

# **CONSOLIDACIÓN DE UNA VIVIENDA DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE SALTA**

**Roberto Adolfo Caro**

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta  
Secretaría de Obras Públicas de la Provincia de Salta  
[rcaro@gobiernosalta.gov.ar](mailto:rcaro@gobiernosalta.gov.ar)

Palabras clave: consolidación - adobe - Salta

## **Resumen**

Se presenta un estudio y resolución constructiva de una vivienda antigua construida en adobe, con un elevado grado de daño, que se necesitaba preservar, modificando su destino, de vivienda a consultorios psicopedagógicos para niños.

Se presenta un seguimiento fotográfico de las distintas etapas de los trabajos realizados, desde el estado original, con los daños y deterioro propios de la construcción hasta el estado final de restauración y mejoramiento.

Por estar la construcción en una zona de alta sismicidad (Zona Sísmica 3 según la reglamentación del INPRES), se utilizó la técnica de refuerzo con tensores de acero, a nivel de los techos, combinando con elementos verticales de hormigón armado. También se realizaron trabajos de submuración en los sectores en donde la fundación existente había sufrido asentamientos importantes.

Toda la estructura de refuerzos metálicos queda a la vista y puede observarse que la misma no interfiere con la resolución arquitectónica final.

## **Características y comportamiento sísmico de la vivienda de adobe**

### *Tipos de vivienda de adobe:*

La tipología de las viviendas de adobe es muy amplia y existen variaciones importantes de una a otra región. Desde el punto de vista de su resistencia a los efectos sísmicos, interesa fundamentalmente la disposición y la calidad del material con el que están construidos los elementos verticales que tienen la función de tomar las cargas laterales.

El adobe ha sido el material más empleado para los muros de la vivienda rural, debido a la economía y facilidad de su fabricación y a sus excelentes características de aislamiento térmico. Hay una gran cantidad de viviendas construidas con este material en zonas sísmicas, por lo cual merece especial atención el estudio de las técnicas de refuerzo de las mencionadas viviendas.

La frecuencia de colapsos en casas de adobe a causa de los sismos es atribuible no solo a las pobres propiedades mecánicas del material y a su deterioro por el tiempo, sino también a que las viviendas de este material suelen exhibir graves defectos de estructuración: altura considerable, pesos excesivos de los techos, muros muy largos sin refuerzo y sin unión entre ellos ni con el techo.

### *Comportamiento sísmico y modos de falla:*

Los movimientos del suelo durante un sismo provocan vibraciones en la estructura, en la cual se generan fuerzas de inercia proporcionales a la masa de las distintas partes de la construcción, y que son resistidas y transmitidas a la cimentación y al suelo. Los elementos más adecuados para soportar esas cargas laterales son los muros que están alineados en la dirección del movimiento del terreno y que tienen gran rigidez y resistencia en su plano. Para que estos elementos puedan cumplir su función, las fuerzas de inercia generadas en otras partes de la construcción tienen que ser transmitidas hacia ellos. La condición para que esto se cumpla es que los techos (o entrepisos) actúen como una unidad rígida en su plano y transmitan sus fuerzas a los muros alineados en la dirección del movimiento y

provocan empujes mínimos normales a dicha dirección, en la cual los muros estarían sujetos prácticamente a las fuerzas de inercia generadas por su propia masa y actuarían como losas apoyadas en su perímetro. Otra condición para que la transmisión de carga se efectúe apropiadamente es que exista una conexión adecuada entre el techo y los muros. De no cumplirse la condición de techo rígido en su plano, las fuerzas generadas en cada franja del techo se transmiten al muro frontal, generando en él empujes normales a su plano, los cuales tienden a producir el volteamiento de dicho muro. De esta forma la mayor parte de las fuerzas de inercia son transmitidas a los elementos menos rígidos y aptos para resistirlas.

La mayoría de las viviendas de adobe existentes, se caracterizan por la escasa densidad de muros, la apreciable altura y longitud sin refuerzo de los mismos y por la poca o nula restricción que el techo proporciona a los extremos superiores de los muros. Todo ello hace que el comportamiento ante sismos esté regido por la flexión de los muros en la dirección normal a su plano.

En estudios teóricos y experimentales realizados en la Universidad Nacional de México, se analizó con detalle el comportamiento dinámico de las construcciones de adobe. El modo fundamental de vibración se relaciona con la deformación en flexión de los muros largos; las vibraciones inducen momentos flexionantes críticos en las esquinas superiores de los muros, los cuales se agrietan progresivamente hacia abajo, por lo que el muro frontal comienza a vibrar como un voladizo, ocurriendo el vuelco cuando la altura agrietada del muro es suficiente para que la resultante de las fuerzas caiga fuera de la sección del muro. Este modo de falla es el que se ha observado con mayor frecuencia como consecuencia de los sismos.

En viviendas donde la longitud de los muros es pequeña o los techos proporcionan restricción a la flexión, o en las de más de un piso, la falla suele ocurrir por cortante a través de grietas diagonales. Este modo de falla frecuentemente aparece por la existencia de aberturas importantes en los muros.

Se han observado indicios de que el colapso se ha iniciado en ocasiones por la caída del techo, ya sea por fallas locales en las conexiones o en la madera misma por encontrarse muy deteriorada, o por deslizamientos de los elementos del techo sobre los muros a los que están fijados en forma muy precaria. Una falla parcial, que ocurre con frecuencia aun en sismos moderados, se debe a que las tejas se deslizan por efectos de las aceleraciones verticales y horizontales, y caen a veces dentro de la misma vivienda.

#### *Procedimientos de refuerzo:*

Es común recomendar como requisito mínimo de refuerzo la colocación de un elemento resistente en el perímetro superior de los muros, para que los una y les de continuidad, les proporcione cierta resistencia a flexión normal al plano del muro y permita fijar adecuadamente el techo a los muros. El elemento de refuerzo es en general una cadena de hormigón, un elemento de madera o de acero. Un problema con este tipo de refuerzo es el de lograr una liga adecuada entre el elemento de refuerzo y el muro de adobe; otros son la necesidad de remover parcial o totalmente el techo para efectuar el refuerzo, y la posibilidad de dañar los muros durante la colocación de la cadena.

Algunos procedimientos de refuerzo consisten en colocar elementos de hormigón verticales en las esquinas y en las aberturas, los cuales junto con la viga cadena de hormigón, forman pórticos que confinan el adobe. Este procedimiento es similar al utilizado para las construcciones de muros de mampostería de ladrillo cerámico macizo y bloques portantes, cuya eficiencia ha sido ampliamente comprobada. Sin embargo, para construcciones de adobe, debido a las dimensiones de los muros, estos elementos de hormigón resultan muy robustos y hacen que la solución resulte complicada y costosa. Es problemático lograr una liga adecuada entre el adobe y los elementos de hormigón; el adobe sufre cambios volumétricos importantes por variaciones de humedad, lo cual provoca que se vaya despegando de la estructura de hormigón.

Otras modalidades de refuerzo consisten en la colocación de elementos verticales y horizontales de madera dentro del adobe o adosados a los muros y unidos al techo.

También existen procedimientos de refuerzo que consiste en colocar mallas de acero que envuelven totalmente los muros de adobe y recubiertas por una capa de mortero. Anclando cuidadosamente la malla al adobe, se logra una sección compuesta en la que el adobe funciona como alma para tomar los esfuerzos cortantes, y el mortero con la malla absorben los esfuerzos de tracción y compresión debidos a la flexión normal al plano del muro. La malla es además un refuerzo por cortante que mantiene la resistencia del muro, en caso de que se exceda la capacidad del adobe y este se agriete diagonalmente.

Otro tipo de refuerzo es el de tensores de acero. La solución consta de dos barras de acero ubicadas en las dos caras del extremo superior del muro. Estas barras pueden ir alojadas en pequeñas ranuras preparadas en el muro o externamente. Estas barras se someten a una ligera tensión inicial mediante tuercas; la fuerza de los tensores se transmite a los muros a través de placas de acero ubicadas en los extremos. Los tensores cumplen la función primordial de ligar los muros entre sí y a proporcionar resistencia en flexión en la parte superior de los muros.

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

Otra forma de mejorar la seguridad de las construcciones de adobe, es mediante modificaciones que reduzcan las fuerzas que las afectarían en caso de un sismo; por ejemplo, la disminución del peso del techo a través de emplear materiales más livianos, la reducción de la altura de los muros dentro de límites que no afecten la habitabilidad, el agregado de muros intermedios que rigidicen la construcción o el agregado de contrafuertes, son soluciones que pueden mejorar considerablemente la resistencia.

Al juzgar los distintos procedimientos de refuerzo, hay que considerar la eficiencia en aumentar la seguridad contra los sismos, la facilidad de ejecución en una vivienda ya terminada y el costo en cuanto a materiales y mano de obra.

### **Propiedades mecánicas de la mampostería de adobe**

Para determinar las propiedades mecánicas del adobe, podemos referirnos a los estudios experimentales realizados en la Universidad Autónoma de México. Se estudiaron las propiedades de los adobes y posteriormente de la mampostería que con ellos se forma al unirlos con diferentes tipos de mortero.

En las distintas muestras de adobes se realizaron ensayos de compresión y tracción por flexión, dando resultados con una amplia gama de variación, pero dentro de los valores obtenidos para adobes de diferentes regiones.

También se realizaron ensayos de compresión, corte y flexión de muretes con distintos adobes y diferentes tipos de mortero: lodo, cal: arena y cemento: cal: arena.

De los ensayos realizados se demuestra que el tipo de mortero tiene muy poca influencia en la resistencia a compresión de los muretes. El tipo de mortero si tiene una influencia decisiva en la resistencia al corte, siendo máxima para morteros con cemento, reduciéndose drásticamente para morteros de lodo y es todavía menor cuando se utiliza mortero de cal. La resistencia a tracción por flexión de muretes de adobe es ligeramente inferior a la que se determina en los adobes solos.

Como valores orientativos, y del resultado de estas investigaciones, podemos adoptar, para muros de adobe:

Resistencia en compresión:	5.3 k/cm <sup>2</sup>
Resistencia en tracción por Flexión:	1.5 k/cm
Resistencia en cortante:	0.7 k/cm <sup>2</sup>

Estos valores son valores en estado último. Para obtener esfuerzos admisibles, debe aplicarse un coeficiente de seguridad, que se sugiere sea 2.5. No se han tomado en cuenta en los valores propuestos la reducción que puede presentarse por efectos de la humedad en el adobe, lo cual baja tremadamente la resistencia del muro.

### **Procedimiento de refuerzo en un caso concreto**

Se mostrará el caso concreto de refuerzo de una construcción de adobe en la localidad de Villa San Lorenzo, próxima a la ciudad de Salta. Se presenta un cambio de destino, ya que de vivienda se pasaría a utilizar como consultorios psicopedagógicos para niños. El proyecto arquitectónico fue elaborado por el estudio de la Arquitecta María Inés Laconi y tenía como premisa mantener la tipología original de muros de adobe, techos de tirantería de madera, tejuela y chapa.

El estado de la construcción era de total abandono, muros agrietados, fisuras verticales en correspondencia a la unión entre muros, asentamientos puntuales, grietas de importancia en un sector de apoyo de varios tirantes en una esquina de muro y otras patologías que evidenciaban la necesidad de una intervención que pudiera restaurar las características originales de la construcción y que le diera una mínima reserva estructural frente a las acciones sísmicas.

Ante ello, se planteó la solución de utilizar la técnica de los tensores de acero a nivel de cubierta, acompañado de la ejecución de un elemento vertical de hormigón en el sector mencionado, en donde apoyaban varios tirantes del techo y que habían producido un efecto de punzonado en el muro de adobe. Este refuerzo vertical, consta de un tabique de hormigón armado en forma de L, de 0.15m de espesor (aborda una parte del espesor del muro) y en la cara opuesta se ejecutó, en correspondencia al tabique, una capa de 0.03m de mortero proyectado, sobre una malla de acero, la cual se vinculó por medio de pasadores al tabique de hormigón. Los tensores de acero se fijan en los extremos sobre una placa de acero, terminando con una rosca, que le permite darles tensión. Estos tensores se colocan a la par del muro, colocando unas grampas de fijación que impiden que el tensor se flexione pero que permite su deslizamiento sin inconvenientes.

También se ejecutaron en dos sectores unos trabajos de submuración, ya que se habían localizado en los mismos, asentamientos importantes. Para evitar futuros asentamientos, se cambió toda la instalación de agua y cloaca de la construcción, como así también se ejecutó una vereda en todo el perímetro, para evitar que el agua de lluvia de los techos produzca problemas en la cimentación de los muros.

Como complemento de los refuerzos mencionados, se cambiaron y/o colocaron en algunos sectores dinteles de madera dura.

En el plano adjunto pueden observarse los refuerzos mencionados, como así también las fotos evidencian los trabajos con mayor claridad.

También las fotos nos muestran las características de la construcción antes de la ejecución de los refuerzos, los trabajos realizados durante el proceso constructivo y la situación final de la obra. Podemos ver que la mayoría de los elementos utilizados para la consolidación están a la vista y mantienen una estrecha armonía con la arquitectura desarrollada.

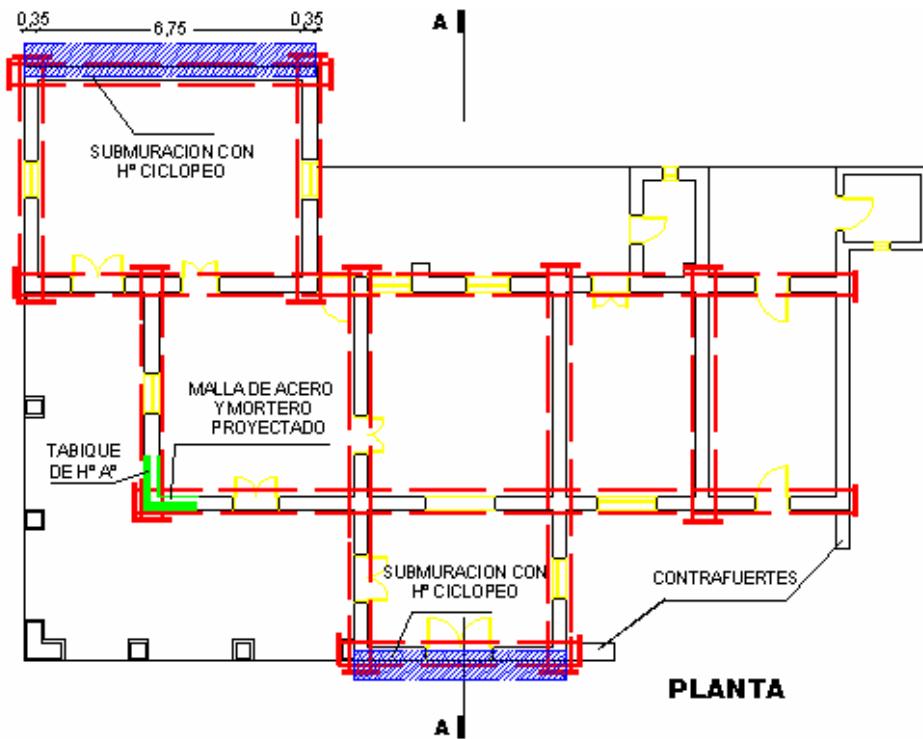
Es importante comentar que no fue necesario remover ni los tirantes ni las tejuelas del techo, solamente se levantaron las chapas existentes, se colocó una membrana impermeable y se colocaron chapas nuevas. Esto fue posible debido al sistema de refuerzo elegido.

### Bibliografía

\*GAVARINI, Carlo - Costruzioni e Terremoto - E.S.A. Roma. Italia.

\*BAZAN, Enrique; PADILLA Marciano; MELI Roberto – Seguridad de Casas de Adobe ante Sismos. Estudios Analíticos – Instituto de Ingeniería – UNAM – México.

\*HERNANDEZ Oscar; MELI Roberto; PADILLA Marciano; VALENCIA Eduardo – Refuerzo de la Vivienda Económica en Zonas Sísmicas. Estudios Experimentales - Instituto de Ingeniería – UNAM – México.



- TENSORES Ø 12 (ACERO LISO)**
- PLACAS DE ACERO DE ANCLAJE**
- SUBMURACION CON Hº CICLOPEO**
- TABIQUE DE Hº Aº-ESPEZO 0.15**
- MORTERO PROYECTADO ESPESOR 3CM.**
- MALLA Ø4.2 0.15X0.15**



Imagen 1



Imagen 2



Imagen 3



Imagen 4



Imagen 5



Imagen 6