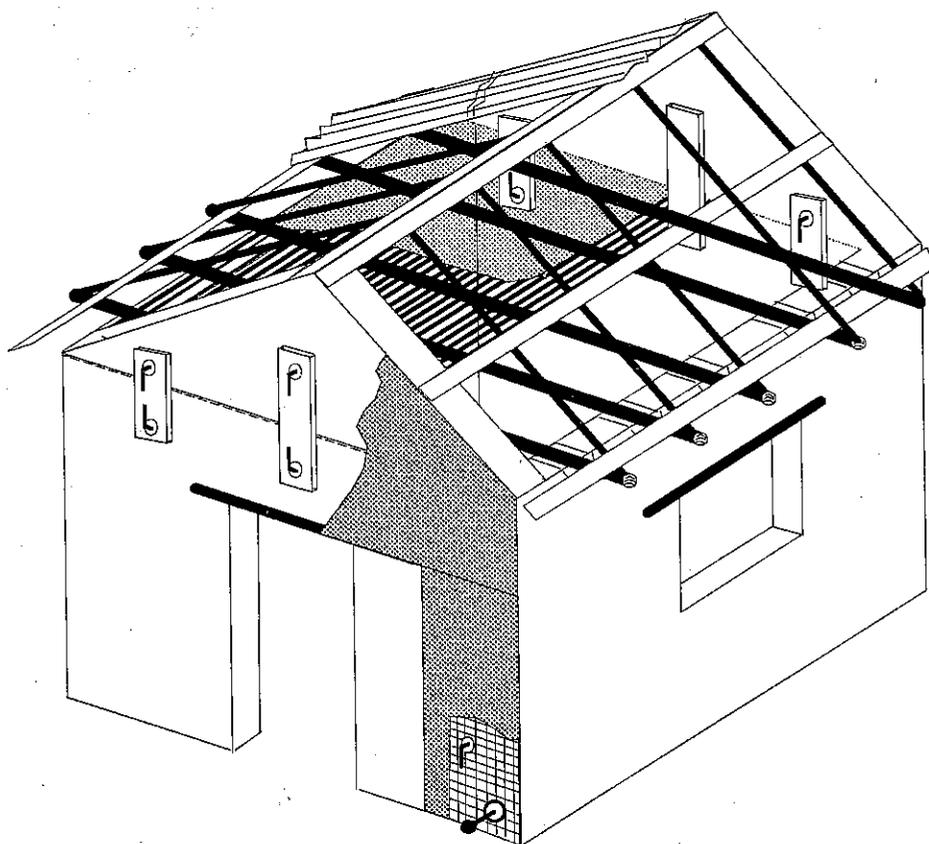


MANUAL TÉCNICO PARA EL REFORZAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES EN LA COSTA Y LA SIERRA



Por Ings.
Luis Zagarra (PUCP)
Angel San Bartolomé (PUCP)
Daniel Quiun (PUCP)
Alberto Giesecke (CERESIS) Lima,
Marzo 1997

Cooperación Alemana
al Desarrollo

Centro Regional de
Sismología para
América del Sur

Pontificia Universidad
Católica del Perú

GTZ-CERESIS-PUCP

REFORZAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES EN LA COSTA Y SIERRA

El objetivo de este manual técnico es presentar, a través de una serie de figuras, una técnica sencilla de reforzamiento que permita retardar el colapso de las viviendas de adobe existentes en la región andina, cuando éstas se vean sujetas a terremotos. De esta manera, se pretende que los ocupantes tengan el tiempo suficiente para evacuar su vivienda hacia zonas más seguras durante el sismo.

En síntesis, la técnica de reforzamiento consiste en clavar una malla electrosoldada por la parte exterior e interior de las paredes de adobe, interconectando ambas mallas con alambre # 8, para posteriormente tarrajearlas con mortero de cemento 1:4.

Esta malla debe ser colocada en franjas horizontales y verticales (simulando vigas y columnas de confinamiento, respectivamente) en las zonas críticas de la vivienda, y su objetivo es, en conjunto con el tarrajeo, evitar la pérdida de rigidez lateral que súbitamente se presenta en las viviendas no reforzadas cuando éstas se agrietan.

Cabe resaltar que esta técnica de reforzamiento proviene de múltiples ensayos de simulación sísmica, después de haberse probado otras soluciones, tales como el reforzamiento con soga, tablas, malla de gallinero, etc., en un proyecto titulado «Estabilización de las Construcciones de Adobe Existentes en los Países Andinos», desarrollado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con el financiamiento de la agencia de cooperación técnica alemana Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

1.- COMPORTAMIENTO SISMICO DE LAS VIVIENDAS NO REFORZADAS

Conocer el comportamiento sísmico de las viviendas de adobe existentes es de suma importancia, porque esto nos permite ubicar las zonas críticas que deberán reforzarse.

En los diversos terremotos ocurridos en el Perú, las viviendas de adobe han demostrado tener un mal comportamiento, colapsando en forma muy rápida, incluso ante los sismos moderados, lo que generalmente provoca la muerte de sus ocupantes y grandes pérdidas económicas.

Este comportamiento frágil se debe a la falta de refuerzo que permita controlar el tamaño de las grietas, las que producen una pérdida súbita de la rigidez lateral (K), convirtiéndose la vivienda en un sistema muy flexible y con gran masa (M), lo cual genera el colapso, ya que las fuerzas sísmicas (f) se incrementan notablemente (ver la Fig. 1). Cabe indicar que inicialmente las viviendas de adobe son sumamente rígidas y al agrietarse, su período natural de vibrar se incrementa, pero no llega a sobrepasar al período predominante del sismo, por lo que la respuesta estructural también aumenta.

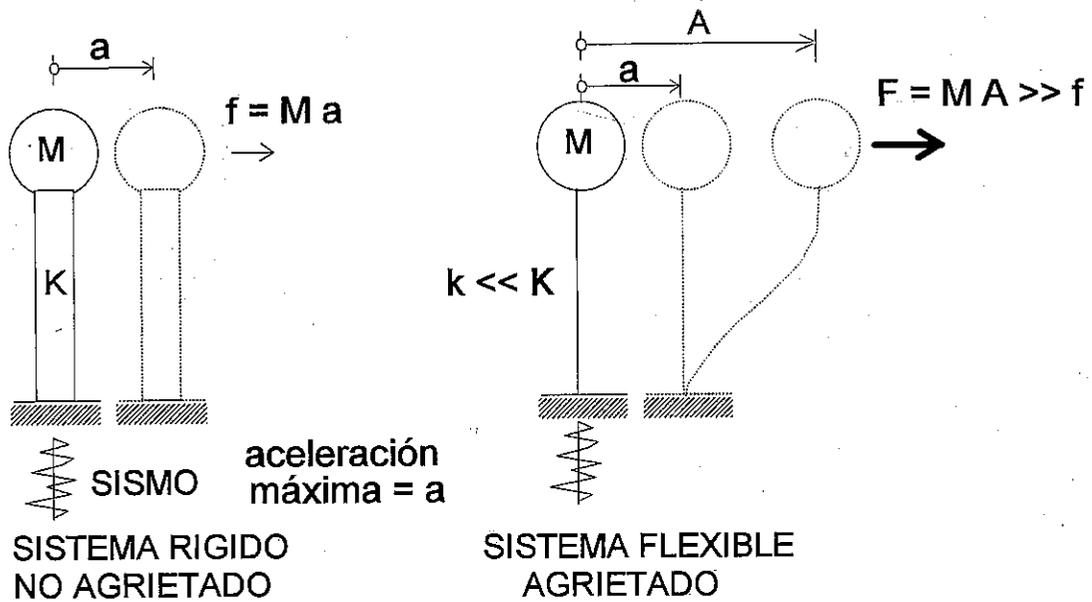


Fig.1. INCREMENTO DE LAS FUERZAS AL AGRIETARSE LA VIVIENDA.

En la Fig. 2 se muestra las grietas (G1 a G3) que inicialmente se forman en estas construcciones. Estas grietas se deben principalmente a las fuerzas sísmicas actuantes en la dirección perpendicular al plano de los muros.

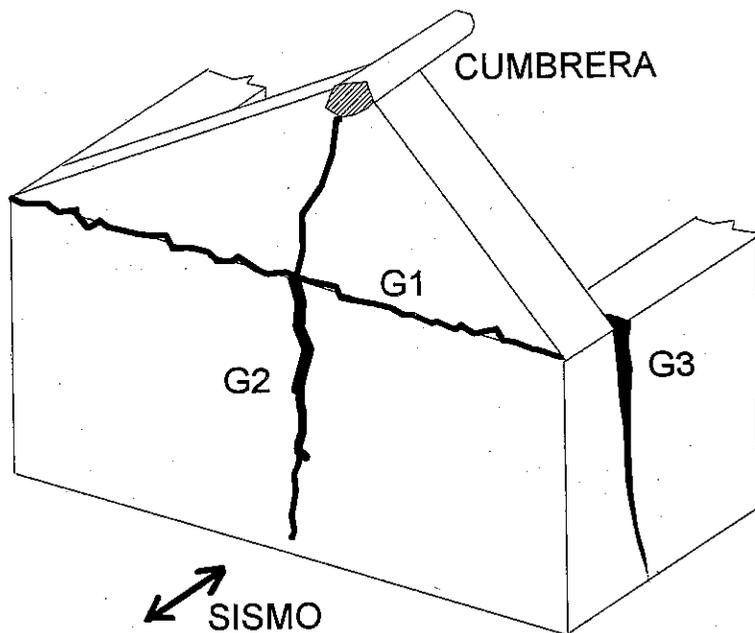


Fig.2. GRIETAS EN LOS MUROS POR ACCIONES SISMICAS PERPENDICULARES AL PLANO.

La grieta G1, se produce en la base del triángulo superior que conforma al tímpano (utilizado para formar los techos a dos aguas en la Sierra del Perú), el cual termina desplomándose por los empujes que genera la viga cumbre (tronco de eucalipto u otro).

Ante la ausencia de una viga solera que controle los grandes desplazamientos laterales en la zona central superior del muro (Fig. 3), y porque generalmente los muros de arriostre se encuentran muy distanciados, se forma la grieta G2, trabajando la pared como una especie de losa arriostrada en 3 bordes, con el borde superior libre.

La grieta G3, se forma por desgarramiento vertical entre las paredes perpendiculares, y se debe a la mala transferencia de las fuerzas sísmicas entre esos muros, por la ausencia de vigas soleras y columnas de confinamiento, capaces de absorber las tracciones que se desarrollan en el encuentro entre los muros. Ver la Fig. 3.

Este desgarramiento vertical resulta muy peligroso, porque se pierde la acción de arriostramiento quedando la pared como un elemento en voladizo (isostático), y, de continuar el movimiento sísmico, la pared termina volcándose, principalmente hacia el exterior, debido a que rebota al chocar contra la pared transversal (arriostre).

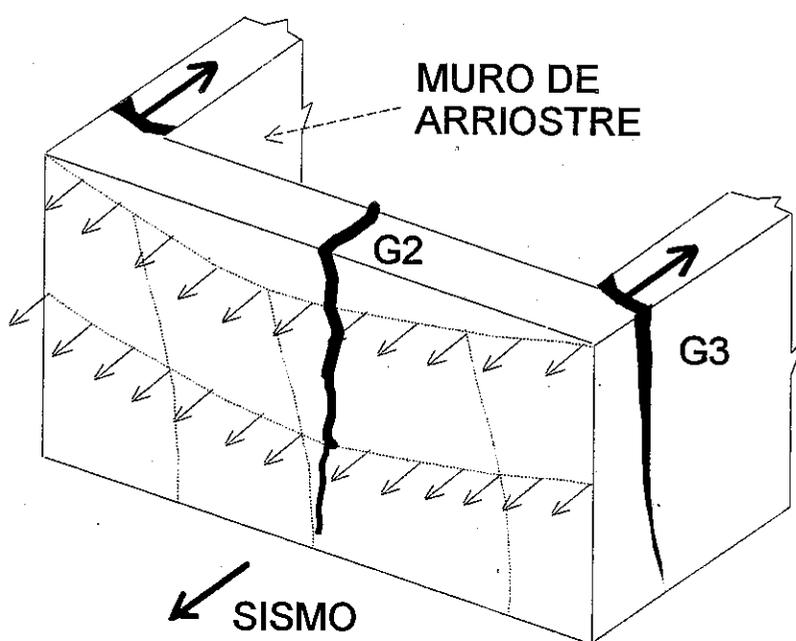


Fig.3. DEFORMACION DE MURO POR CARGA SISMICA TRANSVERSAL

Tal como se observa en la Fig. 3, tanto la grieta G2 como la G3, corren de arriba hacia abajo y presentan una mayor abertura en la zona superior del muro, puesto que esa es la región de mayor deformación.

Otro tipo de falla que se presenta en los muros es por juntas verticales y horizontales (G4 en la Fig. 4) y se debe a la poca adherencia que se desarrolla entre el mortero de barro y el adobe. Por lo general, la falla por corte ocurre después de haberse presentado las grietas G2 y G3, mostradas en la Fig. 3.

Adicionalmente, ha podido observarse una grieta horizontal (G5 en la Fig. 4) en la interfase entre el sobrecimiento (que por lo general es de albañilería con ladrillo de arcilla) y el muro de adobe. Esta falla se genera por acciones sísmicas perpendiculares al plano del muro.

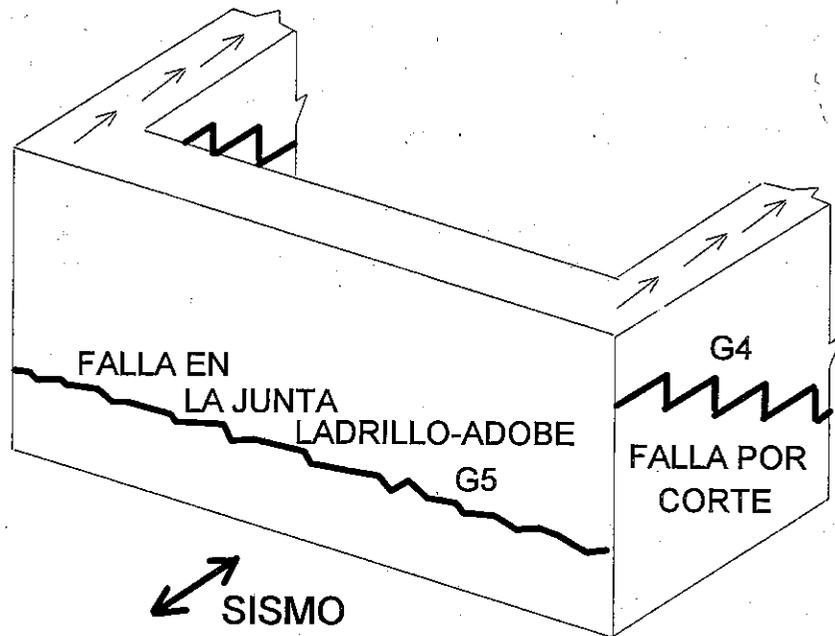


Fig.4 OTRAS FALLAS EN LOS MUROS DE ADOBE

En la Fig. 5, correspondiente a una vivienda de adobe no reforzada, ubicada en Nasca, puede notarse la presencia de las grietas G2, G3 y G5, ante la acción de un sismo moderado ocurrido el 12 de noviembre de 1996.



Fig.5. GRIETAS G2, G3 Y G5 EN UNA VIVIENDA REAL. NASCA

2.- ALCANCES DE LA TECNICA DE REFORZAMIENTO PLANTEADA Y DEFECTOS QUE IMPIDEN APLICARLA DIRECTAMENTE

No todas las viviendas pueden reforzarse con la técnica de enmallado propuesta, porque ellas pueden tener defectos que hacen que el reforzamiento no surta efecto, a no ser que se adicione otras técnicas de reforzamiento que encarecerían la solución planteada. Entre esos defectos y sus posibles soluciones se tiene:

- a.- Viviendas con la base de los muros socavada por la humedad o la intemperie (Fig. 6). En este caso, habría que apuntalar previamente el techo y reforzar la base de los muros con concreto, construyendo una especie de calzadura, para después proceder con el enmallado.
- b.- Vivienda con los techos en mal estado (apolillados, etc.). En este caso, habría que desmontar el techo existente, por lo que se podría colocar una viga solera de concreto armado, enmallando verticalmente sólo el encuentro entre las paredes ortogonales, para posteriormente construir un techo nuevo.
- c.- Vivienda con grietas (G1 @ G5) que tienen un espesor mayor que 3 mm. En este caso, habría que profundizar la grieta, limpiarla, humedecerla y rellenarla con mortero 1:4 compactado a presión manual, para posteriormente enmallar los muros. Cabe indicar que si el desplome del muro supera 1 cm, debe eliminarse esa pared y construirse otra, utilizando esta vez un mortero de cemento en las juntas entre adobes; para conectarse la pared nueva con la antigua, se recomienda emplear una columna de concreto armado.

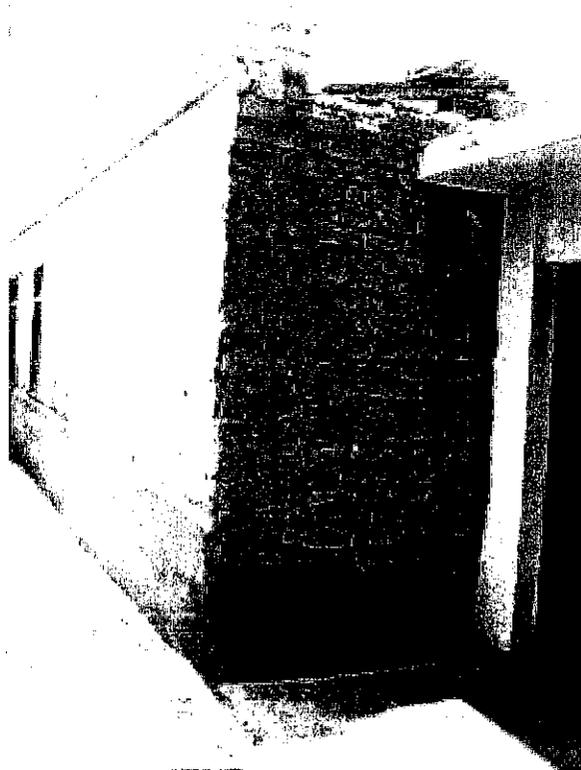


Fig.6.

**VIVIENDA
CON SU BASE
EROSIONADA.
LURIN.**

3.- MATERIALES A EMPLEAR Y SUS FUNCIONES

Los materiales utilizados en la técnica de reforzamiento propuesta son los siguientes (el acápite «g» es opcional):

- a.- **Clavos de 21/2 pulgadas.** Utilizado para clavar la malla (Fig. 7).
- b.- **Chapas de gaseosas.** Sirven como especie de arandelas, que permiten fijar la malla contra la pared. Las chapas con sus clavos respectivos, se colocan espaciadas cada 25 cm, lo cual hace que se necesite 16 chapas y 16 clavos (77 gramos) por metro cuadrado de pared.

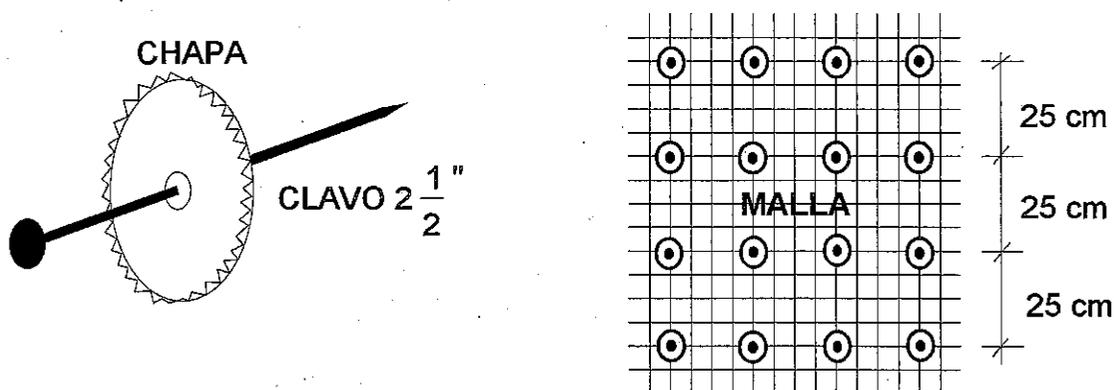


Fig. 7. CLAVOS Y CHAPAS PARA FIJAR LA MALLA ELECTROSOLDADA.

- c.- **Malla Electrosoldada.** Esta malla está compuesta por alambre galvanizado de 1 mm de diámetro, formando cocadas cuadrangulares de 3/4 de pulgada.

La malla se vende en rollos que tienen un ancho de 90 cm, lo cual permite, cortándola en dos partes, emplearla como franjas horizontales de 45 cm de ancho formando una especie de viga solera; en cambio, las franjas verticales que simulan a las columnas, deben colocarse enteras en el encuentro entre los muros ortogonales, doblándolas a 90° (45 cm en cada muro, tal como se muestra en la Fig. 10).

La malla tiene una resistencia a tracción igual a 1825 kg por metro de ancho (ocho veces superior que la malla de gallinero). Por otro lado, como la malla es galvanizada, puede clavarse directamente contra la pared de adobe (no se requiere pañetearla previamente), sin que existe peligro de corrosión.

- d.- **Alambre # 8.** Este alambre se utiliza como un elemento que conecta las mallas verticales colocadas en las dos caras del muro (Fig. 8), a fin de que ambas trabajen en conjunto; las franjas horizontales no necesitan conectarse.

El alambre atraviesa la pared, para lo cual debe efectuarse perforaciones previas de 3x3 cm, espaciadas cada 50 cm, que después se taponan con mortero 1:4, compactado. El alambre dobla 10 cm a 90° en cada extremo, y este doblez se clava contra la malla y la pared, empleando 3 grapas de 3/4 de pulgada.

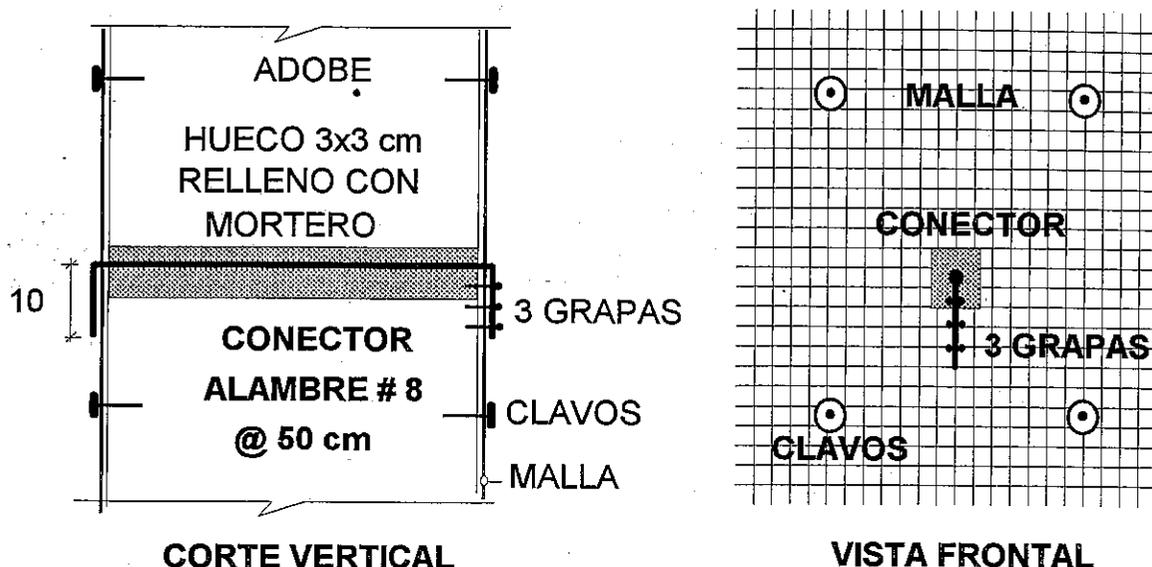


Fig.8. VISTAS DEL CONECTOR ENTRE MALLAS VERTICALES.

e.- Grapas de 3/4 de pulgada. Estas grapas permiten fijar los conectores (alambre # 8), mostrados en las Figs. 8 y 9.

f.- Mortero 1:4. Este mortero recubre la malla y es el elemento que incrementa la rigidez de la pared de adobe, ante acciones sísmicas coplanares y ortogonales al plano de muro.

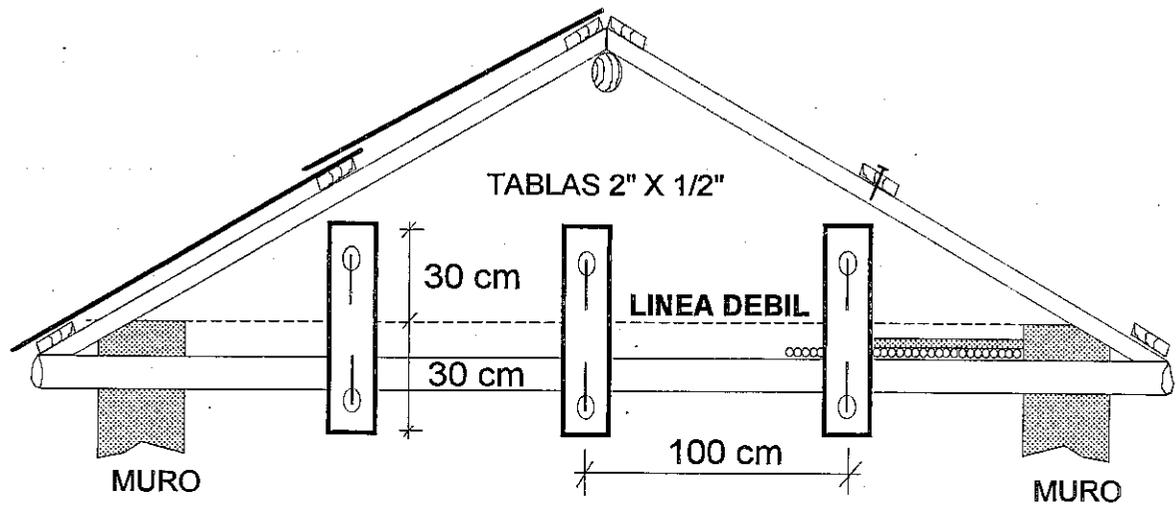
El espesor de la capa de mortero es del orden de 2 cm y está compuesto volumétricamente por una proporción de cemento portland tipo I más 4 de arena fina. El agua a utilizar para formar la mezcla, debe ser potable. Para el espesor de mortero indicado, se necesita por metro cuadrado de pared: 0.17 bolsas de cemento (0.005 m³) y 0.02 m³ de arena fina, sin contar desperdicios (usualmente 5%).

Inicialmente se humedece la pared para después pañetearla, luego se aplica el mortero frotachándolo. El tarrajeo final que se realiza con una plancha, lo cual hace que la zona reforzada luzca bien acabada y al adherirse convenientemente con la malla, no se ha observado peligro de desprendimiento por vibraciones sísmicas.

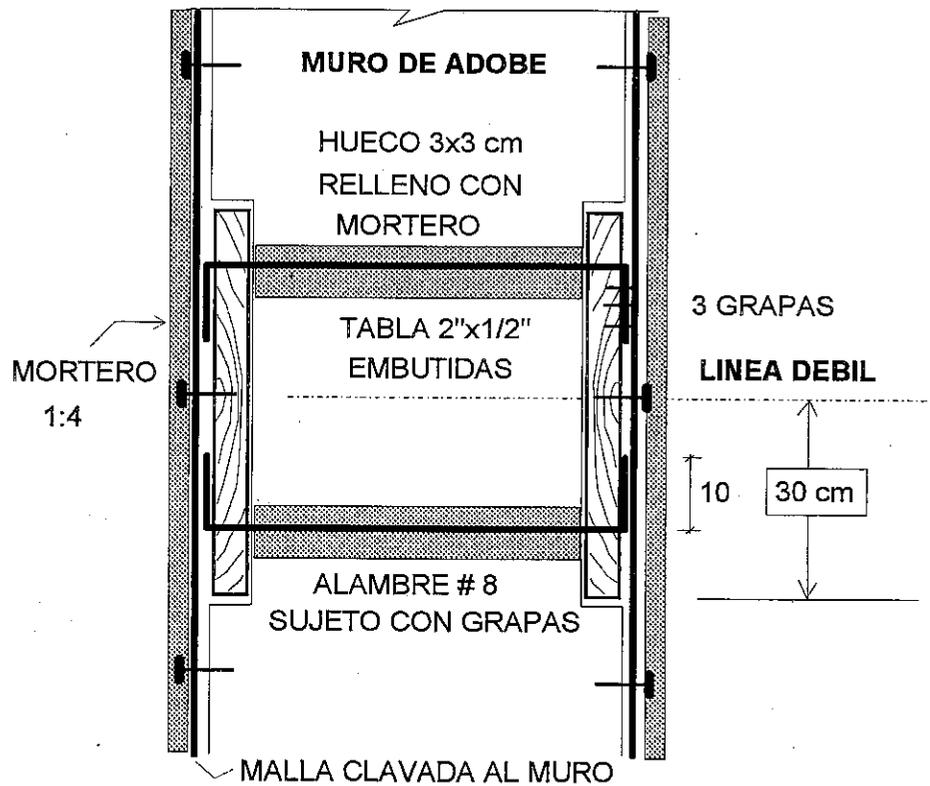
g.- Tablas de 1/2 pulgada de espesor, 2 pulgadas de ancho y 60 cm de altura. Este refuerzo debe emplearse en los tímpanos de las viviendas ubicadas en la Sierra, así como en la interfase sobrecimiento-adobe de aquellos muros localizados en la Costa o Sierra que superan los 4 m de altura.

Tal como se ha mostrado en la Fig. 2, la línea formada en la parte inferior del triángulo que conforma al tímpano es una zona de debilidad, al igual que la conexión sobrecimiento de ladrillo o concreto con el muro de adobe (Fig. 4), por lo que esa zona debe «coserse» con tablas verticales espaciadas cada 1 m, formando una especie de «sandwich», como se muestra en la Fig. 9.

Preferentemente, la tabla deben ser de madera «tornillo» y debe colocarse embutida en una ranura, hecha previamente en el muro, de manera que la malla la cubra. Estas tablas tienen una altura de 30 cm por arriba y debajo de la línea de debilidad. A su vez, la tabla interior debe conectarse con la exterior mediante alambre # 8, grampados (3 grapas de 3/4") contra las tablas.



**SECCIÓN
 VERTICAL
 DEL
 TÍMPANO**



**Fig.9. DETALLES DEL REFUERZO DE TABLAS EMBUTIDAS EN EL ADOBE,
 PARA EVITAR EL VOLCAMIENTO DEL TÍMPANO**

4.- HERRAMIENTAS Y SUS FUNCIONES

Para aplicar la técnica de reforzamiento propuesta, se requieren las siguientes herramientas de trabajo:

- a.- **Alicate.** Empleado para cortar la malla electrosoldada y los elementos conectores (alambre #8) de las mallas verticales.
- b.- **Cinzel y Martillo.** Se usan para hacer las perforaciones de 3x3 cm en el muro, donde se ubican los elementos conectores de la malla, así como para efectuar las ranuras en la pared donde se colocan las tablas de 2" x 1/2" x 60 cm (Fig. 9). Además, el martillo se utiliza para clavar la malla contra la pared de adobe (Fig. 7) y para clavar las grapas de los conectores (Fig. 8).
- c.- **Varilla de Acero Corrugado de 3/8" de diámetro por 50 cm de largo.** Sirve para compactar el mortero 1:4 a colocar en las perforaciones donde se alojan los conectores (Fig. 8).
- d.- **Serrucho.** Empleado para cortar las tablas mostradas en la Fig. 9.
- f.- **Carretilla.** Es empleada para transportar las bolsas de cemento y la arena fina.
- g.- **Batea.** Utilizada para preparar el mortero 1:4.
- h.- **Lata.** Se usa para definir las proporciones volumétricas de los ingredientes del mortero (cemento, arena fina y agua).
- i.- **Badilejo, Frotacho, Plancha y Tabla.** Estas herramientas se emplean en la operación de tarrajeo. El badilejo se utiliza para pañetear al muro con una primera capa de mortero (después que la malla haya sido instalada), lanzar una segunda capa de mortero y cortar las rebabas finales del mortero. El frotacho y la tabla sirven para alisar la capa de mortero y la plancha para darle el acabado final, para lo cual debe espolvorearse cemento seco.
- j.- **Wincha.** Utilizada para efectuar las mediciones correspondientes.

5.- PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

A continuación se describe paso a paso la técnica de reforzamiento propuesta, debiéndose indicar que el enmallado por franjas horizontales y verticales, debe realizarse en las dos caras de todos los muros que componen la vivienda, excepto en aquellos que colindan con viviendas vecinas. El enmallado se realiza en todos los muros, puesto que se ha observado en el terremoto de Nasca de 1996, que incluso las paredes interiores pueden colapsar, sin que fallen las perimetrales. Por otro lado, vuelve a remarcarse que las mallas verticales son las únicas que necesitan conectarse con alambre # 8 @ 50 cm (Fig. 8) y que la propuesta de reforzamiento tiene sus limitaciones (ver ítem 2).

a.- Medrado de Materiales. La cantidad de metros cuadrados de los muros por reforzar se obtiene de la siguiente manera:

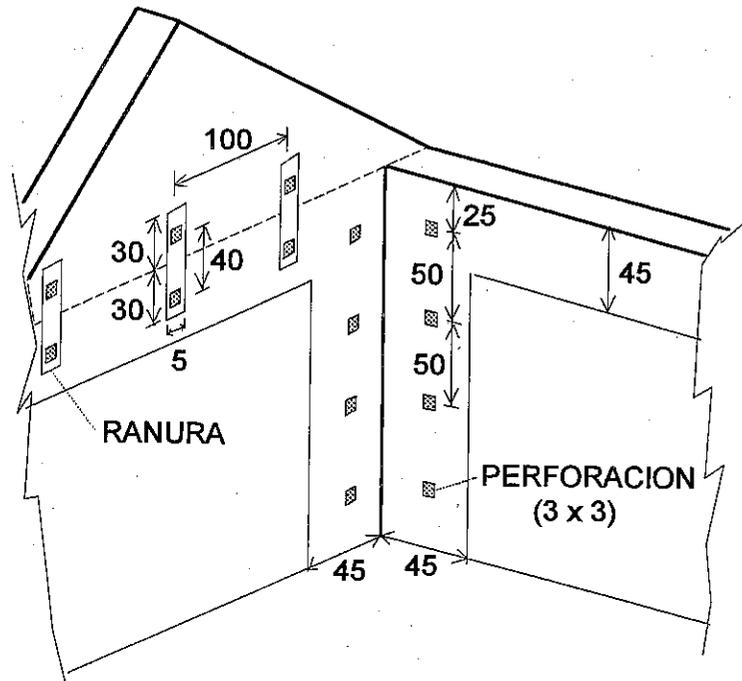
- Mallas Horizontales. Se multiplica por 0.9 (el ancho de la malla horizontal es 45 cm y debe reforzarse las dos caras de cada muro) a la suma de las longitudes de los muros (en metros). Para el caso de los muros perimetrales que colindan con viviendas vecinas, el factor 0.9 se convierte en 0.45.
- Mallas Verticales. Por cada intercepción entre muros ortogonales, se aplica la fórmula: $0.9 N H$, donde «H» es la altura del muro (en metros) y «N» es un factor que depende de la manera como se cruzan los muros (ver Fig. 10 y Tabla 1). Luego se suman esos resultados contabilizando todas las intercepciones que existen en la vivienda. Para el caso de muros que colindan con viviendas vecinas, «N» se reduce a los valores mostrados en la Tabla 1.

Finalmente, debe sumarse la cantidad de metros cuadros que aportan ambas mallas. Este resultado se multiplica por la cantidad unitaria de materiales (por m² de muro) indicada en la Tabla 2.

El número de conectores (alambre #8 @ 0.5 m) de las mallas verticales en cada intercepción entre muros ortogonales, se obtiene aplicando la fórmula: $N(2H + 1)$, donde «H» es la altura (en metros) del muro y «N» aparece en la Tabla 1 y en la Fig. 10.

TABLA 1. VALORES DE «N» PARA MALLAS Y CONECTORES				
INTERCEPCION EN PLANTA	Muros Interiores		Muros que Colindan con otras Viviendas	
	Malla	Conector	Malla	Conector
CRUZ	4	4	-	-
T	3	3	2	1
L	3	2	2 o 1	1 o 0
BORDE LIBRE	1	1	0.5	0

Fig.11. TRAZADO DE LAS FRANJAS Y UBICACION DE LAS PERFORACIONES Y RANURAS. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.



- d.- **Perforación y Ranurado de la Pared.** En los lugares donde se van a colocar los conectores de las mallas verticales (Figs. 8, 10 y 11), se realizan perforaciones de 3 x 3 cm, atravesando la pared, con un martillo y un cincel (Fig. 12). De existir tímpanos o muros con más de 4 m de altura y con sobrecimiento elevado, con las mismas herramientas se hacen ranuras de 5 x 60 cm con 1/2" de profundidad, en las zonas donde se ubicarán las tablas de refuerzo (Figs. 9 y 11), perforando los puntos correspondientes a sus dos conectores.



Fig. 12. PERFORACION DE LA PARED (3x3 cm) CON UN MARTILLO Y CINCEL EN LOS LUGARES DONDE SE COLOCAN LOS CONECTORES DE LAS MALLAS VERTICALES (ALAMBRE # 8 @ 50 cm).

- e.- **Instalación de los Conectores y Taponado de las Perforaciones.** El conector (alambre #8 @ 50 cm) de las mallas verticales, tiene una longitud igual al espesor del muro más 20 cm (sobresaliendo 10 cm a cada lado del muro). Después de haber colocado al conector en su perforación respectiva, ésta se tapona con mortero 1:4, compactándolo con una varilla corrugada de 3/8", para lo cual, una de las caras del muro se encofra con un triplay de 10 x 10 cm (sujeto por un operario), con un agujero en su zona central por donde pasa el conector. Ver la Fig. 13.

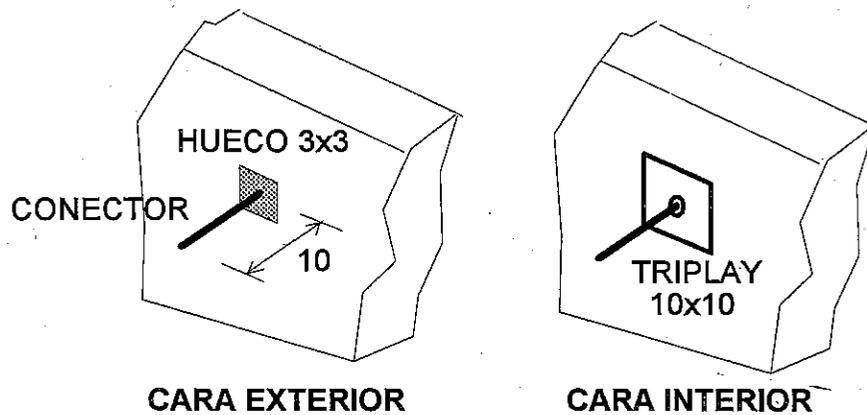
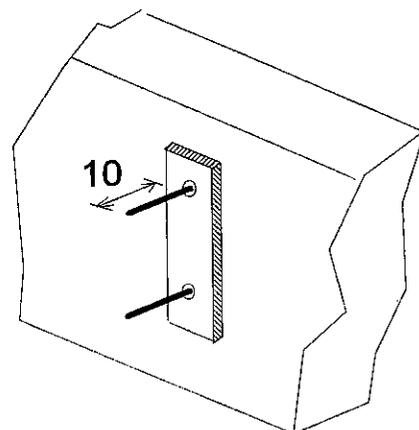


Fig. 13. INSTALACION DEL CONECTOR. DIMENSIONES EN cm.

- f.- **Instalación de las Tablas de Refuerzo.** Este paso es opcional, sólo se ejecuta cuando existen tímpanos o muros con más de 4 m de altura y con sobrecimiento elevado (Figs. 9 y 11). Una vez instalado los 2 conectores de cada Tabla (Fig. 13), taponado los huecos respectivos con mortero, se colocan las tablas embutiéndolas en su ranura correspondiente. Estas tablas deben tener 2 agujeros por donde pasan los conectores (Fig. 14).

Fig.14

**INSTALACION
DE LAS
TABLAS DE
REFUERZO.**



- h.- **Instalación y Clavado de las Mallas.** La malla electrosoldada se clava directamente contra la pared (con clavos de 2 1/2" y chapas, ver las Figs. 7 y 17), atravesando las salientes de los conectores (10 cm, ver las Figs. 13 y 14). En el caso de que uno de los alambres de la malla chocase con el conector, ese alambre se corta con alicate en el punto de contacto.

La malla vertical se instala antes que la horizontal, y ella es continua a lo largo de la altura de los muros (Fig. 15) mientras que las mallas horizontales pueden traslaparse 30 cm en las zonas localizadas al tercio de la longitud del muro (Fig. 16), estos traslapes nunca deben efectuarse al centro del muro ni en las esquinas. Por otro lado, de existir tímpanos, la malla horizontal debe cubrir totalmente el triángulo superior.

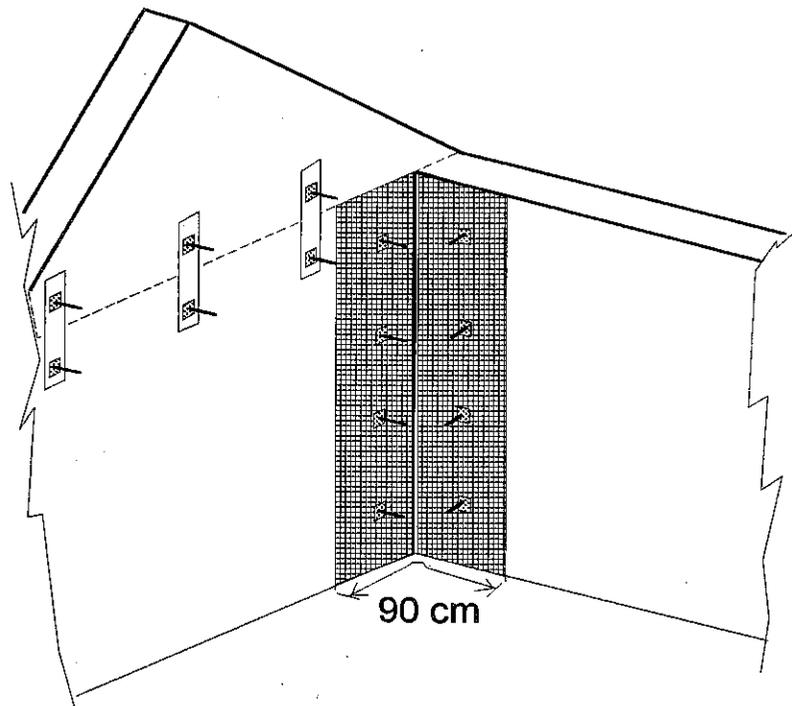


Fig. 15. INSTALACION DE LA MALLA VERTICAL CONTINUA (ANCHO 90 cm).

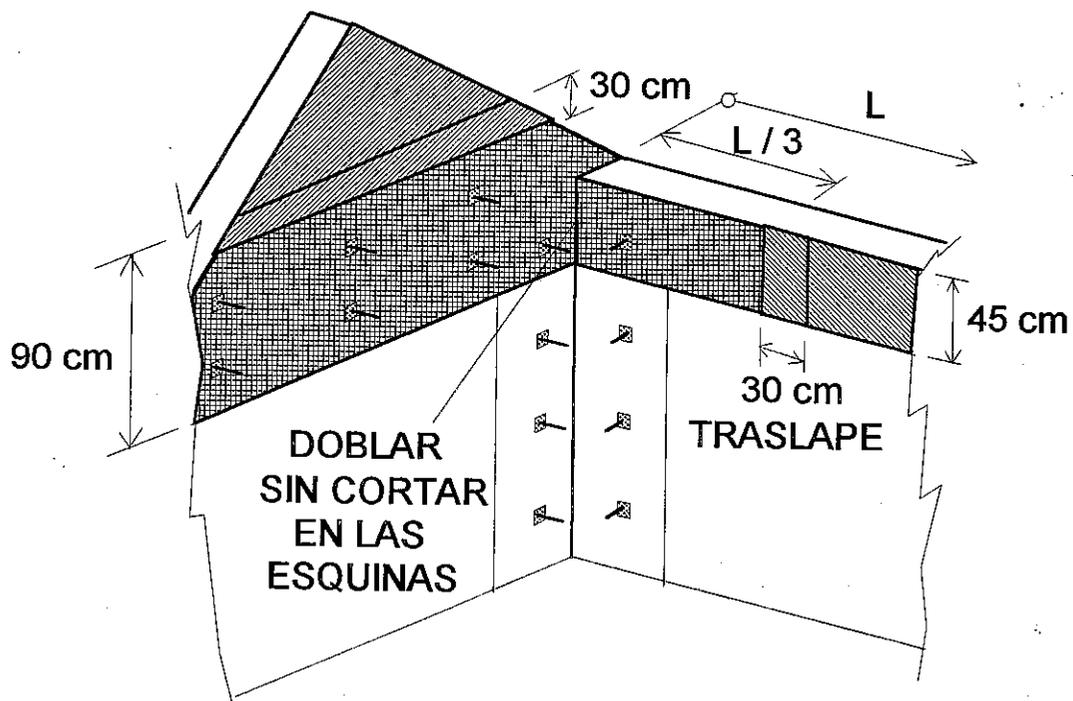


Fig. 16. INSTALACION DE LA MALLA HORIZONTAL (ENCIMA DE LA VERTICAL) Y ZONAS DE TRASLAPES.



Fig. 17. CLAVADO DE LA MALLA

- i.- **Doblado Engrape de los Conectores.** Los 10cm que sobresalen de conector, se doblan a 90° sobre la malla, para luego clavarlos con 3 grapas de $3/4$ de pulgada contra el muro o contra la tabla de refuerzo. Ver la <fig. 8, 9 y 18.



Fig. 18. DOBLADO Y ENGRAPE DE LOS CONECTORES CONTRA LAS TABLAS DE REFUERZO EN UN TIMPANO DE ADOBE.

- j.- **Tarrajeo de la zona Reforzada** El mortero a utilizar tiene una proporción volumétrica cemento-arena fina 1:4 y un espesor de 2 cm. En primer lugar, con el badilejo se pañetea al muro lanzando una primera capa de mortero contra la malla. Luego se lanza una segunda capa de mortero, la que se alisa con el frotacho y la tabla. Posteriormente, espolvoreando cemento seco, se procede a dar el acabado final con la plancha, cortando las rebabas con el badilejo. En el estado final, el muro debe quedar tal como se muestra en las Figs. 19 y 20.

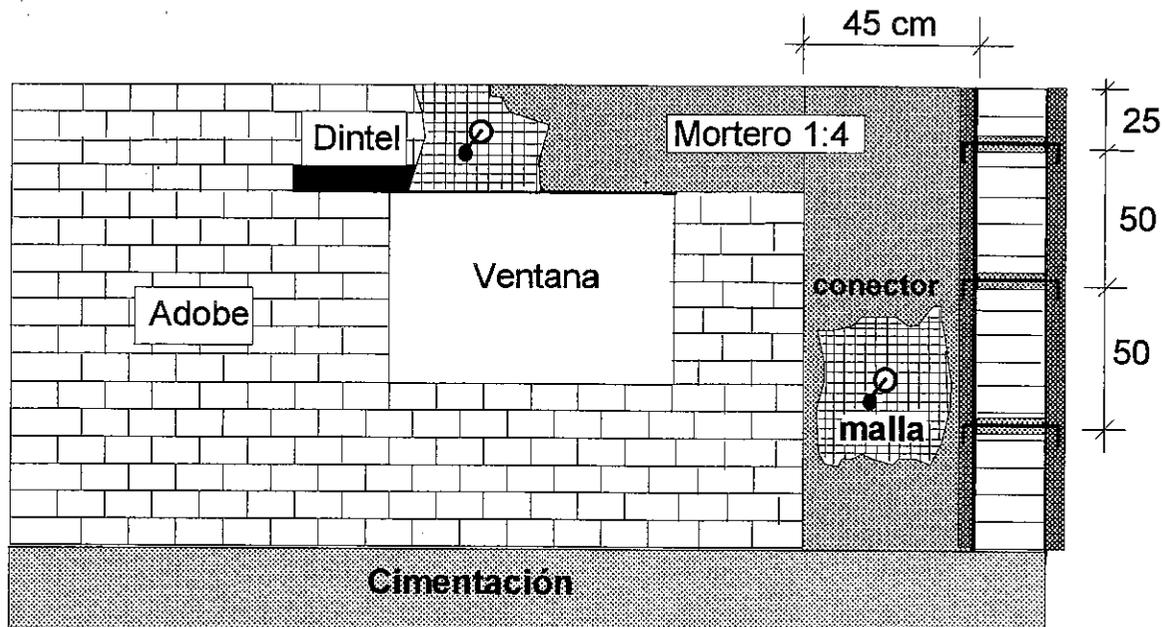


Fig.19. MURO DE ADOBE REFORZADO CON MALLA ELECTROSOLDADA.

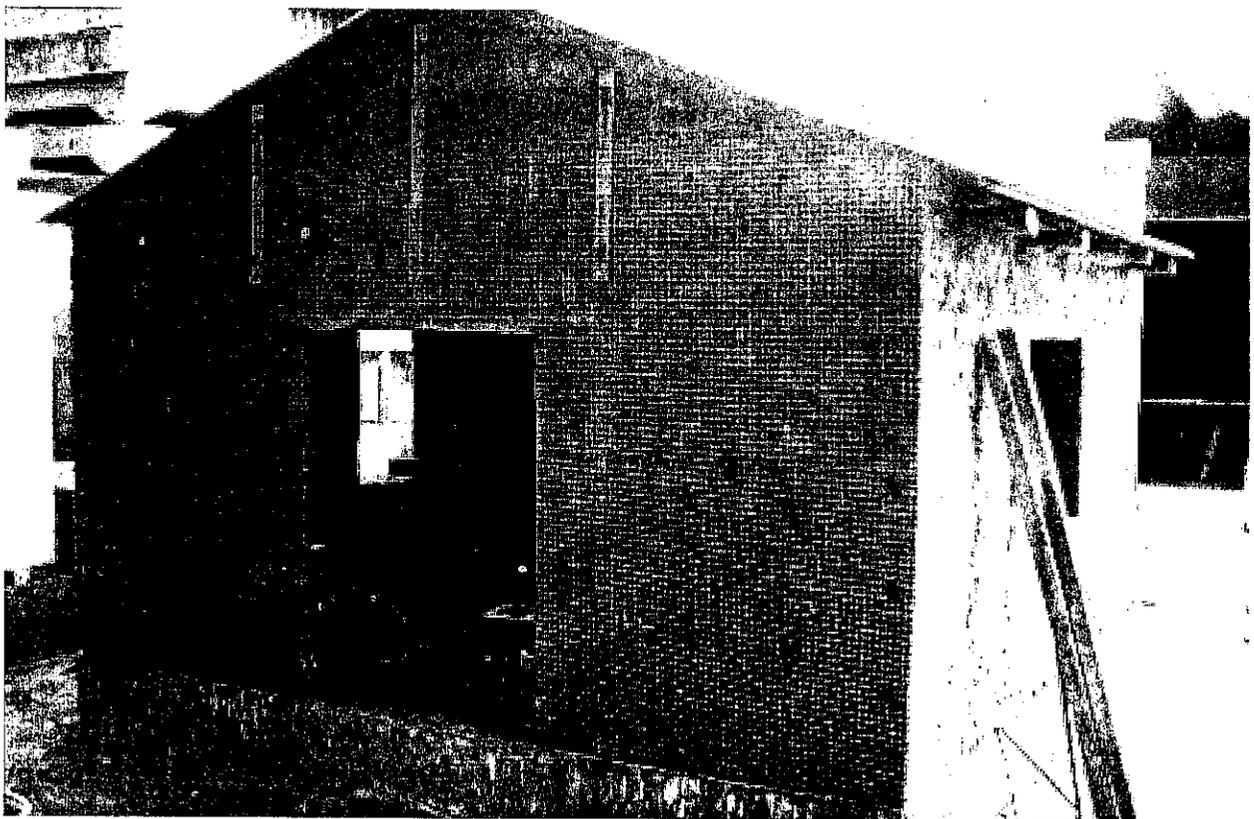


Fig. 20. VISTA EXTERIOR DEL MODULO DE VIVIENDA REFORZADO ANTES Y DESPUES DE SER TARRAJEADO.

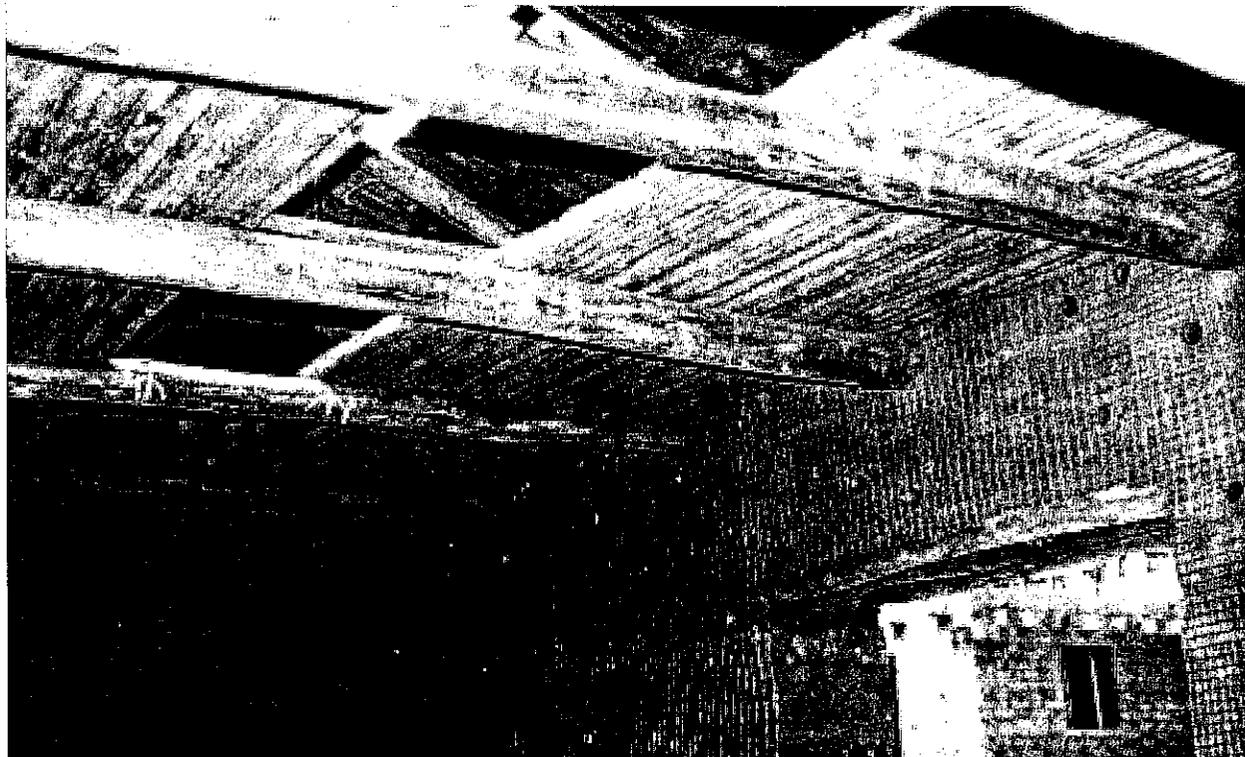


Fig. 21. VISTA INTERIOR DEL MODULO DE VIVIENDA REFORZADO ANTES Y DESPUES DE SER TARRAJEADO.

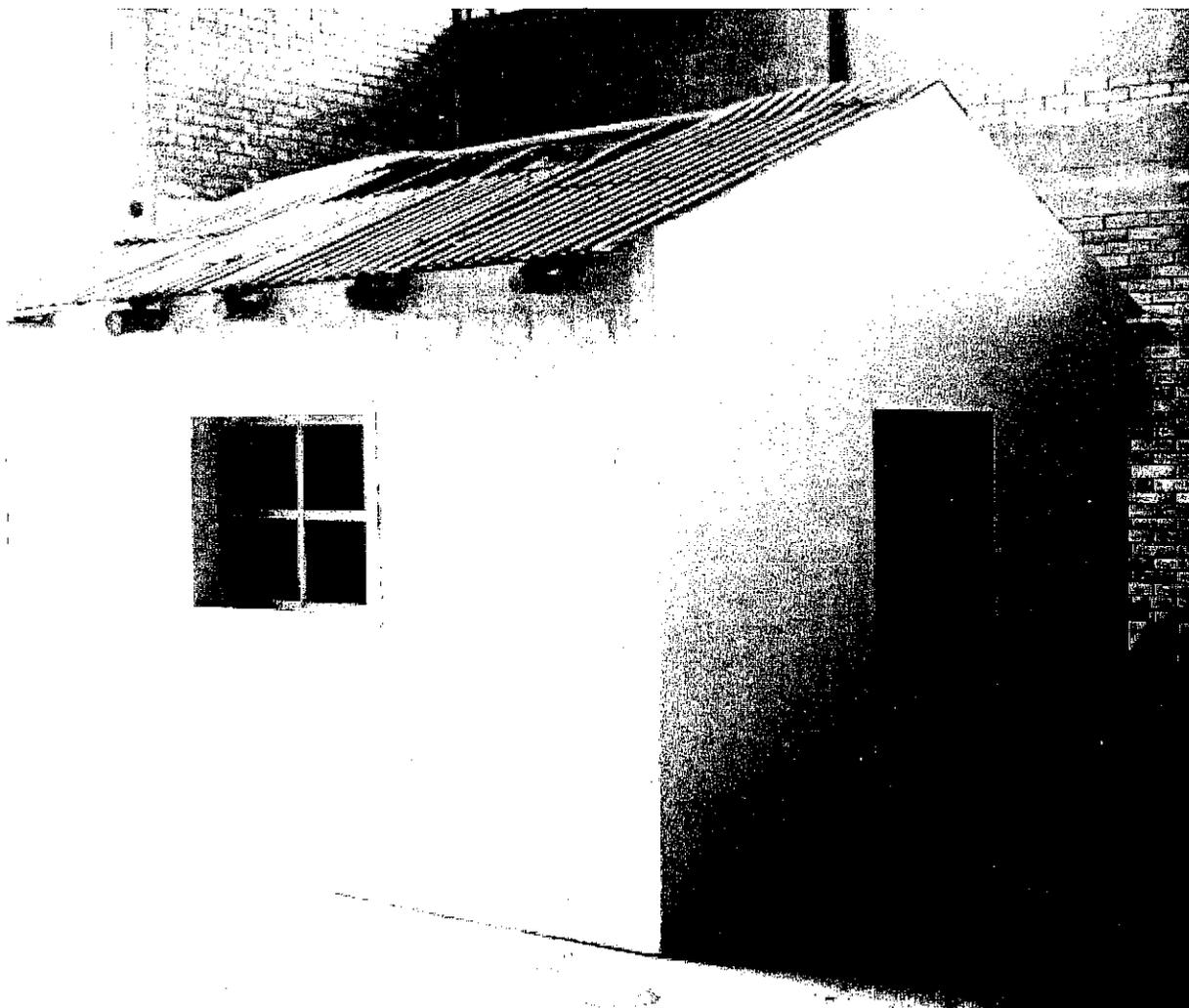
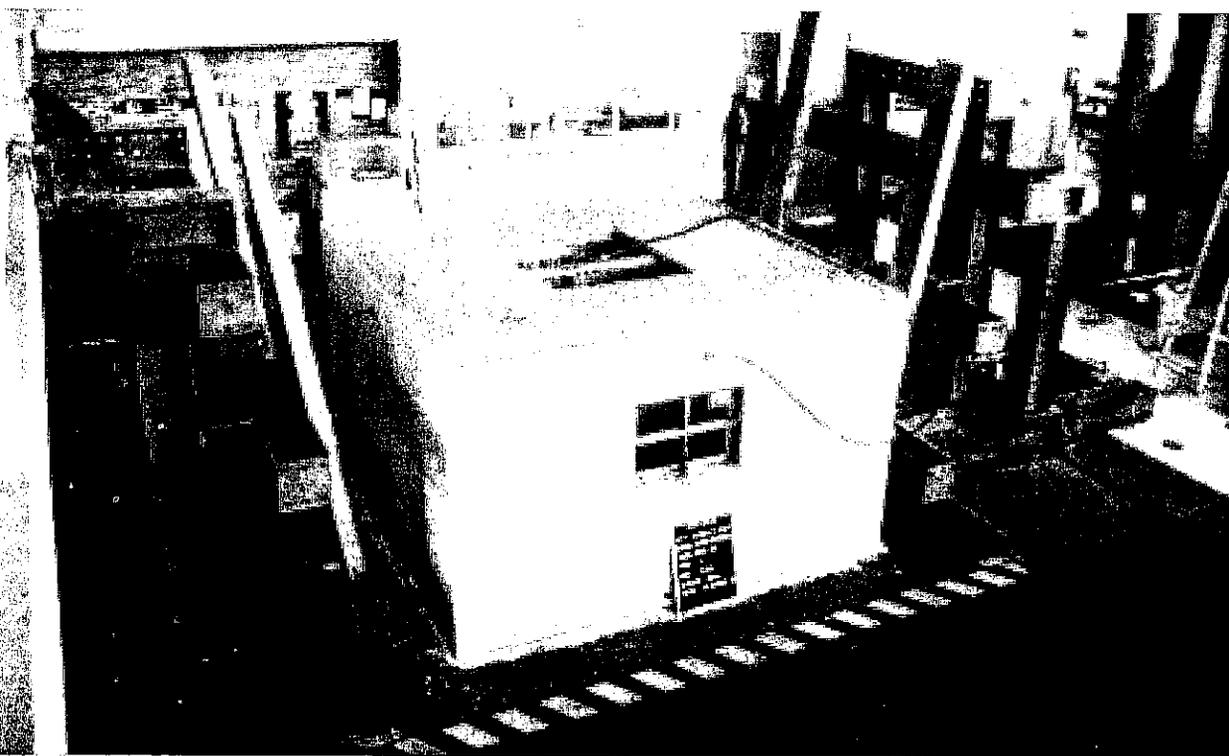
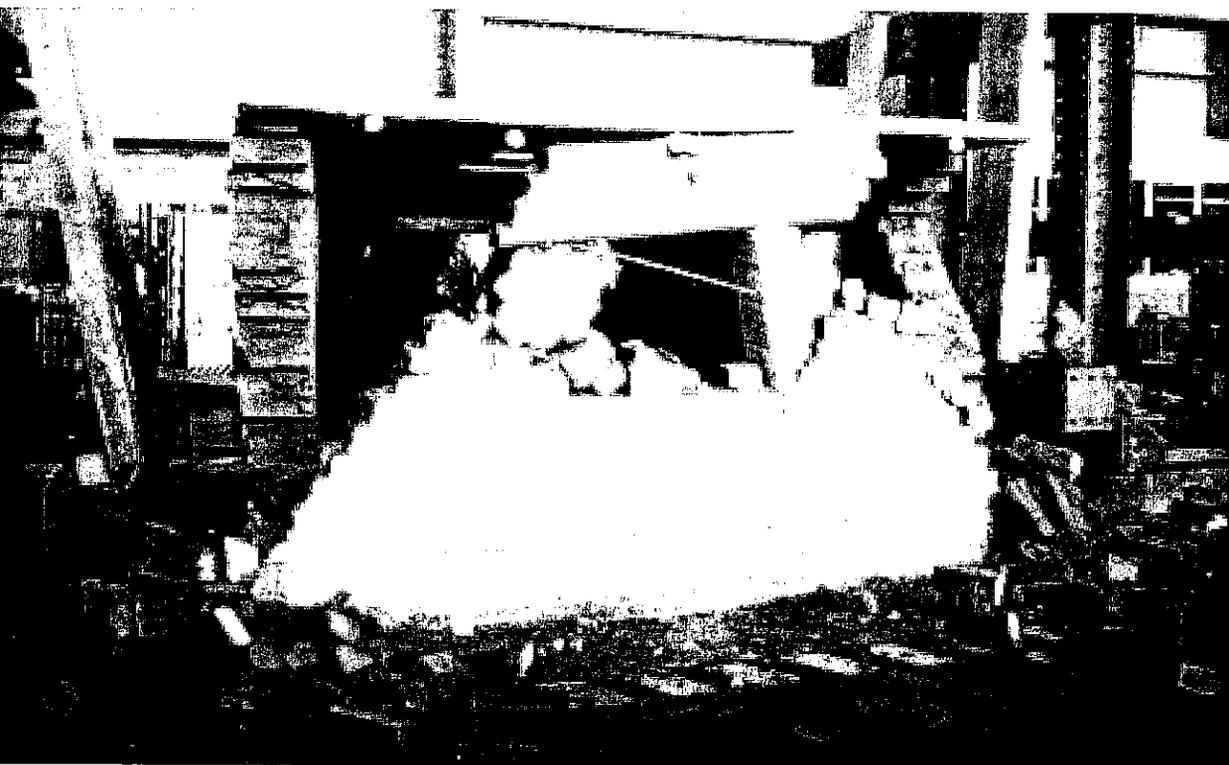


Fig. 22. MODULO DE VIVIENDA REFORZADO DESPUES DE SER TARRAJEADO Y PINTADO CON CAL



**Fig. 23. COLAPSO DE UN MODULO NO REFORZADO TIPICO DE COSTA
(vista superior) Y FISURAS LEVES EN UN MODULO SIMILAR PERO**

6.- EJEMPLO DE REFORZAMIENTO VERTICAL Y CONECTORES

En la Fig. 24 se muestra los lugares donde debe colocarse las mallas verticales (líneas gruesas), con sus respectivos conectores, para el caso de una vivienda de adobe ubicada en esquina con límites de propiedad (LP) indicados.

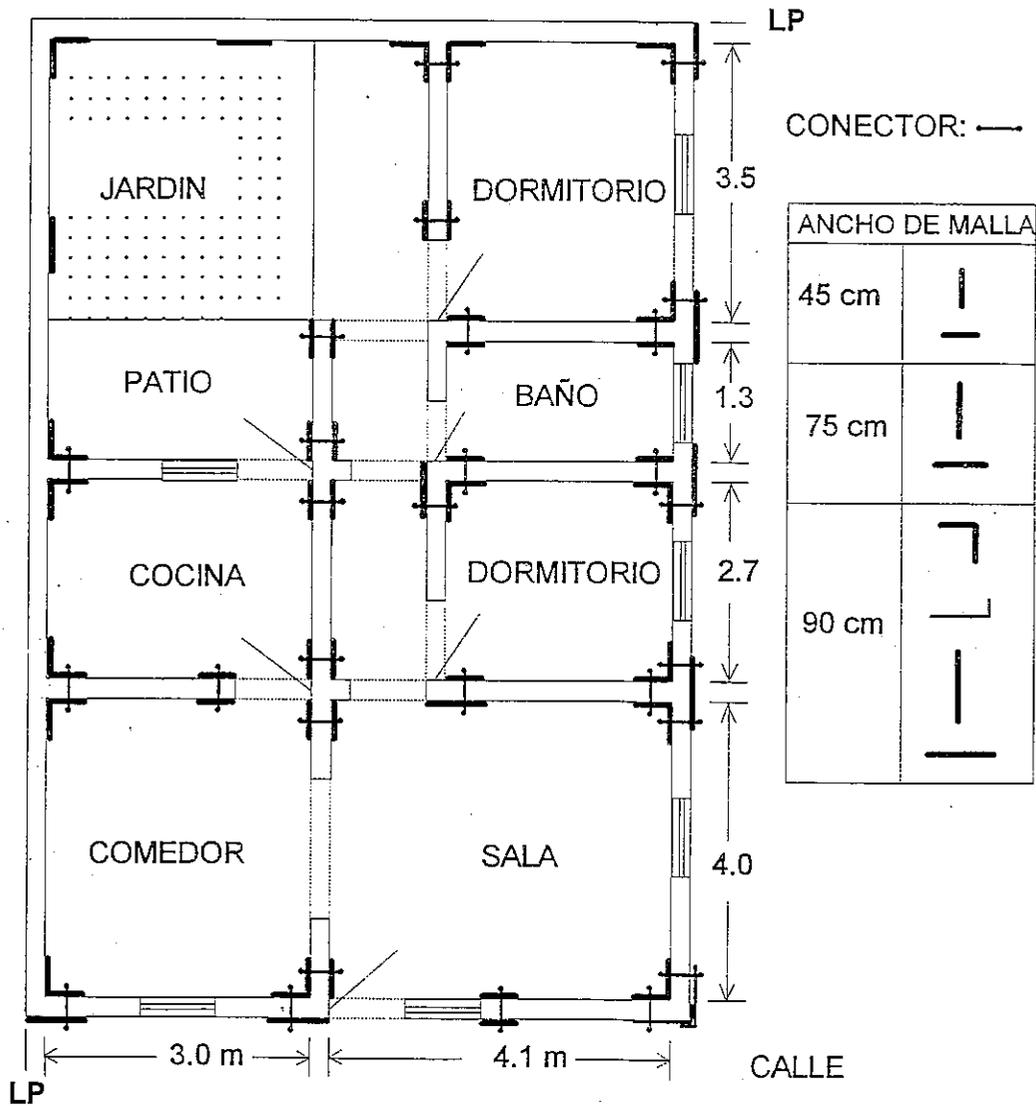


Fig. 24. DISTRIBUCION DE LAS MALLAS VERTICALES Y CONECTORES EN UNA VIVIENDA DE ADOBE UBICADA EN ESQUINA