

BEHAVIOUR OBSERVED IN EARTHEN BUILDINGS DURING FOUR DESTRUCTIVE
EARTHQUAKES IN LATIN AMERICAN COUNTRIES

Ing. Carlos N. Balseiro *
Ing. José Herrera Cano **
Ing. Hugo Giuliani **

* Professor of the Building Department of the Faculty of
Engineering and Architecture, Universidad Nacional de San Juan.

** Research workers of the "Ing. Aldo Bruschi" Seismic Research
Institute of the Universidad Nacional de San Juan.

ABSTRACT

In this paper, a revision is made of the behaviour noted by the authors in earthen buildings during four devastating Latin American earthquakes. They are: in San Juan, Argentina on 15th January 1944 and 23rd November 1977; in Lima, Perú on 3rd October 1974 and Guatemala, Central America on 4th February 1976.

Finally, some hints are given as to the improvement of the earthen buildings in zones of high seismic risk.

COMPORTAMIENTO OBSERVADO EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS CON ADOBES
DURANTE CUATRO TERREMOTOS DESTRUCTIVOS OCURRIDOS EN LATINOMERICA

RESUMEN

En este informe, se efectúa una revisión del comportamiento observado por los autores en las viviendas de adobes en cuatro terremotos destructivos latinoamericanos que son: San Juan, Argentina, 15 de enero de 1944 y 23 de noviembre de 1977, Lima, Perú, 3 de octubre de 1974 y Guatemala, C.A. 4 de febrero de 1976.

Finalmente se mencionan algunas recomendaciones para el mejoramiento de las viviendas construidas con adobes en zonas de elevado riesgo sísmico.

1. Introducción

La construcción de adobe en Latinoamérica es una tradición que se remonta a la época de la colonización española.

Por la facilidad de su realización y por sus bajos costos su difusión fue y es aún muy amplia en los asentamientos humanos de la región, incluyendo también sus más importantes ciudades. Presenta para los sectores de bajos recursos características ventajosas para la autoconstrucción. En efecto, el material necesario se obtiene gratuitamente del suelo y con el solo empleo de la mano de obra del interesado se pueden fabricar los adobes y realizar su construcción. Además en el caso de su destrucción, por terremotos, es posible recuperar gran parte de los materiales facilitando la reconstrucción.

Es evidente que motivos económicos y sociales obligarán a continuar usando el adobe, principalmente en zonas rurales. Sin embargo, las viviendas de adobe construidas en la forma tradicional ofrecen poca resistencia a los terremotos de grado superior al VII de la escala de intensidad Mercalli y han sido la causa de la mayor cantidad de víctimas fatales que han ocasionado los terremotos que afectaron a Latinoamérica.

La solución a este problema no puede desligarse de las condiciones socio-económicas de cada país en particular. Consecuentemente, son muchos los esfuerzos realizados para mejorar el comportamiento sismo-resistente de las construcciones de adobe, mejoramiento que, sin embargo, no debe desvirtuar sus ventajas económicas y las posibilidades de la auto-construcción.

Construcciones de adobe en que se han aplicado normas para su mejor comportamiento sismo-resistente y que han sido sometidas a intensidades de grado VIII y IX de la escala de Mercalli, durante el terremoto de Caucete, San Juan (Argentina) del 23 de noviembre de 1977, han mostrado que es posible construir viviendas económicas y de adobe con adecuada resistencia a los sismos.

De acuerdo con lo expuesto se debe reconocer la necesidad de dictar normas para la ejecución de las construcciones de adobe, no con el objeto de promoverlas sino para ser aplicadas en los casos en que, por razones socio-económicas, sea ineludible su construcción.

2. Terremoto del 15 de enero de 1944 - San Juan - Argentina

Generalidades:

El día sábado 15 de enero de 1944, a las 20 hs. 50 min. hora local, se produjo un terremoto cuyo epicentro se

ubicó en las proximidades del lugar denominado La Laja, Departamento de Albardón, 30 kilómetros al Norte de la ciudad de San Juan. La magnitud de este movimiento sísmico fue estimada en 7,8 de la escala de Richter y su intensidad máxima en IX en la escala de Mercalli Modificada, destruyendo casi completamente a la ciudad de San Juan y ocasionando de 8.000 a 10.000 muertos.(Ref.1).

La ciudad de San Juan contaba a esa fecha con unos 110.000 habitantes y tenía un casco urbano densamente poblado de una extensión de 135 manzanas. En su periferia se desarrollaban cuatro barrios cuya densidad de edificación decrecía paulatinamente: al Norte Concepción, al Oeste Desamparados, al Sur Trinidad y al Este Santa Lucía.

A la fecha de este terremoto no había reglamento alguno que estableciera previsiones sismo-resistentes para la edificación de la ciudad, a pesar de haber sido severamente afectada el 27 de octubre de 1894 por un terremoto de mayor magnitud que el que se comenta.

Características de las construcciones

Existían en la ciudad al momento del sismo, tres tipos de construcciones:

- 1 -Construcciones de hormigón armado con mampostería de ladrillo, sin previsiones sismo-resistentes, pero de buena ejecución que constituirán aproximadamente el 2 % de la edificación de la ciudad. Subsistieron en la mayor parte y fueron posteriormente consolidadas conforme a normas que al efecto dictó el Consejo de Reconstrucción de San Juan, Ente nacional organizado con posterioridad al terremoto.
- 2 -Construcciones de ladrillo, en su mayor parte defectuosas por el empleo de mezclas deficientes (aproximadamente el 8% de la edificación de la ciudad). Muchas de estas construcciones se derrumbaron y las que quedaron en pié fueron demolidas.
- 3 -Construcciones de adobe (aproximadamente el 90% de la edificación de la ciudad). El comportamiento de estas construcciones se comenta en el presente trabajo.

Características de las construcciones de adobe

La edificación del casco urbano de la ciudad de San Juan se caracterizaba por el predominio en un 90% de construcciones de adobe cuyas principales características eran los malos cimientos y pesados techos. En los barrios suburbanos casi toda la edificación era de adobe y hasta se encontraban antiguas viviendas construidas con "cajonadas de barro", llamadas "de tapia" en el lenguaje local, que se ejecutaban apisonando barro dentro de moldes por lo que sus paredes quedaban atravesadas por juntas horizon-

tales y verticales correspondientes a cada colada de barro.

Los adobes empleados en la construcción de las viviendas se fabricaban amasando limo arcilloso, agua y paja corta y dejando estacionar la mezcla durante varios días. Después se moldeaban con dimensiones que oscilaban entre 45 a 52 cm. de largo, 22 a 25 cm. de ancho y 12 cm de espesor y se dejaban secar al aire. Un adobe seco pesaba alrededor de 20 kilos y se asentaba generalmente sobre barro y a veces sobre mortero de cal preparado con cal grasa y arena fina.

Los muros exteriores se ejecutaban con adobes colocados de tizón (45 cm de ancho aproximadamente) y los muros interiores colocándolos de soga (22 cm de ancho aproximadamente). Sin embargo era frecuente encontrar muros de mayores espesores que se ejecutaban levantando dos muros de adobe de tizón, separados 20 o 30 cm, espacio que luego se rellenaba con barro obteniéndose un espesor total del orden de 120 cm. para aislar térmicamente los ambientes. En otras ocasiones muros de 120 cm. de espesor se construían macizos con la intención de obtener más solidez, tal lo que ocurrió frecuentemente en iglesias.

En los muros interiores de las viviendas se observaba con frecuencia falta de trabazón, interceptándose los muros por simple contacto y ocultándose la correspondiente junta con el revoque y la pintura.

Los cimientos eran de poca profundidad y de mala calidad, pues en la mayoría de los casos se construyeron con canto rodado unidos con barro, raramente con hormigón de cal. Su ancho, con frecuencia, no excedía al del muro. Como estos cimientos terminaban a nivel del suelo, la humedad atacaba fácilmente los muros de adobe, disgregando la zona próxima al suelo con la consiguiente pérdida de sección. Igual fenómeno se observaba a veces en los cimientos, desmenuzándose el barro o el mortero que unía los cantos rodados del cimiento.

El revoque de los paramentos interiores se realizaba con barro amasado con agua, al que se agregaba paja de trigo en cantidad mayor que la que se empleaba para hacer los adobes, para atenuar las grietas de contracción que aparecían en el barro arcilloso al secarse; posteriormente eran blanqueados con agua de cal y pintados. Con frecuencia no se revocaban ni los paramentos exteriores ni los muros divisorios entre propiedades.

En viviendas mejor terminadas, especialmente en las fachadas, los revoques eran de cal y arena.

Las viviendas de adobe eran de una sola planta. La altura de las habitaciones no era menor de 4,00 m, generalmente 4,50m y en ocasiones hasta 5,00m. En casos excepcionales se observaban alturas de hasta 6,00 (Foto 1) La gran altura de los locales y el espesor exagerado de los techos obedecía al propósito de obtener aislación térmica. Los techos eran característicos por su cons-

trucción y por su gran peso. En la parte superior de los muros se asentaban, sin anclar, rollizos de álamo distanciados unos de otros 60 cm que, en muchos casos, no apoyaban en todo el espesor del muro. El envigado así formado se cubría con cañas colocadas una al lado de otra que se ataban con "tientos", que son tiras de cuero mojadas, que al secarse se acortan y aprietan las ataduras. En construcciones mejor ejecutadas las cañas se ataban con alambre delgado. Sobre el "cañizo" así formado, se colocaba una o dos capas de barro con abundante paja recortada, en proporción aún mayor que la que se usaba para los revoques. Como estas capas se reponían durante el transcurso del tiempo, el espesor del barro alcanzaba frecuentemente 40 cm. y en algún techo se ha medido hasta 60 cm. de espesor.

Este tipo de techo era el preferido por los habitantes de la ciudad de San Juan, por su clima de características continentales y daba buena protección térmica para el calor de sus largos veranos y el frío de inviernos breves pero rigurosos. En la mayor parte de las viviendas, no sufrían tratamiento alguno en su parte interior, quedando a la vista los rollizos y el "cañizo" que apoyaba sobre ellos. En construcciones mejor terminadas se ocultaba a la vista por un cielorraso de lienzo o de cartón prensado. Se observaron en locales públicos, negocios y confiterías cielorrasos de chapa de metal estampado.

En el centro de la ciudad de San Juan se mejoraba el aspecto de la edificación de adobe levantando por encima del techo un parapeto que generalmente sobrepasaba el metro de altura. Estos muros se adornaban con cornisas que, aunque fuesen de poco vuelo, ocasionaban cargas excéntricas. La mayor carga excéntrica era producida por las ménsulas que sostenían los cables aéreos de la conducción eléctrica de la ciudad y que se empotraban en los frentes de los edificios.

Daños observados:

La zona más afectada fue el barrio de Concepción por tener la edificación más antigua y de peor calidad y ser la parte de la ciudad más próxima al epicentro (Foto 2). Se derrumbaron completamente las viviendas y los muros divisorios construidos con "cajonadas de barro". La estabilidad al sismo de estos muros resultó escasa, pues aunque se construían de espesor considerable no existía cohesión entre los bloques formados por cada "cajonada de barro" (Foto 3).

Las construcciones de adobe que se ubicaban en este barrio, que como se dijo eran las más antiguas de la ciudad, se derrumbaron en un 90%. Influyó sobre este resultado, el debilitamiento producido en la base de los muros por la acción erosiva del agua, la falta de trabazón en los encuentros, la gran altura de los locales y por sobre todo el peso excesivo de los techos. Los espesores exagerados de los muros que a veces alcanzaban hasta 1,20 m. y aún más, no ayudaron a mantener la estabilidad de

los edificios (Foto 4).

En el casco urbano de la ciudad y en los tres restantes barrios circundantes de Desamparados, Trinidad y Santa Lucía, no se alcanzó el grado de destrucción observado en Concepción, aunque eran numerosas las viviendas derrumbadas por las causas anteriormente explicadas.

En los edificios de adobe que quedaron en pie se observó:

- Caída general de los parapetos y cornisas producida por la carga excéntrica de éstas y de las ménsulas que sostenían los cables de la conducción eléctrica (Fotos 5 y 6).
- Caída de los techos hacia el interior de las habitaciones a causa de la apertura de los muros y del insuficiente apoyo de los rollizos sobre éstos (Foto 7).
- Notable desplome de los muros de las fachadas
- Agrietamiento general de muros y daños en las esquinas superiores de las aberturas, ambas a causa del escaso apoyo de los rollizos en los dinteles.
- Caída de los dinteles de hormigón aunque el muro de adobe quedara en pie.
- Influencia negativa de los conductos empotrados en los muros (desague pluvial, ventilación de cloacas, etc.), que en ocasiones produjeron derrumbes parciales o intensificaron los daños.
- Revoques desprendidos por falta de adherencia.
- Derrumbes de muros interiores por falta de trabazón dejando al descubierto la unión de los muros por simple contacto (Fotos 8 y 9).
- Cielorrasos desprendidos en casi todas las viviendas. Los cielorrasos de lienzo y de cartón prensado no ocasionaron víctimas al desprenderse. Por el contrario, en los locales públicos, especialmente confiterías, donde se desprendieron cielorrasos rígidos de metal estampado se produjeron muertos y contusos por esta causa.
- Las modificaciones introducidas en las viviendas, apertura o cierre de puertas ó ventanas, ampliaciones, etc. afectaron notoriamente la estabilidad aumentando la magnitud de los daños. Estos resultaron mayores cuando las modificaciones o ampliaciones se ejecutaron con ladrillo, debido a la falta de unión entre ambos materiales y a su comportamiento diferente.
- La mampostería de adobe asentada sobre mezcla de cal y arena fina, colapsó a causa de su falta de adherencia a los adobes.

Estos edificios que quedaron en pie, con los daños anteriormente descritos, fueron demolidos en los días posteriores al terremoto fundándose esta decisión en razones de seguridad y en preparar la reconstrucción, a cuyo objeto, se creó el Consejo de Reconstrucción de San Juan.

Conclusiones:

El terremoto del 15 de enero de 1944 destruyó casi totalmente la ciudad capital de la Provincia de San Juan y alrededores, con cerca de 8.000 víctimas fatales. El carácter de desastre que adquirió se debió no solo a la violencia del movimiento sino también a la pésima calidad de su edificación que en su mayor parte eran de barro. Esta situación fue una reedición ampliada de lo que se apreció luego del terremoto ya mencionado de 1894. En esa oportunidad sus enseñanzas no se tuvieron en cuenta, tal vez porque en esa fecha la ciudad era pequeña. Es importante mencionar que el suelo de la ciudad de San Juan es de buena calidad y puede sustentar edificios mucho mayores que los destruidos. Este es un antecedente importante para afirmar que el desastre fue la consecuencia de la pésima calidad de su edificación, especialmente la ejecutada con adobes.

3. Terremoto del 23 de noviembre de 1977 - Caucete - San Juan

Argentina

Generalidades:

En la mañana del 23 de noviembre de 1977, a las 6hs. 28 min. hora local, se produjo un terremoto de magnitud 7,3 en la escala de Richter, cuyo epicentro fue ubicado a unos 100 km. al este de la ciudad de San Juan. Se caracterizó por la extensa zona que abarcó, alcanzando intensidades IX en Bermejo, VIII a IX en Caucete, VII a VIII en la ciudad de San Juan y VI a VII en la ciudad de Mendoza. La población importante más próxima al epicentro es la ciudad de Caucete, distante unos 30 km. al este de la ciudad de San Juan y centro de una extensa zona rural dedicada al cultivo de la vid y elaboración de vinos (Ref.2).

En la ciudad de Caucete y localidades aledañas se produjeron 75 muertos, cantidad reducida si se considera la extensa zona afectada y la población involucrada.

Esto se explica, porque el terremoto alcanzó su gran poder destructivo a más de 20 segundos de iniciado y además, por la fecha y hora de su ocurrencia, ya que sucedió una hora antes de la iniciación de las actividades educativas, industriales y comerciales, pero con completa luz del día, por lo que la pobla-

ción rural ya había abandonado sus viviendas.

El derrumbe de muchas viviendas de adobe produjo la mayor parte de las víctimas fatales y aunque los daños fueron importantes también en establecimientos industriales y en escuelas, no ocurrieron víctimas en ellos por estar aún sin iniciarse las actividades, según se mencionó.

Análisis de los daños

En la ciudad de Cauçete, el centro de la zona agrícola afectada, la intensidad sísmica alcanzó al grado IX de la Escala de Mercalli.

Es importante mencionar que en una amplia zona que abarcó más de 1000 km² ocurrió el fenómeno de licuación de arenas finas, lo que produjo una notable amplificación del movimiento del suelo durante el sismo. Esta licuación originó efectos sísmicos más severos en las construcciones, ocurriendo además hundimientos, inclinaciones y asentamientos de edificios, que en muchos casos los inutilizaron.

El comportamiento de las construcciones fue el siguiente:

- a) Construcciones con previsiones sismo-resistentes, de hormigón armado con mampostería de ladrillos comunes, bloques de hormigón ó bloques cerámicos huecos. Estas construcciones resultaron en general, con daños menores. Sin embargo por el efecto combinado de la licuación del suelo limoso, con los defectos constructivos o el diseño estructural inadecuado, varias construcciones sufrieron colapsos o daños severos, entre las que se destacan algunas escuelas.
- b) Construcciones de viejos adobes, construídas a la manera tradicional. Resultaron destruídas o severamente dañadas y fueron la causa de casi todas las víctimas fatales (Fotos 10, 11, 12, 13 y 14).
- c) Construcciones de adobe ejecutadas según recomendaciones dictadas por el Ex-Consejo de Reconstrucción de San Juan, en el año 1948, que según ya se mencionó fue el organismo que tuvo a su cargo la reconstrucción de la ciudad de San Juan destruída por el terremoto de 1944. Las construcciones de este tipo ubicadas en Cauçete, sufrieron daños menores consistentes en caídas de revoques interiores (Fotos 15 y 16). Las ubicadas en zonas aledañas a la ciudad de San Juan, en donde no hubo licuación de suelos y la intensidad alcanzó el grado VIII de la Escala de Mercalli, no sufrieron daños.

Conclusiones

El terremoto de Caucete ha permitido comparar el comportamiento de las distintas construcciones de adobe, al ser sometidas a terremotos de gran intensidad, grado VIII a IX de la Escala de Mercalli, con el siguiente resultado:

Por una parte, colapso total de las construcciones de adobe ejecutadas según la tradición, sin previsiones sismo-resistentes y por la otra, sin daños o con daños económicamente reparables, las ejecutadas conforme a las recomendaciones sismo-resistentes, aún con el agravante de la licuación del suelo.

4. Terremoto de Lima (Peru) del 3 de octubre de 1974

Generalidades

El día 3 de octubre de 1974, a las 9 horas 21 minutos hora local, un violento terremoto afectó a la ciudad de Lima y sus alrededores. El epicentro del sismo fue ubicado por el N.E.I.S. de Estados Unidos en los 12.3° latitud Sur y 77.8° longitud Oeste, a unos 80 km. en dirección Sud-Oeste de Lima, con una profundidad de foco de 13 km. La estimación de la magnitud de acuerdo al N.E.I.S. varía entre 6.6 y 7.6, la primera según las ondas volumétricas (M_B) y la segunda según las ondas superficiales. Este terremoto causó 78 muertos y el número de heridos superó los dos millares, siendo alrededor de 5.500 el número de construcciones dañadas (Ref.3) y casi cuatro millones de habitantes la población involucrada.

Los lugares más afectados fueron las poblaciones de Chincha, Chorrillos, Barranco, Imperial, Cañete y La Molina, habiéndose también producido daños considerables en La Planicie, Pisco, Callao, Ica, Rimac, San Miguel y los Barrios Altos. El área más afectada cubre una extensión de aproximadamente 60.000 km^2 , dentro de la cual se observaron intensidades que alcanzaron el valor de VIII de la Escala Mercalli Modificada, según lo detalla el Boletín del Instituto Geofísico del Perú de fecha 18 de octubre de 1974.

Daños en las construcciones

La edificación de la ciudad de Lima comprende una gama bastante extensa de tipos de construcciones; desde antiguas casas de adobe que datan algunas desde la época colonial (Lima antigua), hasta modernos edificios de varios pisos con estructura de hormigón armado y muros de mampostería de ladrillos.

Se distinguen los siguientes tipos de construcciones :

- a) Viviendas de adobe de un piso.
- b) Construcciones de adobe y quincha de uno y dos pisos.
- c) Viviendas de un piso de mampostería de ladrillos sin reforzar.
- d) Construcciones de uno y dos pisos de mampostería de ladrillo con algún refuerzo.
- e) Edificios altos con estructura apropiada de hormigón armado y relleno de mampostería de ladrillos.

Las viviendas de adobe de un piso abundan en los barrios de menores recursos de Lima y en Barrancos, Chorrillos, Huaura, Huacho y Chancay. El adobe utilizado tiene dimensiones de 10 x 20 x 40 cm. aproximadamente y, colocado de cabeza, forma muros de 40 cm. de espesor que alcanza una altura de 3 a 4 metros. Se observó que frecuentemente estos adobes no tenían agregados de fibras de paja, por cuya razón se deshacen con facilidad. Los techos son planos y están formados por tirantes o rollizos de madera sobre los que se colocan cañas o tablas recubiertas por una o más capas de barro. Los dinteles son comunmente de madera y ocasionalmente de hormigón armado. Ninguna de las viviendas de adobe poseía algún tipo de encadenado. Como en otros terremotos, fueron numerosas las construcciones de este tipo que resultaron dañadas el 3 de octubre y en ellas se produjeron la mayor cantidad de víctimas (Fotos 17, 18, 19 y 20). Muchas de ellas habían sido afectadas por terremotos anteriores y luego reparadas sin haberse incluido ningún tipo de previsión sismo-resistente.

Las viviendas de adobe y quincha de dos pisos tienen, frecuentemente, los muros exteriores del primer piso construídos con adobes y colocados de cabeza (40 cm. de espesor), con una altura que oscila entre 3 y 4 metros. Los muros de quincha están formados por postes, diagonales y vigas de pino, todos arriostrados entre sí por listones horizontales. Después se colocan cañas verticales las que son revestidas con barro por ambos lados. Los techos son también planos y construídos en forma similar a las viviendas de adobe. Este tipo de edificación abunda en El Callao y en los barrios viejos de Lima. En general, las viviendas de quincha y las de adobe y quincha, resultaron con menores daños que las de adobe (Fotos 21 y 22).

Conclusiones

Las normas sismo-resistentes peruanas incluyen un apéndice dedicado a las construcciones de adobe. Analizando los daños observados se concluye que de haberse aplicado las normas, estos hubieran sido evitados.

5. Terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976

Generalidades

El día 4 de febrero de 1976 a las 10 horas 02 minutos, 33 segundos GMT (03 horas, 02 minutos, 33 segundos hora local) un violento terremoto afectó a la zona central de la República de Guatemala, dejando como saldo alrededor de 25.000 muertos, 77.000 heridos y cuantiosas pérdidas en la infraestructura física y social (Ref.4).

La República de Guatemala tiene una superficie de 108.889 km² y alrededor de 5.000.000 de habitantes. Su Capital, de aproximadamente un millón de habitantes se ubica en el Valle de la Ermita a 1500 metros de altura sobre el nivel del mar, el que está cortado por cañadones y rodeado de montañas entre las que se incluyen unos pocos volcanes activos.

Las construcciones de la ciudad de Guatemala son de diversos tipos, desde las típicas y modestas construcciones de adobe de un solo piso, pasando por las de dos y tres pisos de ladrillos y bloques con una mínima estructura de hormigón armado y los edificios de cuatro a nueve pisos, todos del tipo aporticado con losas casetonadas que llevan incluidas las vigas, hasta llegar a los edificios de construcción avanzada con pórticos y tabiques de hormigón armado, de los cuales hay más de dos docenas.

El suelo de la ciudad de Guatemala hasta los 10 y 15 metros de profundidad está formado por una capa de arcilla que pasa gradualmente a arena limosa. Debajo de esta capa superficial y hasta los 100 metros se encuentra arena volcánica. La presión de cálculo de las fundaciones oscila entre 1 y 2 kg/cm².

En lo que respecta a las construcciones de la zona rural éstas eran de diversos tipos, predominando las de adobe sin ninguna clase de estructura antisísmica.

La evaluación preliminar de los daños estuvo a cargo de la Secretaría General del Consejo Nacional de Planificación Económica. En lo que respecta a los daños materiales, la mayor incidencia de este terremoto fue sobre el sector vivienda. Casi un millón de habitantes, la sexta parte de la población, quedó sin techo, ya que resultaron con daños alrededor de 258.000 viviendas.

El epicentro principal del sismo del 4 de febrero ha sido localizado por la United States Geological Survey (USGS) de E.U.A. cerca de Los Amates, en Izábal, en el oriente de la República de Guatemala, estimando su magnitud en 7,5 de la Escala Richter.

Daños observados

Refiriéndonos a las construcciones antiguas de adobe, tanto las ubicadas en los alrededores de la ciudad capital como en los pueblos del interior se observó que el adobe utilizado estaba amasado frecuentemente con fibras de pino en su interior. El suelo utilizado para amasar el barro mostraba en general pocos componentes arcillosos, por lo que el adobe resultaba desgranable y de fácil rotura. Las juntas entre adobes eran de mayor espesor que las que comunmente se hacen en otros países de América, resultando en la mayoría de los casos una traba inadecuada de los elementos. Debe agregarse también la temporada de lluvia que se inicia en el mes de mayo y que abarca de 4 a 5 meses corridos, habiendo la permanente humedad, deteriorado los cimientos y los muros no revocados en su mayoría, erosionando sus espesores y dejando en inferioridad de condiciones a los muros.

Todas estas viviendas con muros de adobe y cubiertas de teja, en especial en zona rural, resultaron en su casi totalidad destruidas y fueron las que ocasionaron el mayor número de víctimas entre muertos y heridos (Fotos 23, 24 y 25). En algunas de estas viviendas con daños importantes en los muros, se observó que no se produjo el colapso cuando existía un marco horizontal de madera en la parte superior del muro sobre los que se apoyaban los largueros del techo. Es evidente que este marco de madera ha actuado como elemento de encadenamiento superior de los muros, haciendo que ellos trabajasen en conjunto e impidiendo su colapso (Foto 26).

Conclusiones

Los daños observados corresponden a la ausencia de previsiones sismo-resistentes para construcciones de barro, a la mala calidad del adobe y a la incorrecta ejecución de las viviendas, todo agravado por efecto del clima.

6. Conclusiones finales

Las modestas construcciones de adobe, que provocan elevado número de víctimas en caso de ocurrencia de terremotos destructivos, están ampliamente difundidas en América Latina y responden a condiciones socio-económicas imperantes. Son una consecuencia del desarrollo cultural y tecnológico de los pueblos y de los materiales disponibles en cada región, por lo que es imposible querer erradicarlas en forma definitiva, sin embargo, es posible, como etapa de transición, otorgarle mejoras para disminuir su peligrosidad.

De la revisión del comportamiento observado en las viviendas de adobe en los cuatro terremotos destructivos considerados, se deduce que cuando han sido ejecutadas con materiales deficientes y siguiendo formas constructivas tradicionales, han colapsado a causa de la falta de resistencia al sismo.

Sin embargo, por razones socio-económicas, en los países latinoamericanos será necesario todavía construir y reconstruir viviendas de adobe. (Ref. 5°).

Por ello, es necesario aceptar esta realidad y consecuentemente reglamentar la construcción de viviendas de adobe, a los fines de dotarlas de la capacidad resistente necesaria para sobrevivir a los terremotos destructivos.

Esta tarea no resulta fácil considerando que los destinatarios de estas viviendas son los sectores de población de menores recursos económicos, generalmente reacios a innovaciones en sus procedimientos constructivos tradicionales.

Por este motivo las reglamentaciones deben referirse a una serie de mejoramientos simples, tanto en el diseño de la vivienda como en su ejecución, que, sin desvirtuar las ventajas de la autoconstrucción, le dan suficiente seguridad sismo-resistente.

Como se ha expresado anteriormente, la construcción de viviendas de adobe está impuesta por las condiciones socio-económicas de cada país. En la República Argentina se trata de erradicar las viviendas de adobe en zonas urbanas de su área sísmica. En cambio, en zonas rurales se trata de mejorar su comportamiento sismo-resistente, especialmente en aquellos casos de pobladores rurales que no tienen por el momento otro recurso para levantar su vivienda, que su propio esfuerzo practicando la autoconstrucción.

7. Análisis y diseño estructural de las viviendas de adobe

Del análisis de los daños observados en las construcciones de adobe provocados por los cuatro terremotos considerados, se concluye que bajo ciertas condiciones las viviendas de adobe pueden ofrecer un comportamiento "satisfactorio" ante sismos severos.

Se entiende por comportamiento "satisfactorio" cuando la vivienda de adobe sea capaz de :

- Resistir sismos menores sin daños.
- Resistir sismos moderados con daños estructurales y no estructurales leves.
- Resistir sismos intensos sin colapsos y sin ocasionar víctimas.

Las fallas de las viviendas de adobe pueden atribuirse, fundamentalmente, a su poca resistencia a los esfuerzos de tracción y a su reducida adherencia entre mortero y adobe.

Los mecanismos de falla se ilustran en la Figura 1. Consecuentemente las características mecánicas que interesa conocer son:

- Resistencia a tracción.
- Resistencia a flexión.
- Resistencia al corte.
- Resistencia a la compresión.

A pesar de que no se han observado fallas por compresión axial, su conocimiento dá también una buena medida de la calidad de los muros.

La Figura 2 ilustra esquemáticamente los ensayos a realizar para obtener las características mecánicas señaladas. Sin embargo a falta de estos ensayos se pueden adoptar los siguientes valores, más bien conservativos:

- Compresión de contacto, $2,20 \text{ kg/cm}^2$
- Compresión axial en muros, $1,8 \text{ kg/cm}^2$
- Corte horizontal en muros, $0,10 \text{ kg/cm}^2$

Valores admisibles obtenidos con la aplicación de un coeficiente de seguridad igual a cinco.

En síntesis, los estudios y ensayos realizados por numerosos investigadores (especialmente en Perú) permiten, actualmente, el análisis estructural de las viviendas de adobe por métodos racionales basados en la resistencia de materiales. Sin embargo el buen comportamiento sismo-resistente de estas viviendas se obtiene por la aplicación de una serie de recomendaciones tanto en el diseño arquitectónico como en el proceso constructivo y en la elaboración de los adobes.

A continuación se detallan algunas recomendaciones:

a) Recomendaciones para el diseño arquitectónico:

- Se debe procurar plantas simétricas con distribución balanceada de muros.
- Limitación de altura de los muros ($8 e$, siendo "e" el espesor del muro).
- Limitación de la longitud máxima de los muros ($10 e$).
- Abertura de puertas y ventanas pequeñas (no mayor de $1,20 \text{ m}$.)
- Los vanos de puertas y ventanas alejados por lo menos $1,20 \text{ m}$. de las esquinas ó de lo contrario en el centro del muro.

- Uso adecuado de contrafuertes para mejorar la estabilidad de los muros. Estos pueden ubicarse en los encuentros exteriores de los muros (longitud saliente mínima igual al espesor del muro), en el centro de un muro largo o en coincidencia de un vano de puerta o ventana (longitud total del contrafuerte, 3 e).
- Techos livianos, generalmente de rollizos de madera, con caña, barro (espesor $e = 7$ cm.) y aislación hidrófuga.

b) Detalles constructivos:

Muros:

- Ancho mínimo 0,40 m., sea o no portante.
- No se permiten muros aislados, sin contrafuertes para su estabilidad.
- Podrán reforzarse con materiales estables y que sean compatibles con el material del muro, por ejemplo cañas ó mallas metálicas soldadas.

Cimientos y sobrecimientos:

- Profundidad mínima, 0,40 m.
- Ancho mínimo 0,40 m., ó el que resulte en función de la tensión admisible del terreno de fundación.
- Sobrecimiento mínimo 0,20 m.

Se construirán de :

- Hormigón ciclópeo, con un mínimo de 160 kg. de cemento/m³ y un 30% de piedra bola.
- Albañilería de ladrillo, bloques de hormigón o piedra natural asentados con mortero 1:1/4:4 (cemento-cal-arena) y convenientemente trabados.

Viga superior de arriostramiento:

- Todos los muros en su coronamiento llevarán encadenado formado por dos rollizos de 0,10 m., ó dos tirantes de 0,10 x 0,10 m. vinculados cada 70 cm. mediante tirantillos de 2 x 5 cm. de sección. En los cruces y encuentros de muros se empalmarán a media madera y con cinco clavos 4 x 120 mm. en cada unión.
- Es preferible el encadenado superior de hormigón armado de ancho igual al del muro y 15 cm. de altura, con 4 barras del 10 y estribos del 6 c/20 cm. Fig. 3.
- La estructura del techo se vinculará adecuadamente a la viga superior de encadenado. Fig. 4.

Dinteles:

Quando los dinteles de aberturas de puertas y ventanas y las vigas de encadenado son de hormigón armado y estén separados menos de 15 cm., es conveniente su unificación, Fig. 5.

Revoques:

Los muros serán revestidos con revoques de mortero de barro con abundante paja ó mortero de cemento-cal-arena (1/4:1:5).

Pisos :

Podrán ser de cemento alisado, mosaicos calcáreos ó ladrillo recocido. En todos los casos el nivel de piso terminado será 10 cm. por debajo del sobrecimiento.

Instalaciones:

No conviene embutir ningún tipo de instalación en muros de adobe, en caso necesario será solo muy superficial.

Aleros de protección de muros externos:

Se recomienda el uso de aleros de 0,50 m. en muros exteriores, obtenidos como prolongación de los techos, con el propósito de protegerlos del agua de lluvia.

Adobe estabilizado:

Las experiencias realizadas en Perú al respecto son dignas de especial mención. Los adobes estabilizados con asfalto RC-250 mejoran notablemente su comportamiento respecto de la humedad, resistencia y aspecto exterior a tal punto que puede quedar visto sin revoques y pintarse directamente.

Refuerzos horizontales y verticales de cañas:

Los refuerzos verticales y horizontales con cañas mejoran notablemente la estabilidad de los muros. Los refuerzos verticales requieren el uso de un adobe especial que permita el alojamiento de dichos refuerzos. Estos refuerzos verticales se anclan convenientemente en el cimiento y en la viga superior de hormigón armado.

Dimensiones del adobe:

- a) Adobe tradicional 10 x 20 x 42 cm.
- b) Adobe cuadrado 38 x 38 x 8 cm. y medio adobe 38 x 18 x 8 cm., brinda mayor seguridad ante el efecto sísmico.

Vereda perimetral:

- En todo el perímetro de la vivienda se deberá ejecutar una vereda exterior, de hormigón alisado y de un ancho mínimo de 0,60 m.

Separación entre viviendas de adobe:

- Toda vivienda de adobe debe separarse de cualquier otra construcción existente, sea de adobe o no, un mínimo de 2 m.
- Toda vivienda de adobe debe separarse como mínimo 1m. de los límites de la propiedad.

Desagues pluviales:

- Los desagues pluviales de los techos se deberán hacer con caños de bajada exterior o en su defecto por caída libre por medio

de caños o canaletas que sobresalgan como mínimo 0,60 m. del paramento exterior.

Fabricación del adobe:

a) Selección de la tierra:

Tierras limpias, sin gravas, ripios o granos mayores de 5 mm. Deben ser tierras que contengan arcilla y limo, pudiendo ser la proporción de arcilla entre el 20 y 50 % del total y cuyo índice de plasticidad esté comprendido entre 9 y 10.

b) Prueba para seleccionar la tierra

Se procede a formar un cilindro de aproximadamente 2 cm. de diámetro de barro amasado con poca agua y se observa el largo que puede alcanzar sin romperse. Si este largo está comprendido entre 5 y 15 cm., la tierra se considera apta para la fabricación de adobes.

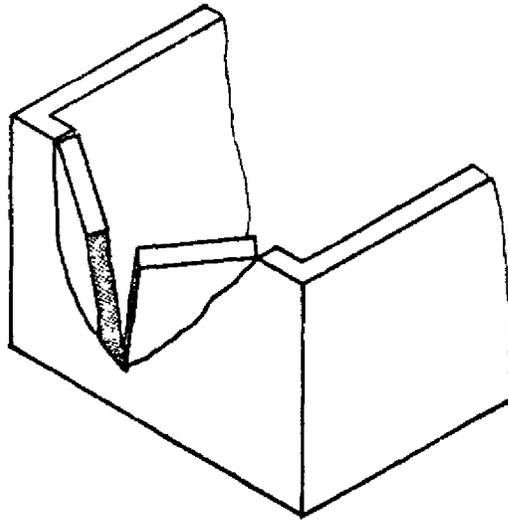
c) Preparación del barro:

Previa trituración de la tierra seleccionada se amasa agregando agua y suficientes fibras como por ejemplo, de paja seca. La mezcla se estacionará no menos de tres días antes del moldeado de los adobes, dándole un amasado diario.

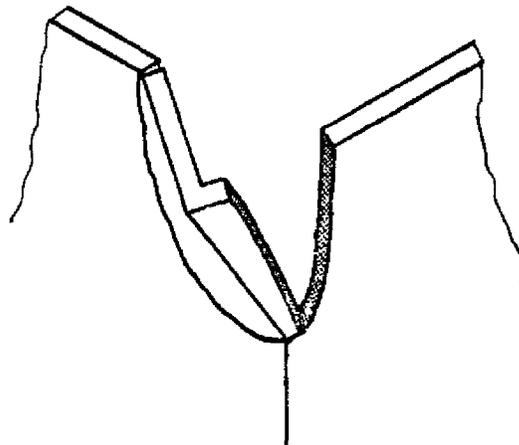
REFERENCIAS:

1. Alfredo Castellanos, El Terremoto de San Juan. Cuatro lecciones sobre terremotos. Asociación Cultural de Conferencias de Rosario, Argentina (1945).
2. Grupo de Trabajo del Instituto de Investigaciones Antisísmicas "Ing. Aldo Bruschi", Universidad Nacional de San Juan, "El Sismo de Caucete, San Juan, Argentina del 23-11-77 y la seguridad que proveen las normas sismo-resistentes", Seminario Internacional 1978, preparación para atención de catástrofes (SIPAC 78). Santiago, Chile, (4 al 14 de marzo de 1978).
3. A. Giesecke, L. Ocola, E. Silgado, J. Herrera y H. Giuliani, El Terremoto de Lima, Perú de 3 de octubre de 1974. Informe Técnico preparado por CERESIS por encargo de UNESCO, Lima, Perú (1980).
4. José Herrera Cano, Guatemala Earthquake of february 4, 1976, Description and Analysis of Damages Caused on Buildings, Sixth World Conference on Earthquakes Engineering, Nueva Delhi, India (10-14 January 1977).
5. Aldo Bruschi, Orientación de la Técnica de la Construcción en zonas poco desarrolladas sísmicamente activas. Conferencia de las Naciones Unidas sobre las aplicación de la Ciencia y la Tecnología en beneficio de las Regiones menos desarrolladas, E/CONF. 39/D/127, 24 de octubre de 1962.

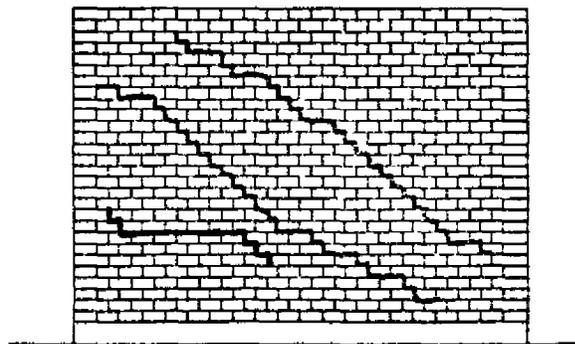
MECANISMO DE FALLA



FALLA POR FLEXION DE MUROS SIN ENCADENADO SUPERIOR



FALLA POR TRACCION EN ENCUENTRO DE MUROS

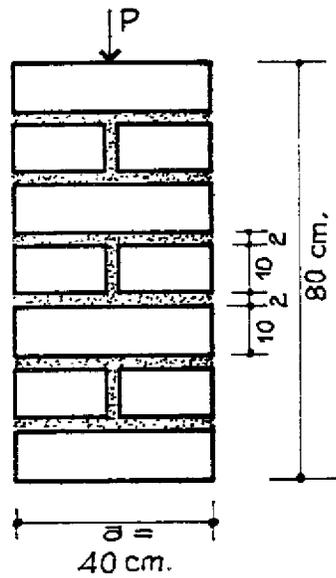


FALLA POR CORTE

FIGURA 1

ENSAYOS PARA DETERMINAR ESFUERZOS ADMISIBLES

(Se tomará el promedio de no menor de tres especímenes)

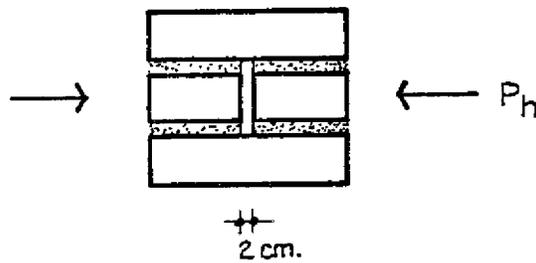


a) Ensayo de compresión axial

$$\sigma_{rot} = \frac{P}{a \times a}$$

$$\sigma_{adm.} = \frac{\sigma_{rot}}{5}$$

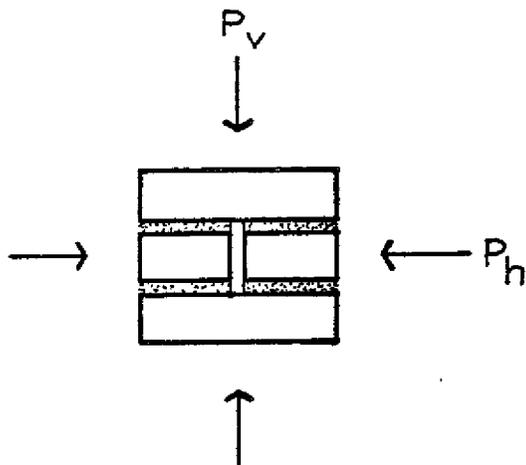
$$\sigma_{adm. \text{ de contacto}} = \sigma_{adm.} \times 1,25$$



b) Ensayo de adherencia (cohesión)

(sin mortero y completamente limpia)

$$\mu = \frac{P_h}{(a-2) \times a} \left[\frac{Kg.}{cm^2} \right]$$



c) Ensayo de corte

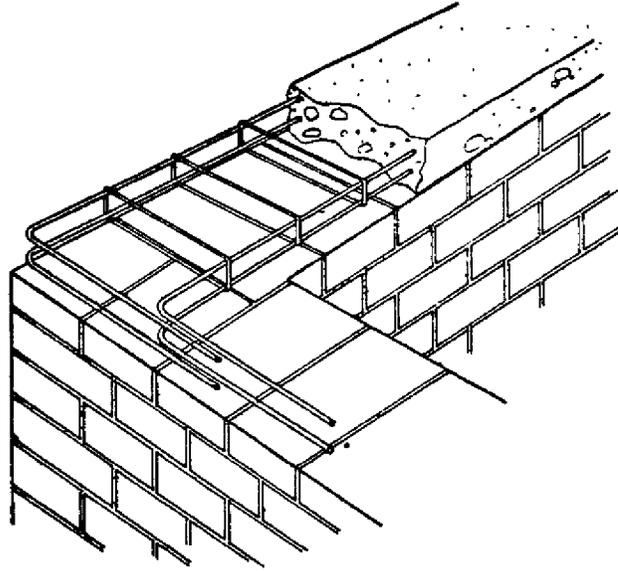
$$\tau_{rot} = \mu + \frac{P_v}{(a-2) \times a} \cdot f$$

$$\therefore f = (\tau_{rot} - \mu) \frac{(a-2) \times a}{P_v}$$

FIGURA 2

VIGA ENCADENADO SUPERIOR

EN LA PARTE SUPERIOR DE LOS MUROS, SE DEBE COLOCAR UN REFUERZO HORIZONTAL CONTINUO: LA VIGA DE ENCADENADO SUPERIOR QUE EN LO POSIBLE DEBE COINCIDIR CON LOS DINTELES DE PUERTAS Y VENTANAS.



TODO EL CONJUNTO DEBE IR FIRMEMENTE UNIDO EN LAS ESQUINAS PARA EVITAR QUE SE ABRA.

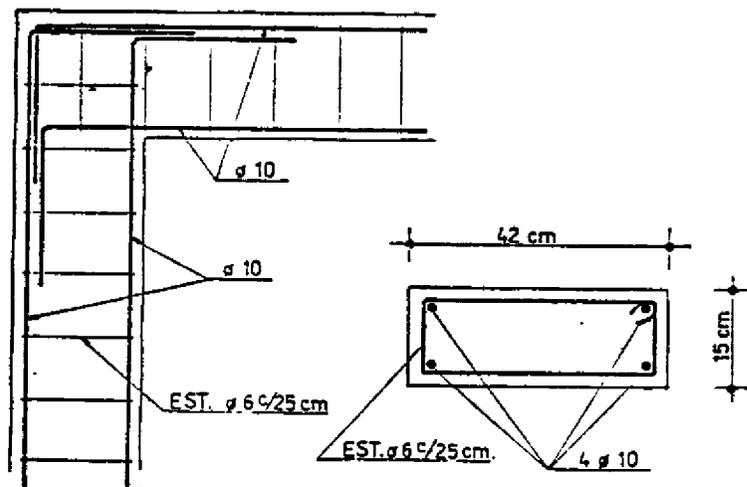


FIGURA 3

ANCLAJE ROLLIZOS

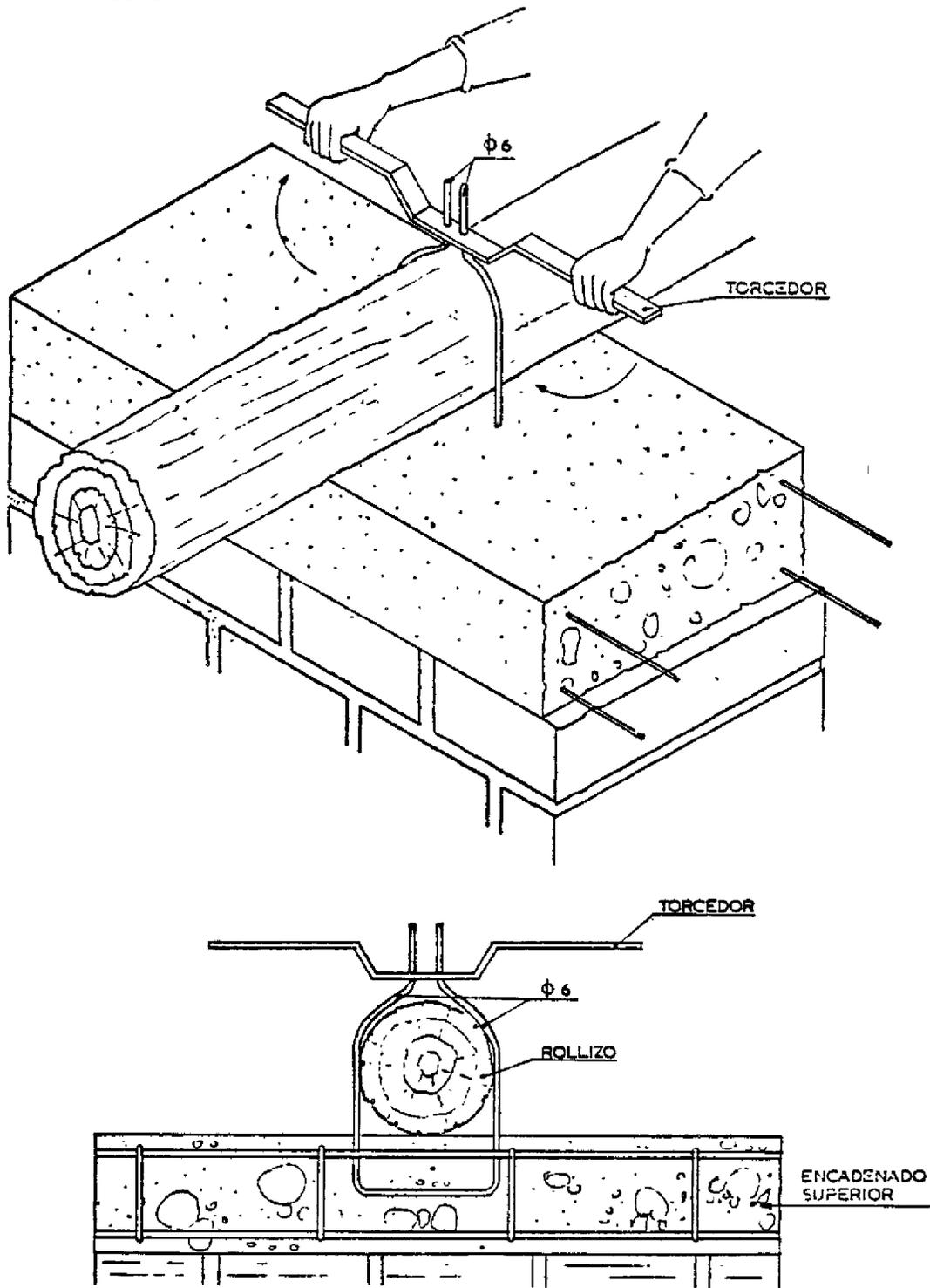
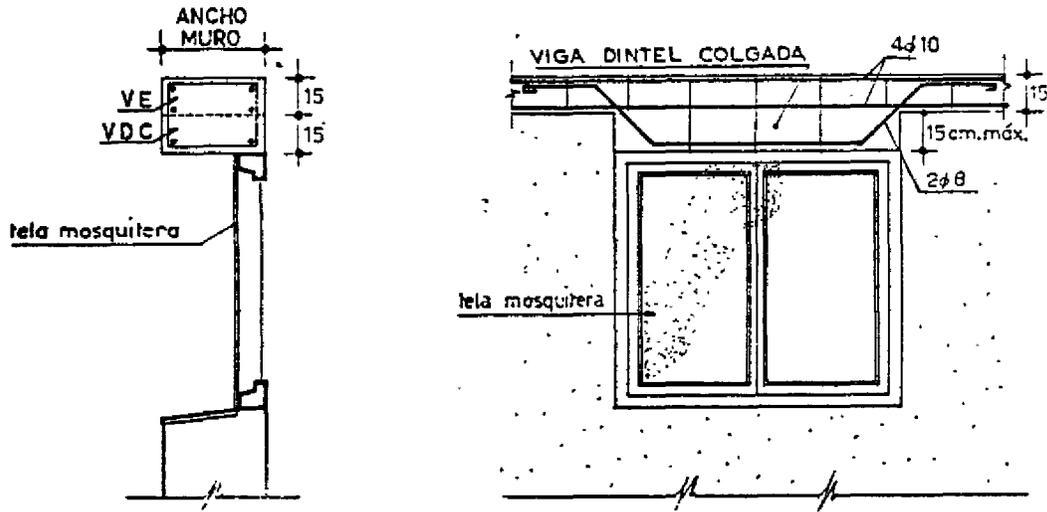


FIGURA 4

DINTEL - SOLUCIONES

CUANDO LA SEPARACION ENTRE CARPINTERIA Y VIGA DE ENCADENADO SUPERIOR ES COMO MAXIMO 15 CM , SE REALIZA UN DINTEL UNIFICADO CON LA VE.



CUANDO LA SEPARACION ENTRE CARPINTERIA Y VIGA DE ENCADENADO SUPERIOR ES MAYOR DE 15 CM , SE PROLONGA LA CARPINTERIA EN UN PAÑO FIJO DE MADERA O DE VIDRIO.

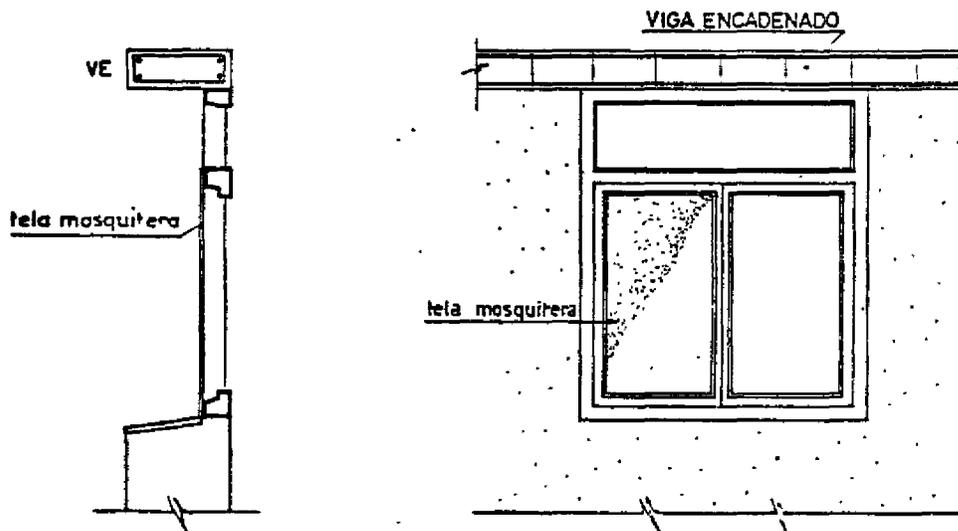


FIGURA 5

LISTADO DE FOTOS

- FOTO N° 1 - Vivienda de adobe que no colapsó en el terremoto de San Juan del 15-I-1944.
- FOTO N° 2 - Colapso viviendas de adobe, San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 3 - Muro de barro colado (Tapia), San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 4 - Colapso muro de adobe de 1,20m. espesor, San Juan 15-I-44 (Iglesia de Concepción).
- FOTO N° 5 - Colapso muros de adobe y caída de parapetos y de cornisas ,San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 6 - Colapso y desplome de muros de adobe, y caída de parapetos y cornisas , San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 7 - Caída de techos hacia el interior de habitaciones, San Juan , 15-I-1944.
- FOTO N° 8 - Colapso muros interiores por falta de trabazón, desprendimiento cielorraso y caída de cornisas,San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 9 - Colapso muros de adobe y caída de cornisas, San Juan 15-I-1944.
- FOTO N° 10 - Colapso de antiguas viviendas de adobe, Caucete , San Juan, 23-XI-1977.
- FOTO N° 11 - Colapso de antiguas viviendas de adobe, Caucete, San Juan, 23-XI-1977.
- FOTO N° 12 - Colapso de antiguas viviendas de adobe, Caucete, San Juan, 23-XI-1977.
- FOTO N° 13 - Colapso de antiguas viviendas de adobe, Caucete, San Juan, 23-XI-1977.
- FOTO N° 14 - Colapso de antiguas viviendas de adobe, Caucete, San Juan, 23-XI-1977.
- FOTO N° 15 - Vivienda de adobe sin daños construída conforme a normas, San Juan 23-XI-1977.
- FOTO N° 16 - Vivienda de adobe sin daños construída conforme a normas, San Juan 23-XI-1977.
- FOTO N° 17 - Colapso muros de adobe, Lima, Perú , 3-X-1974.
- FOTO N° 18 - Colapso muros de adobe, Lima, Perú, 3-X-1974.

- FOTO N° 19 - Colapso muros de adobe, Lima, Perú, 3-X-1974.
- FOTO N° 20 - Colapso muros de adobe, Lima, Perú, 3-X-1974.
- FOTO N° 21 - Vivienda de adobe y quincha, Lima, Perú, 3-X-1974.
- FOTO N° 22 - Colapso parcial vivienda de adobe y quincha, de dos pisos, Lima, Perú, 3-X-1974.
- FOTO N° 23 - Colapso viviendas de adobe, Guatemala, 4-II-76.
- FOTO N° 24 - Colapso viviendas de adobe, Guatemala, 4-II-76.
- FOTO N° 25 - Colapso viviendas de adobe, Guatemala, 4-II-76.
- FOTO N° 26 - Daños parciales en viviendas de adobe con encadenado superior de madera (collarín), Guatemala, 4-II-76.