldes de bronce, de medida 2pulg x 2pulg x 2pulg (ancho x alto x profundidad), elaborando 3 muestras por edad, en edades de 3, 7 y 28 días, para el caso de los morteros que contienen arcilla sus edades han sido de 10, 19 y 40 días, obteniendo un total de 9 muestras por mortero. Estos cubos fueron ensayados a compresión en la máquina universal de ensayos a sus diferentes edades, como lo requiere la norma para determinar su resistencia a compresión, ver figura 13.

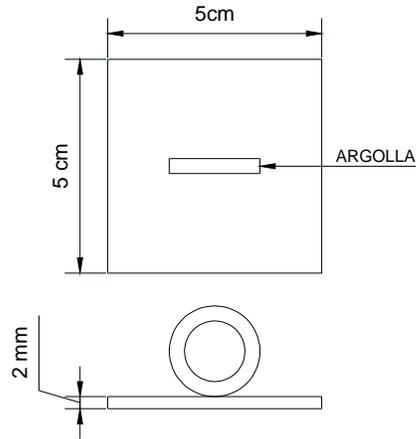
Figura 13. **Ensayo a compresión de un cubo de mortero.**



Fuente: **Propia**

Además del ensayo a compresión, se realizó el ensayo de adherencia, el cual consiste en colocar mortero sobre una muestra de adobe dejándose secar por 28 días. Cinco a siete días previos a cumplir su fecha de ensayo, se pega una pequeña placa cuadrada, en la superficie del mortero; la placa debe contar con una pequeña argolla soldada, para poder halarla y así aplicarle una fuerza de tensión, ver figura 14. El objetivo es registrar el máximo esfuerzo soportado por el mortero al aplicarle una fuerza de tensión, con la cual se desprenderá de la superficie del adobe.

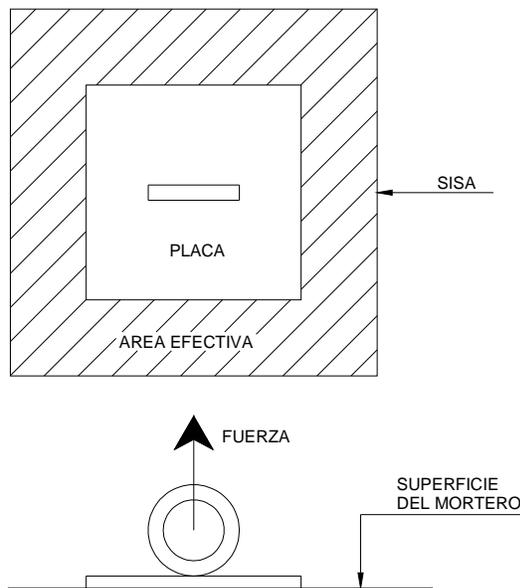
Figura 14. **Placa para ensayo de adherencia.**



Fuente: **Propia**

Además fue necesario sisar el mortero en un área alrededor del mortero para reducir el área efectiva en donde el esfuerzo se aplica, ver figura 15.

Figura 15. **Colocación de placa para ensayo de adherencia.**



Los resultados obtenidos se encuentran publicados en el apéndice, y de los cuales escogimos el mortero óptimo que sea resistente a la compresión pero que tenga una buena adherencia; tal es el caso del mortero 2, mencionado anteriormente, el cual en promedio tiene una resistencia a compresión de 100.60 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en adherencia obtuvo 2.66 Kg/cm<sup>2</sup>, ambos resultados a los 28 días de fraguado. Este mortero es el óptimo para ser utilizado como recubrimiento en nuestra investigación, ya que aunque no haya tenido el valor más alto en lo que a resistencia a compresión se refiere, si ha obtenido el valor más alto en adherencia.

#### **2.1.2.2. Mallas**

Existen diferentes tipos de mallas en el mercado que podríamos utilizar con refuerzo en nuestro sistema; sin embargo, basándonos en estudios realizados por la PUCP, hemos elegido la malla electrosoldada. La malla electrosoldada utilizada es de forma cuadrículada con puntos de soldadura en sus vértices. En comparación con la malla de gallinero la malla electrosoldada tiene una mayor resistencia, debido a sus puntos de soldadura los cuales a diferencia de la de gallinero, le proporcionan una mayor resistencia. En la malla de gallinero los alambres van entorchados entre si, formando polígonos irregulares de 6 lados (hexágonos más largos en un eje). Esto provoca que los alambres se logren separar o deslizar al aplicarles una fuerza.

La malla electrosoldada es una cuadrícula de 3/8 de pulgada de abertura, con alambres de 1mm de diámetro y calibre 18. Entre las mallas electrosoldadas, existen diferentes aberturas, como 3/4", 1/2", 3/8", 1", etc., pero debido al material a utilizar, la forma de empleo y el costo, la malla de 3/8" de abertura es la óptima a utilizar. A esta malla se le practicó el ensayo a tensión, utilizando muestras de malla de 33cm de alto por 17cm de ancho, ver figura 16, colocadas en mordazas especiales en la máquina universal de ensayos.

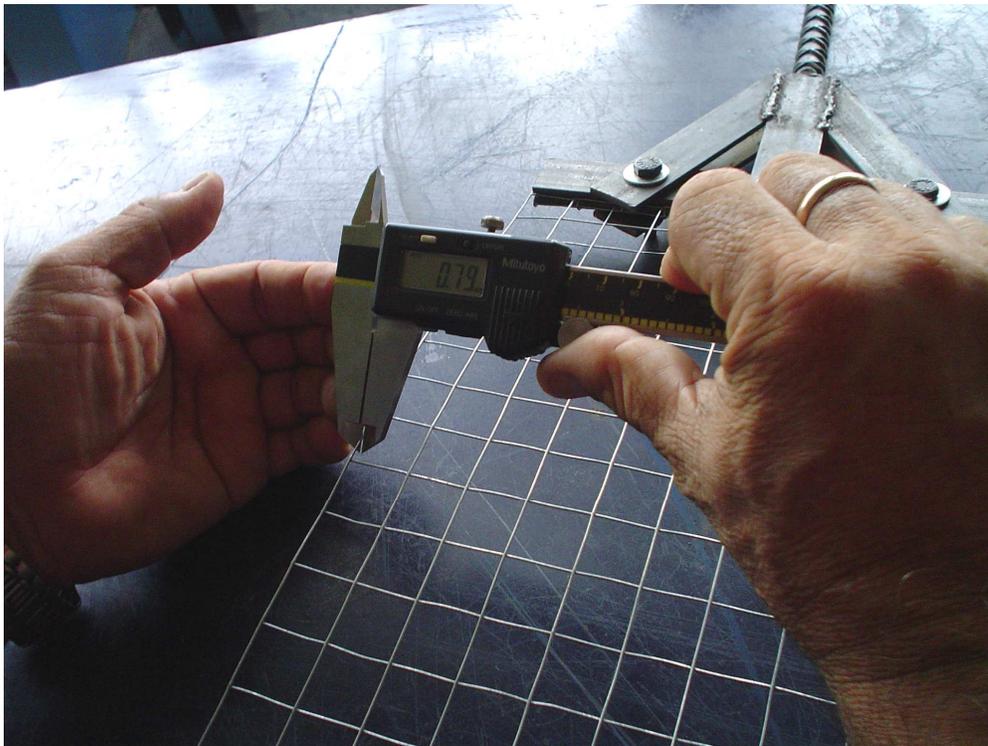
Figura 16. **Muestra de malla electrosoldada para ensayo a tensión.**



Fuente: **Propia**

Los alambres efectivos ensayados fueron 10, en el sentido de aplicación de la carga; además fue necesario establecer el promedio del diámetro de los mismos, ver figura 17. Los resultados del ensayo se pueden apreciar en el apéndice, obteniendo como resultado 5399.83 Kg/cm<sup>2</sup> de esfuerzo a tensión y 1520.59 Kg/m de carga distribuida; además podemos observar el sistema de ensayo y la falla en las figuras 18 y 19 respectivamente.

Figura 17. **Medición de diámetros con Vernier.**



Fuente: **Propia**

Figura 18. **Sistema de ensayo.**



Fuente: **Propia**

Figura 19. **Muestra fallada.**



Fuente: **Propia**

### **2.1.3. Ensayo de módulo de adobe**

#### **2.1.3.1. Procedimiento**

Ya finalizados los ensayos a los elementos que conforman el sistema, se procede a implementarlo en el módulo de adobe existente, construido como parte de un trabajo de tesis previo<sup>4</sup>, para establecer su resistencia a corte, utilizándola como solución de vivienda. El estudio citado servirá para comparar resistencias entre muros sin refuerzo fallados y muros con el refuerzo propuesto. La forma y medidas del mismo se pueden apreciar en el apéndice.

Los materiales utilizados fueron: cemento UGC (4000psi), arena de río, agua, malla electrosoldada de  $\frac{3}{4}$ " de abertura y 1mm de diámetro, clavos de 2  $\frac{1}{2}$ " y tapas de gaseosa. Primeramente, se debe limpiar la superficie y si ésta contiene repello es necesario removerlo previamente a instalar la malla, ya que debe colocarse directamente sobre el muro de adobe y, si tiene grietas, se deben rellenar previamente con el mortero 1:4, ver figura 20. En este caso el área a cubrir con malla y mortero es 45.60m<sup>2</sup>; en donde se debe simular vigas y columnas. Todo el refuerzo es de 45cm de ancho por el largo de cada elemento.

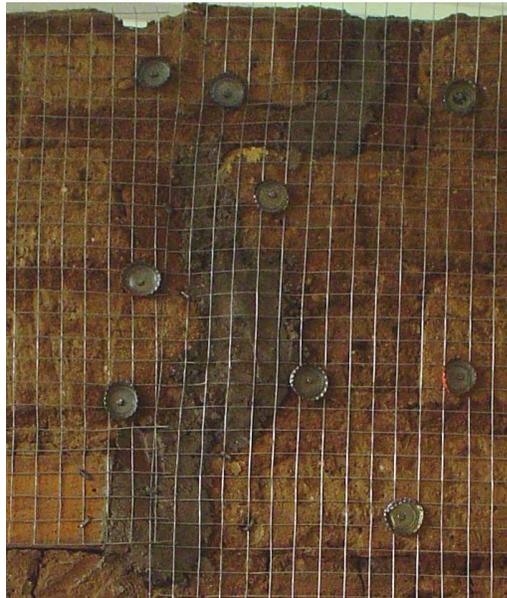
---

<sup>4</sup> Tesis: "Evaluación de un módulo de adobe para vivienda", realizado por Javier Adolfo Rodríguez Franco; en donde se describe a detalle su construcción así como ensayo.

La malla electrosoldada, viene en rollos de 30m de largo y 90cm de ancho, por lo que, para los elementos verticales se utilizó el ancho completo de la malla, debido a que éstos se colocan en esquinas y como es necesario cubrir ambos lados de la esquina, solamente se dobla para cubrirlos, obteniendo ambos lados de 45cm de ancho, ver figura 20; en el caso de vanos de puertas y ventanas muy grandes, se deben colocar bandas verticales en ambos lados del vano, cortándose la malla por la mitad, obteniendo bandas de 45cm de ancho.

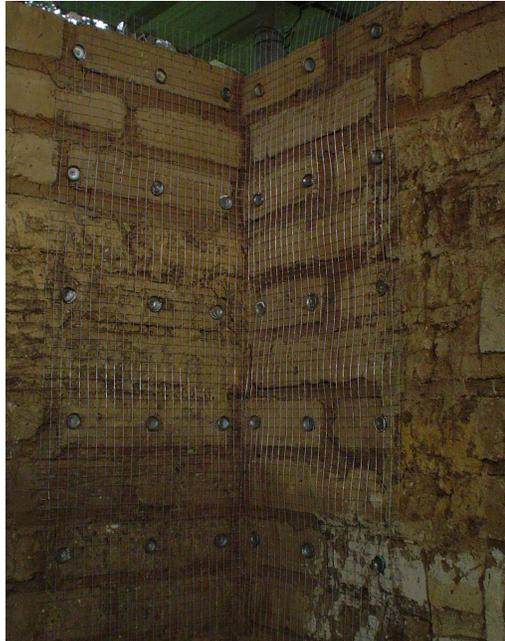
Estas bandas se deben colocar en las esquinas de los muros, así como en vanos de puertas y ventanas con aberturas muy grandes, simulando columnas. Para sujetarla al muro se utilizaron clavos de 2 ½" de largo y tapas de gaseosas, que funcionan como una especie de arandela, la cual presiona la malla sobre el muro, ver figura 21.

Figura 20. **Relleno en grieta**



Fuente: **Propia**

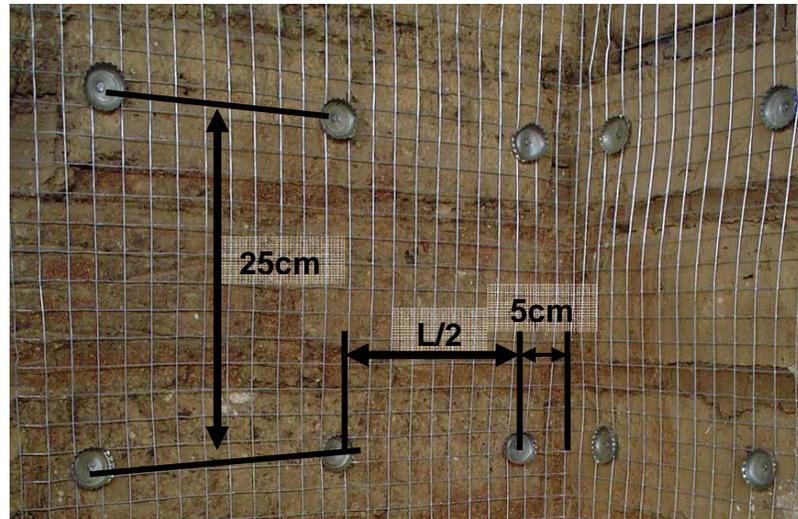
Figura 21. **Banda de malla vertical.**



Fuente: **Propia**

La distancia entre clavos es de 25cm en sentido vertical, colocándose 3 clavos por fila, distribuyéndose la distancia de 45cm entre ellos, se ha dejado aproximadamente 5cm de la orilla de la malla al primer clavo en ambos extremos, y el tercer clavo se colocó equidistante a ambos, o sea en el centro. De preferencia los clavos se deben clavar en los bloques de adobe, ya que dependiendo del “mortero” que se haya usado para unirlos, estos pueden desprenderse con facilidad. Ver figura 22.

Figura 22. **Espaciamiento de clavos en banda vertical.**



Fuente: **Propia**

Ya colocadas las bandas verticales, se procede a colocar las bandas horizontales. En este caso el ancho de las mismas debe ser de 45cm, por lo que se cortó la malla por la mitad en su ancho; además se debe tener en cuenta que si pueden existir traslapes de 30cm, pero no en el centro sino a 1/3 de la distancia, esto debido a la falla por flexión y volteo, ver figura 23. Las bandas horizontales, van colocadas en la parte superior de los muros, es decir simulando una viga de corona.

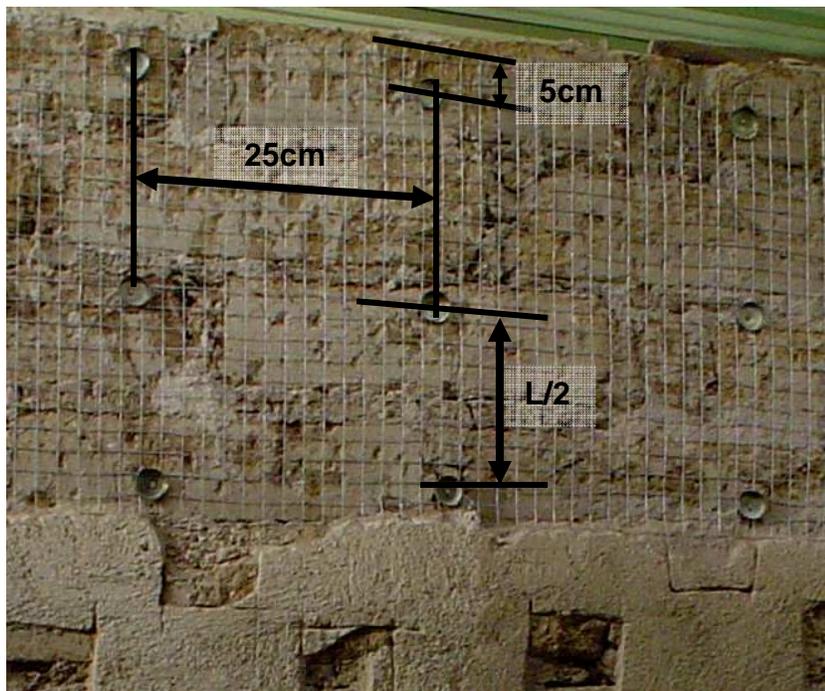
El espaciamiento de los clavos es similar al de las mallas verticales, en el sentido horizontal el espaciamiento es de 25cm, mientras que en el vertical será de 5cm de la orilla al primer clavo en ambos extremos, y el clavo del centro equidistante a éstos, ver figura 24.

Figura 23. **Banda de malla horizontal.**



Fuente: Propia

Figura 24. **Espaciamiento de clavos en banda horizontal.**



Fuente: Propia

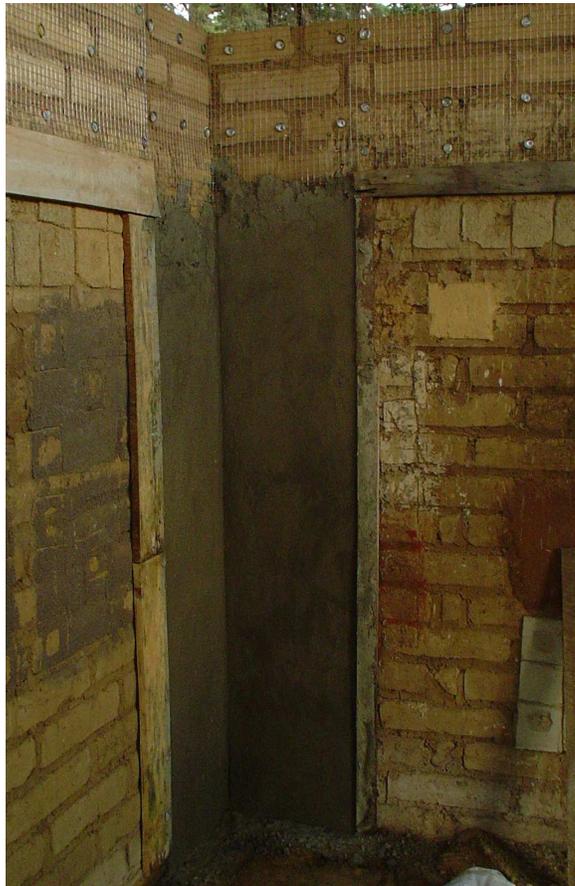
Finalizada de colocar la malla tanto vertical como horizontalmente, se procedió a elaborar el mortero 1:4, cemento:arena, con el cual se recubrió toda la malla colocada sobre los muros de adobe. Cabe mencionar que esta proporción 1:4, se refiere a volúmenes utilizados, por ejemplo, 1 saco de cemento y 4 sacos de arena de río, o bien, 1 cubeta de cemento y 4 cubetas de arena de río, o bien, 1 carretilla de cemento y 4 carretillas de arena de río, por mencionar referencias; pero siempre respetando dicha proporción.

El cemento utilizado fue UGC de Cementos Progreso (4000psi de resistencia); mientras tanto la arena es de río, teniendo en cuenta que debe ser tamizada para evitar agregados muy gruesos, se puede utilizar una malla de ½” de abertura para tamizarla, ya que adquirir un tamiz No.4 normado es demasiado complicado en obra. Además se debe evitar utilizar arena muy sucia, es decir con mucho contenido de suelo orgánico y basura, ya que esto hará que el mortero sea de baja resistencia y calidad.

En cuanto a la cantidad de agua, se debe agregar la suficiente como para obtener una mezcla plástica y manejable, es decir, que no sea difícil de manipular y lanzar, y que a la vez no escurra agua o que demasiada agua provoque que el cemento se lave de la mezcla; y también, no se debe utilizar agua muy turbia ya que provocará un mortero de baja resistencia y calidad.

Previamente a lanzar el mortero se debe humedecer la superficie del muro, para contribuir a obtener un buen fraguado, esto debido a las reacciones químicas que sufre el cemento durante este proceso; y además nos ayudará a que tenga una mejor adherencia. Se colocaron reglas de madera como guía para delimitar el área en donde el mortero sería aplicado, además se debe tener en cuenta que el grosor de las mismas debe ser igual al espesor que se desee lograr en el mortero, para nuestro estudio se recubrió con 2cm de espesor de mortero, ver figura 25.

Figura 25. **Guías para mortero.**



Fuente: **Propia**

No se ha dejado un espesor más delgado, 1cm, debido a que en los muros de adobe, generalmente, sus sisas se encuentran metidas, obteniendo una superficie irregular, que no es totalmente plana, por lo que la malla se acopla a esa superficie. Por lo tanto, se tuvo variaciones en el espesor debido a este aspecto, por lo que con las guías se logra tener un límite para el grosor y es el punto final para poder obtener una superficie plana, ver figura 26.

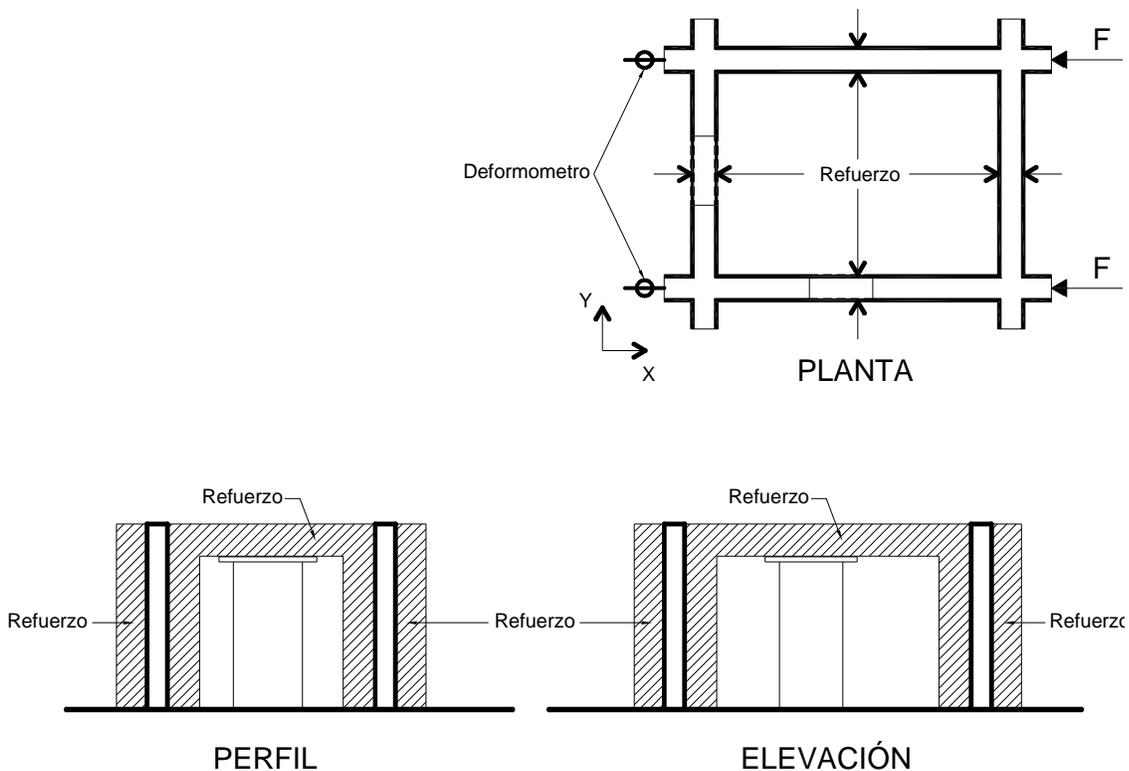
Figura 26. **Superficie final de Mortero.**



Fuente: **Propia**

Al terminar de colocar el mortero en los muros, debemos dejar que fragüe por 28 días para que alcance la resistencia obtenida en laboratorio. Pasados estos 28 días de fraguado, se procedió a ensayar el módulo, aplicándole una fuerza de corte en la parte superior de los muros, sobre los contrafuertes, en el sentido X conforme a la planta del modulo, la cual simula una carga provocada por un sismo, ver figura 27. Medidas del módulo ver figura 31 en el apéndice.

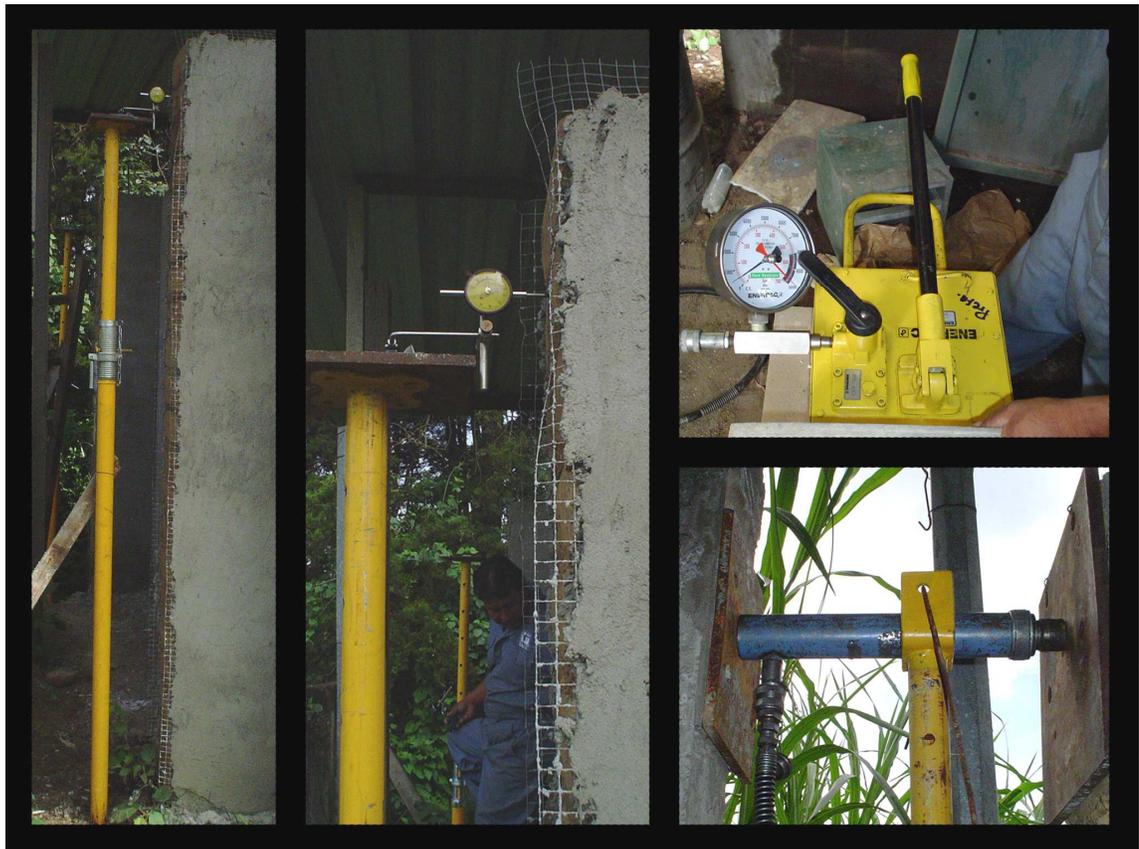
Figura 27. Dirección de la fuerza.



Fuente: Propia

El equipo utilizado para realizar este ensayo fue dos gatos hidráulicos de 13.38cm<sup>2</sup> de área y 10 toneladas de capacidad, dos deformómetros, a una altura de 2.40m y una bomba hidráulica manual para poder accionar los gatos, la cual cuenta con un manómetro para las lecturas de la carga que se está aplicando en ese momento, ver figura 28. La carga aplicada fue en intervalos de 500psi.

Figura 28. **Equipo utilizado en el ensayo.**



Fuente: **Propia**

### 2.1.3.2. Resultados

Como se ha mencionado, este modulo de adobe había sido ensayado previamente para otro trabajo de graduación, en el cual, se obtuvieron diferentes resultados al de este trabajo; pero se tiene una base comparativa teórica realizada en dicho trabajo. Los resultados teóricos del trabajo anteriormente mencionado se pueden apreciar en la tabla II.

Tabla II. **Resultados teóricos de resistencia del módulo de adobe**

<b>Sentido</b>	<b>Muro</b>	<b>Fuerza de corte (Kg)</b>	<b>Momento (Kg)</b>
X	1	669.878	1359.306
X	1A	108.629	220.428
X	2	669.878	1359.306
X	2A	108.629	220.428
X	3	2274.989	5437.225
X	3A	92.229	220.428
X	3B	92.229	220.428

Fuente: Javier Rodríguez. **Evaluación de un módulo de adobe para vivienda.** Pág. 92

Los muros 1, 1A, 2 y 2A, se refieren al lado B de este estudio y los muros 3, 3A y 3B, se refieren al lado A; por lo que para poder comparar resultados debemos sumar las fuerzas teóricas en cada lado, ver tabla III.

Tabla III. **Resultados teóricos por lado**

<b>Sentido</b>	<b>Lado</b>	<b>Fuerza de corte (Kg)</b>
X	A	1557.014
X	B	2459.447

Como se ha mencionado se aplicó la carga en intervalos de 500psi, presentándose las primeras grietas a los 3000psi y llega a alcanzar una carga máxima de 4000psi, las grietas se pueden apreciar en las figuras 29 y 30. Los resultados obtenidos en el trabajo de graduación previo se pueden apreciar en la tabla IV.

Figura 29. **Primeras grietas**



Figura 30. Prolongación de grietas

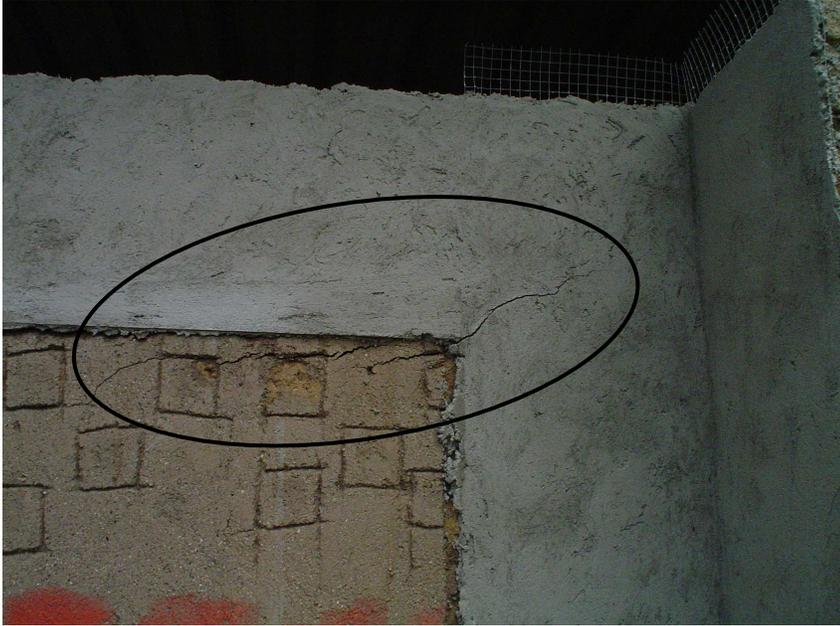


Tabla IV. Resultados de ensayo previo

Presión de gatos (Kg/cm <sup>2</sup> )	Carga "P" (Kg)
25	369.50
50	739.00
75	1108.50
100	1478.00
120	1773.60
130	1921.40

Fuente: Javier Rodríguez. Evaluación de un módulo de adobe para vivienda. Pág. 96

Con estos resultados se pueden comparar con los obtenidos en el ensayo para determinar si es efectivo o no el sistema de refuerzo propuesto en este trabajo, ver tabla V.

Tabla V. **Resultados**

<b>Presión de gatos (psi)</b>	<b>Carga "P" (Kg)</b>
500	471.34
1000	942.68
1500	1414.03
2000	1885.37
2500	2356.71
3000*	2828.05
3500	3299.39
4000	3770.73

\*Se presentan las primeras fisuras

Como se puede apreciar en la tabla anterior la carga mayor fue de 3770.73Kg de fuerza donde se presenta la falla, mientras que el dato teórico donde se presentará la falla, fue de 2459.447Kg y el resultado del ensayo previo en donde se presentó la falla, fue de 1921.40Kg; obteniendo un 53% más de resistencia en comparación con el dato teórico y un 96% en comparación con el ensayo previo. Además se debe tomar en cuenta que el modulo ensayado, fue construido y fallado previamente, luego se aplicó el refuerzo y se volvió a ensayar, por lo que el resultado es un buen indicador de que tan funcional es la alternativa de refuerzo.



## **3. FACTORES INCIDENTES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

### **3.1. Aspectos económicos**

Este es uno de los aspectos más influyentes en cuanto a implementación de soluciones estructurales se refiere. Los propietarios de viviendas buscan soluciones no solamente funcionales, sino también económicas y fáciles de implementar; que no requieran de mucho tiempo en ser elaboradas y aplicadas, y tampoco requieran la contratación de personal técnico altamente calificado.

Se debe tener en cuenta que estas soluciones son variadas y utilizan diferentes materiales y métodos para su construcción. Sin embargo, la alternativa en estudio, brinda una solución funcional, rápida y económica. El simple hecho que el propietario de la vivienda pueda implementarla sin necesidad de tener personal técnico, hace que el costo de la misma se reduzca considerablemente, aunque debe ser necesario contar con un instructivo o charla previa para poder implementarla, o bien, utilizar el presente trabajo como referencia.

### 3.1.1. Análisis de costos del sistema de refuerzo

Los materiales utilizados para implementar esta alternativa, fueron adquiridos en diferentes puntos de venta, pero se ha tratado de obtenerlos con los precios más bajos posibles. A continuación, se enumeran los precios y las cantidades adquiridas, ver tabla VI.

Tabla VI. Precios y cantidades de materiales.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Subtotal
Cemento UGC	10	sacos	Q. 34.50	Q. 345.00
Malla electrosoldada ¾"	2	Rollos*	Q. 181.20	Q. 362.40
Clavos 2 ½"	8	libras	Q. 3.40	Q. 27.20
Arena de río	3	m <sup>3</sup>	Q. 60.00	Q 180.00
<b>COSTO</b>				<b>Q. 914.60</b>

\*Cada rollo tiene 30m de longitud

Los materiales anteriormente mencionados, fueron utilizados para cubrir 45.60m<sup>2</sup> de refuerzo, en ambos sentidos, vertical y horizontal. Para el caso de las tapas de gaseosas, estas se pueden adquirir en cualquier puesto de venta de las mismas, ya que regularmente se utilizan para ser recicladas, por lo que su costo es cero, ya que la mayoría de personas las considera un desperdicio. Por lo tanto, obtenemos un precio unitario de Q. 20.06/m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta que los precios varían de un distribuidor a otro y también conforme al tiempo debido a la inflación y otros agentes externos.

Tomando como base el precio unitario obtenido, podemos ejemplificarlo, si se reforzara una vivienda de 9.00m X 6.00 (54.00m<sup>2</sup>), que cuente con 2 dormitorios, un servicio sanitario y un ambiente abierto para sala-comedor y cocina, se obtendría aproximadamente 128.16m<sup>2</sup> de refuerzo, teniendo en cuenta esta cantidad varía de acuerdo con los vanos en los muros y cuantos vértices o muros perpendiculares cuente la vivienda, por lo que multiplicado por el precio unitario, se obtiene un total de Q. 2570.89.

Ya establecidas las cantidades utilizadas de materiales, y teniendo el total de metros cuadrados cubiertos, se puede establecer el consumo de materiales por cada metro cuadrado recubierto de refuerzo, ver tabla VII.

Tabla VII. **Materiales por metro cuadrado.**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad por metro cuadrado</b>
Cemento UGC	0.22 sacos
Malla electrosoldada ¾"	1.32m
Clavos 2 ½"	0.18lb
Arena de río	0.07m <sup>3</sup>

### **3.2. Aspectos culturales en la elaboración del adobe y su construcción**

Como se ha mencionado, la elaboración de adobes es algo artesanal, regularmente realizado en el interior del país, en donde adquirir materiales para construir resulta un tanto dificultoso o con un costo elevado. Se utiliza materia prima local sin necesidad de adquirirla lejos y pagar por su acarreo. Elaborar adobes a grandes rasgos consiste en compactar en bloques, una cantidad de suelo agregándole agua y dejándolo secar hasta obtener un bloque sólido.

Aunque es bien sabido que existen diferentes tipos de suelos que actúan diferente cuando se incluye agua en ellos, y que éstos también tienen diferentes propiedades mecánicas; además la estratigrafía del suelo (sus capas) varía de una localidad a otra, por lo que no obtendremos exactamente la misma muestra de suelo para elaborar adobes.

En algunas ocasiones los elaboradores de adobe, suelen incluir en el suelo basura, gravas o piedras e inclusive pedazos de vidrio, que producen superficies muy irregulares y pueden provocar puntos de falla en el bloque de adobe, y al aplicar este refuerzo provoca el tener que aplicar más mortero para obtener una superficie plana. Además es importante mencionar el tiempo de secado de los mismos, ya que si no cuentan con el tiempo necesario para su secado, éstos se secarán en la superficie mientras que el interior estará húmedo y si son utilizados de esta manera su resistencia será afectada. Además sino se cuenta con un control sobre las grietas que aparecen en su superficie, se puede comprometer la resistencia del mismo por excesivas grietas o grietas muy prolongadas, y al momento de clavar la malla estas grietas tienden a abrirse aún más.

Las dimensiones y forma de los bloques de adobe, influyen en la construcción de muros, que al no tener un control sobre este aspecto, se tendrá como resultado muros irregulares en su superficie, y si agregamos una mala colocación de los mismos obtendremos muros fuera de plomo, es decir, que no están del todo verticales, por lo que la colocación de la malla será un tanto complicada, ya que existirá una tendencia a abombarse o formarse concavidades en la malla, quedando despegada de la superficie. En la unión de bloques es necesario utilizar un mortero elaborado también de suelo, similar al utilizado en los bloques de adobe. Este mortero debe ser igual o superior en resistencia que los bloques de adobe, pero lamentablemente muchas veces el mortero es menos resistente que los bloques, por lo que existe una tendencia a desboronarse o desprenderse, sobretodo cuando se clava la malla.



## CONCLUSIONES

1. Entre las fallas comunes en viviendas de adobe tenemos las fallas por flexión en muros, momentos de volteo, muchas veces provocados por exceso de peso en el techo, excesiva altura y longitud de muros y fallas por corte. Teniendo en cuenta que el adobe es un material frágil, la mayoría de veces no logra soportar sismos de magnitud moderada/alta, por lo que las viviendas hechas con este material fallan rápidamente. Además, si agregamos un factor extra como lo es un techo pesado que no cuenta con un buen anclaje, lo hace aún más vulnerable ante los sismos.
2. El sistema de refuerzo funciona para proporcionarle rigidez a la vivienda de adobe y evitar que colapse rápidamente; aún sabiendo que ha sufrido variaciones según el estudio original, la presente propuesta logra reforzar y proporcionar rigidez en condiciones de carga aplicada, sobrepasando los resultados del mismo módulo de adobe ya fallado, reforzado con la propuesta y vuelto a fallar. Como se ha mencionado, se ha variado la propuesta con la finalidad de disminuir su costo y su tiempo de aplicación, pero aún con estas variaciones, se debe respetar la proporción del mortero así como la abertura y calibre de la malla para obtener resultados favorables.

3. Los materiales utilizados en el sistema propuesto, son fáciles de obtener y con un costo bajo y la facilidad de transportarlos para elaborarla, en comparación de soluciones más complejas o inclusive similares. Es importante resaltar la proporción de mortero utilizado, ya que si se varía, provocará un aumento y/o reducción de costo y resistencia, al igual si se utiliza una malla electrosoldada diferente se obtendrán resultados diferentes. El método de elaboración del refuerzo es sumamente sencillo de hacer, por lo que no necesita de personal altamente calificado para implementarlo, solamente de una pequeña guía o manual para guiar al propietario de la vivienda.

## RECOMENDACIONES

1. Tratar en lo posible, no variar la proporción de mortero a una relación pobre que dé resultados desfavorables, como pérdida de resistencia y adherencia.
2. Para la mezcla de mortero es necesario que contenga la cantidad de agua que haga que la mezcla sea manejable, es decir que sea fácil de lanzar y mezclar, no es necesario verter mucha agua ya que provocará que se lave el cemento en la mezcla y produzca una mezcla pobre en resistencia.
3. Antes de lanzar el mortero en los muros es necesario humedecerlos para que la adherencia sea mejor.
4. La malla utilizada fue electrosoldada de  $\frac{3}{4}$ " de abertura (comúnmente conocida como cedazo), recalcando que esa abertura permite que pase fácilmente el mortero. No se debe reemplazar por una malla de gallinero, ya que producirá resultados diferentes a los esperados.
5. Al momento de clavar la malla en el muro se debe hacer todo lo posible por clavarla en el bloque de adobe, no en la sisa de mortero ya que algunas veces ésta se desborona, por no estar muy bien elaborada.
6. Se debe colocar primero las bandas verticales y por último las horizontales, teniendo en cuenta que las bandas verticales no deben tener traslapes, mientras que las horizontales sí pueden tener traslapes en un tercio de la misma con 30 cm. de traslape; no debe estar en el centro o en las esquinas el traslape.

7. Es necesario utilizar guías de madera para lanzar el mortero, con esto se logrará una superficie uniforme y se delimita el espacio que cubrirá el mortero.
8. Si existen grietas no muy grandes y profundas, se deben rellenar con el mortero 1:4, el mismo que se usa para cubrir la malla electrosoldada.
9. Es necesario hacer conciencia en los propietarios de viviendas de adobe, que este material es un material frágil, por lo que es necesario reforzarlo para brindarle una mejor ductilidad.
10. La alternativa de refuerzo estudiada no es la única solución para este tipo de vivienda, como se ha mencionado, esta propuesta ha sufrido variaciones del estudio original, por lo que es conveniente realizar nuevas pruebas basándose en el presente estudio, ya sea agregándole los elementos que fueron omitidos o modificarla, o bien, desarrollar e investigar nuevas propuestas, para tener una gama amplia de alternativas de refuerzo.
11. Para tener un mejor resultado de este estudio es necesario implementar el refuerzo en un “laboratorio vivo”, es decir, implementarlo en varias viviendas en diferentes comunidades del país para obtener resultados “reales” de su comportamiento al momento de producirse un sismo. Este laboratorio puede ser implementado por el CII de la Facultad de Ingeniería de la USAC y la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.

12. También como parte complementaria de este estudio, la elaboración de un manual o guía de instalación y aplicación del refuerzo, explicado de una manera sencilla y fácil de entender, es necesaria para los propietarios de viviendas de adobe para aplicarla en sus respectivas viviendas.



## BIBLIOGRAFÍA

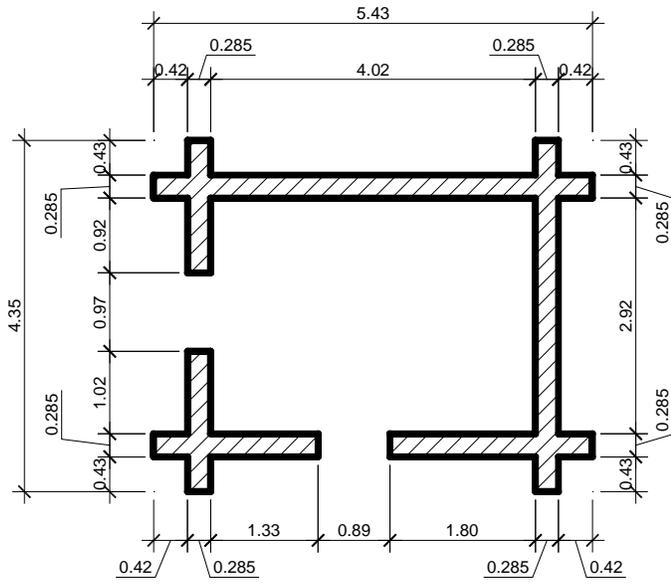
1. Blondet, Marcial y otros. **Adobe in Peru: tradition, research and future.** Modern Earth Building 2002 – International Conference and Fair, Berlin, Alemania, 2002.  
<http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial8.asp>
2. Blondet, Marcial y otros. **Construcciones de adobe resistentes a los terremotos.** Estados Unidos de América: EERI, 2003.  
<http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial8.asp>
3. **Censos nacionales XI de población y VI de habitación de 2002.** Guatemala: Instituto Nacional de Estadística, 2002.
4. CENAPRED. **Métodos de refuerzo para la vivienda rural de autoconstrucción.** México, 2003.  
<http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial8.asp>
5. Blondet, Marcial y otros. **Construcciones de adobe resistentes a los terremotos.** Estados Unidos de América: EERI, 2003.  
<http://www.world-housing.net/Tutorials/AdobeTutorialESP/AdobeTutorial8.asp>
6. **International conference on natural hazards mitigation, research, and practice: small buildings and community development. CIB/W-73.** India: s. e. 1984.
7. Palencia Flores, Luís Fernando. Relación granulometría adherencia mecánica de suelos usados como revestimientos. Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 54 pp.
8. “Propuesta preliminar de norma para construcción con adobe” **Revista Científica.** Guatemala (1):5.2003

9. Rodríguez Franco, Javier Adolfo. Evaluación de un módulo de adobe para vivienda. Tesis Ing. Civil Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 106 pp.
10. Zegarra, Luís y otros. **Manual técnico para reforzamiento de las viviendas de adobe existente en la costa y sierra.** Perú: GTZ-CERESIS-PUCP, 1997.  
<http://www.ceresis.org/proyect/madobe/manual.htm>

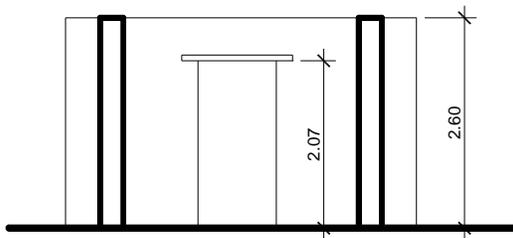
## **APÉNDICE**



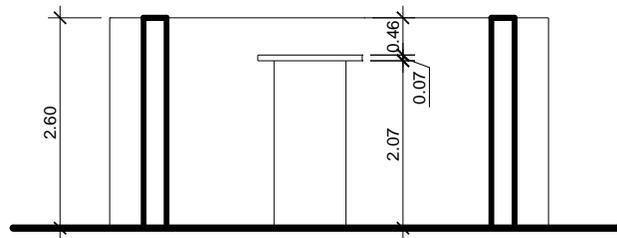
Figura 31. Distribución del módulo de adobe



PLANTA



PERFIL



ELEVACIÓN

Tabla VIII. Resumen estadístico de viviendas.

<b>Material de pared exterior</b>	<b>Cantidad de viviendas</b>	<b>% Total</b>	<b>Vivienda urbana</b>	<b>% Urbana</b>	<b>Vivienda rural</b>	<b>% Rural</b>
Block	1,130,753	43.86	775,046	62.25	355,707	26.68
Adobe	625,905	24.28	178,647	14.35	447,258	33.55
Madera	426,336	16.54	99,561	8.00	326,775	24.51
Ladrillo	87,529	3.39	72,934	5.86	14,595	1.09
Lepa, palo o leña	86,625	3.36	14,289	1.15	72,336	5.43
Bajareque	80,561	3.12	11,995	0.96	68,566	5.14
Concreto	73,216	2.84	53,259	4.28	19,957	1.50
Lámina metálica	54,784	2.12	32,878	2.64	21,760	1.63
Otro material	12,556	0.49	6,357	0.51	6,199	0.46
<b>TOTAL</b>	<b>2,578,265</b>	<b>100.00</b>	<b>1,245,112</b>	<b>100.00</b>	<b>1,333,153</b>	<b>100.00</b>



O.T. No. 17651

**INFORME No. 001-05 SAM**

Interesado: Sr. Guillermo Chinchilla M.  
Proyecto: Trabajo de Graduación "Alternativas de Refuerzo contra Efectos de Sismo para Viviendas de adobe existentes"  
Asunto: Evaluación de Morteros para recubrimientos  
Fecha: 09 de febrero de 2005

---

**1. Generalidades**

Como parte de su trabajo de graduación el interesado requirió la realización de los siguientes ensayos:

- Resistencia a la Compresión
- Adherencia

A efecto de poder evaluar varias alternativas de recubrimientos de tierra para muros de adobe

**2. Materiales**

El interesado proporcionó los materiales necesarios para de poder realizar las evaluaciones, siendo estos los siguientes:

- Cementos Progreso UGC
- Cal Horcalsa
- Arena de río
- Arena amarilla
- Arcilla

**3. Procedimiento**

**3.1 Resistencia a la Compresión**

Se trabajó de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C-109, en cuanto a la metodología de mezclado, trabajabilidad y tipo de probetas necesarias, siendo las fechas de ensayo variables de acuerdo a los intereses y condiciones de los morteros preparados.

**3.2 Adherencia**

Se trabajo de acuerdo a la norma ASTM C-109 en cuanto a procedimientos de mezclado y trabajabilidad, para la evaluación de la adherencia se utilizó un dispositivo especial, proporcionado por el interesado.



### 3.3 Morteros Evaluados

Tipo de Mortero	Composición de Mortero	
	Proporción (peso)	Materiales
1	1:1:4.5	Cemento: Cal: Arena de río
2	1:4	Cemento: Arena de río
3	1:0.5:3.5	Cemento: Cal: Arena de río
4	0.75:0.25:3 (1:3)	Cemento mezclado: Cal: Arena de río
5	1:0.5:3.5	Cemento: Cal: Arena amarilla
6	1:3	Cemento: Arena amarilla
7	1:3	Arcilla: Arena amarilla
8	1:3	Arcilla: Arena de río

### 3.4 Resultados

#### 3.4.1 Resistencia a la Compresión

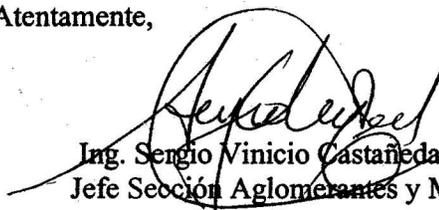
Tipo de Mortero	Resultados	
	Edad (días)	Resistencia a la Compresión kg/cm <sup>2</sup> (psi)
1	3	51.3 ( 729.2)
	7	64.3 ( 913.9)
	28	101.9 (1449.3)
2	3	57.2 ( 812.8)
	7	72.4 (1029.2)
	28	100.6 (1430.69)
3	3	53.0 ( 753.1)
	7	75.6 (1074.6)
	28	100.6 (1431.0)
4	3	5.2 ( 73.5)
	7	8.7 ( 123.1)
	28	16.3 ( 232.2)
5	3	31.7 ( 450.1)
	7	52.6 ( 748.6)
	28	125.3 (1781.8)
6	3	44.6 ( 633.7)
	7	63.4 ( 902.4)
	28	136.9 (1947.2)
7	10	14.5 ( 206.5)
	19	17.5 ( 249.6)
	40	20.7 ( 294.5)
8	10	13.2 ( 187.5)
	19	14.9 ( 212.2)
	40	17.6 ( 250.0)



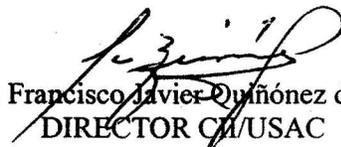
### 3.4.2 Adherencia

Tipo de mortero	Adherencia (Edad no menor a 28 días) kg/cm <sup>2</sup> (psi)
1	0.93 (13.3)
2	2.66 (38.0)
3	0.71 (10.1)
4	0.93 (13.3)
5	1.04 (14.8)
6	0.70 ( 9.9)
7	1.52 (21.6)
8	1.34 (19.1)

Atentamente,

  
Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus  
Jefe Sección Aglomerantes y Morteros

Vo.Bo.

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





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



O.T. 18415

INFORME No. 277-M

**INTERESADO:** GUILLERMO EDUARDO CHINCHILLA MALDONADO  
**PROYECTO:** TESIS  
**ASUNTO:** ENSAYOS A TENSION EN MALLAS ELECTROSOLDADAS  
**FECHA:** GUATEMALA, 22 DE JULIO DE 2005.

**Antecedentes**

El estudiante **Guillermo Eduardo Chinchilla Maldonado** con No. De carné 9911023 de la carrera de **Ingeniería civil**, solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se le realizara pruebas de tensión en mallas electro soldadas; los ensayos en cuestión son parte de su trabajo de tesis: "ALTERNATIVA DE REFUERZO CONTRA EFECTOS DE SISMO PARA VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES"

**Resultados**

Identificación	Alto m	Ancho m	$\phi$ Promedio de 10 hilos mm	Carga kg	Carga por unidad de longitud kg/m	Esfuerzo promedio kg/cm <sup>2</sup>
No.1 malla 3/4"	0.325	0.17	0.782	260.00	1529.41	5416.93
No.2 malla 3/4"	0.343	0.17	0.781	257.00	1511.76	5382.73

Atentamente,

Ing. Pablo C. De Leon R.  
Jefe Sección Metales y  
Productos Manufacturados

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz  
DIRECTOR C.I.I.



/cbr