

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS DE REFUERZOS SISMO - RESISTENTES EN EDIFICACIONES DE ADOBE Y TAPIAL

Hugo Pereira Gigogne *

Holanda 87 Depto. 802, Santiago, Chile Tel (562)4749765
www.casasdebarro.com / pgigogne@gmail.com

Tema 5: Comportamiento y resistencia de los edificios

Palabras claves: adobe, tapial, resistencia

Resumen

Las edificaciones de adobe y tapial, presentan bajos estándares de resistencia mecánica. Baja resistencia al esfuerzo de compresión y prácticamente ninguna resistencia al esfuerzo traccionante. Un bajo porcentaje de humedad presente en éstas estructuras (aprox.12 %) elimina toda resistencia mecánica.

Esto merece la mayor atención técnica, especialmente en áreas sísmicas, de forma de disminuir el riesgo de colapso estructural.

A continuación, se analizarán una serie de soluciones constructivas que apuntan a otorgar seguridad estructural en el evento sísmico. El origen de ésta información ha sido a través del ejercicio profesional como arquitecto y constructor de edificaciones en adobe y tapial en Chile desde 1981. Es necesario consignar que prácticamente todas éstas obras edificadas han contado con planos de cálculo estructural y que cada proyecto ha sido calculado y concebido en estrecha colaboración con el profesional calculista. Otras fuentes de información han sido la participación del autor en la red temática HABITERRA, del programa CYTED desde el año 1993 y posteriormente, la participación en el proyecto de investigación PROTERRA del mismo programa.

1. Cimentaciones y sobrecimientos

Especial importancia en la estabilidad de las edificaciones de adobe y tapial tienen las cimentaciones, toda vez que aseguran la estabilidad ante el esfuerzo sísmico. Es relevante un estudio de mecánica de suelos que establezca el tipo de suelos, resistencia o capacidad portante del mismo. Esto es significativo, ya que las estructuras de adobe y tapial son pesadas (densidad promedio Adobe y tapial es de 1.500 Kg. / m³). Debido a esto, en algunos casos es necesario considerar fundaciones en forma de zapata para aumentar la superficie de contacto del suelo con el peso de los muros.

Las fundaciones recomendadas por razones de costo son:

- Albañilería de piedra rústica pegada con argamasa de barro.
- Albañilería de piedra rústica pegada con argamasa de cemento tipo C (170 Kg de cemento / m³ de argamasa)

En ambos casos (adobe y tapial) es recomendable rayar el hormigón en etapa de proceso de curado, previo a la confección de los muros de tierra. Estas rayas se pueden realizar con una vara de un diámetro de 2,5 cm., distanciadas a unos 10 cm.

Lo anterior, con el propósito de que la estructura ofrezca mayor resistencia por roce, al efecto de la fuerza horizontal del sismo.

Debido a la prácticamente nula capacidad de resistencia al humedad de la tierra, es recomendable disponer un sello contra posibles daños de las primeras hiladas de adobe debido a humedad por capilaridad. Este sello puede ser en base a una primera mano de imprimante, que luego recibe una mano de asfalto en frío o alguna solución alternativa.

En algunos casos, tales como la norma de California, USA, se exige el refuerzo de la fundación mediante una armadura de hierro de ½ "en el fondo de las fundaciones correspondiente a un muro de adobe de 40 cm de espesor.

2. Estructura de cubierta

Es recomendable que la solución de cubierta se conciba como un **diafragma rígido**, que permita una colaboración de todos los muros ante un evento sísmico. En éste sentido, la cubierta ideal sería una losa de hormigón armado. El conjunto residencial **La Luz**, en **La Joya**, California, del arquitecto Antoine Predock, construido en base a la técnica de tapial, es un buen ejemplo de aplicación de este concepto.

Existen otras alternativas de concepto estructural en términos de cubierta igualmente válidos al anterior. Es el caso de proyectos con la aplicación de la norma NT-080 (Construcciones en adobe, disposiciones especiales para diseño sismoresistente) [1], del Perú, en que se plantean cubiertas livianas y muros auto soportantes reforzados internamente y arriostrados mediante contrafuertes.

3. Amarre o anclaje de vigas corona y estructura de cubierta en cubiertas convencionales a dos aguas o mas

Aspecto crucial, es el considerar una cadena de amarre continua y fuerte, que permita transmitir esfuerzos a los muros ante el esfuerzo sísmico procedente de diferentes direcciones. A su vez, permiten asegurar la continuidad de la estructura portante ante el empuje sísmico.

Fig 1 Detalle cadena superior de amarre, Escuela – Internado Botalcura. Arquitecto y constructor Hugo Pereira G. Año construcción 1990. VII Región, Chile, Sup. construída 4430 m².

Ejemplo vernacular de lo anterior en Chile, es el sistema de estructura de cubierta conocido como **par y nudillo**, consistente en dos montantes o piernas unidos centralmente por un tirante.

Se aplican actualmente cadenas de amarre trianguladas de madera. Sistema de soleras superiores afianzadas a una segunda solera inferior ubicada a 4 o 5 hiladas bajo las anteriores.

También se aplica cadena de hormigón armado con **encaje continuo** central en la cara inferior de la misma. Variante mexicana de la misma, es la consideración de un semi-pilar vertical que baja en las esquinas producto del encuentro de dos cadenas o **espolón**.

Ambos recursos permiten evitar la separación y posterior desprendimiento del hormigón armado del material tierra del muro en el evento sísmico.

En el caso del adobe, no se recomienda la consolidación estructural mediante albañilería armada con pilares y vigas ya que ambos sistemas tienen módulos de elasticidad incompatibles.

4. Soluciones constructivas de refuerzos de muros de adobe

Muros y contrafuertes - Trabas

Como el adobe prácticamente no resiste el esfuerzo de tracción ante la sollicitación sísmica, es importante considerar que los muros en ambas direcciones sean colaborantes y puedan absorber cooperativamente éste tipo de esfuerzos. Para que los muros perpendiculares que se encuentran en forma de T, L o +, cumplan satisfactoriamente una resistencia al empuje de la fuerza horizontal del sismo, el largo de estos en planta debe ser igual o mayor a la mitad de la altura del mismo muro.

En aquellos recintos pequeños, ésta función la satisfacen los mismos muros que configuran los recintos. Así es como es recomendable el uso de contrafuertes perpendiculares al plano de aquellos muros de largos considerables. Por ejemplo, en recintos alargados y de mayor tamaño, la distribución, dimensión y proporción de estos

contrafuertes estará en relación a las características dimensionales de la estructura. Lo anterior está contenido en la norma peruana NT-080.

La correcta traba de los adobes, asegura un comportamiento sismo-resistente de la estructura, al concebir los muros como una continuidad estructural sin posibles fallas en las juntas verticales. Existen recomendaciones de soluciones de trabas para los diferentes tipos de esquinas (T, L o +).

5. Refuerzos interiores

5.1 Alambres galvanizados especiales y zunchos

Con el objeto de solucionar la nula resistencia al esfuerzo tracción ante, los muros de adobe pueden reforzarse internamente con alambre de púas, galvanizado con un sencillo procedimiento de post - tensado, mediante cuñas de madera en las testeras de los muros esquineros

5.2 Refuerzos vegetales

Se han diseñado sistemas de refuerzo interior en base a varillas de bambú, expresados en la norma peruana NT-080 [1]. Estas quedan insertas en la albañilería de adobes diseñada ad-hoc, para estos propósitos. Básicamente existen dos tipos de alternativas de la misma solución. La primera en que se emplea un aparejo tal, que permite la colocación vertical de las varillas de bambú y la segunda en que se utilizan bloques de adobe especialmente perforados con el mismo propósito.

Lo importante en ésta solución, es que las varillas de bambú deben quedar sólidamente empotradas tanto en las fundaciones como en la cadena de coronación. Esta solución, un tanto compleja constructivamente, si bien no deteriora los muros, evita su colapso estructural.

5.3 Refuerzos de doble malla

Recientemente, varios equipos de investigación han comenzado a explorar la utilización de mallas de refuerzos de las edificaciones de adobe. Es significativo, en éste sentido el aporte del equipo que trabaja en la P.U.C del Perú, el que ha investigado una solución alternativa a los refuerzos interiores de caña descritos en el punto anterior. Básicamente se ha experimentado con mallas del tipo metálico y de plástico (polipropileno abertura 30 / 40 mm)

El método consiste en el confinamiento estructural en las esquinas, dinteles y bordes de vanos de construcciones de adobe de una planta, de forma de evitar el colapso estructural. Se amarra profusamente una doble malla por ambas caras de los muros en los perímetros de vanos y esquinas, con un ancho de aproximadamente 0,5 m. La ventaja de éste método constructivo es que aparte de ser un método de más simple ejecución, que el de cañas de refuerzo, permite consolidar estructuras existentes. Es decir, constituye un excelente método de consolidación preventiva.

6. Refuerzos de madera: escalerillas o llaves

Una solución tradicional de refuerzo, es la inclusión de pequeñas escalerillas o llaves de madera dentro de la argamasa de pega de los muros de adobe. Estas permiten asegurar la continuidad estructural en muros de diferente sentido, en el evento sísmico. Se recomienda el uso de maderas de buena calidad de forma de obtener una mayor durabilidad. Estas no deben ser cepilladas y se recomiendan uniones de carpintería sin la utilización de clavos o conectores metálicos de ningún tipo, que pudieran sufrir proceso de oxidación. Es necesario dejar constancia, que los muros de tierra, por su alta porosidad, tienen una dinámica transmisión de humedad interior- exterior.

Fig. 2 Detalle refuerzos intermedios de madera, Escuela Pencahue. Arquitecto Hugo Pereira G. Año construcción 1990 .VII Región, Chile, Sup. construída 635 m².

7. Soluciones constructivas de viga corona o de amarre de muros de adobe y tapial

7.1 Soluciones en madera

Este componente es fundamental para asegurar la estabilidad estructural de la edificación en adobe, ya que cumple la doble función de transmitir esfuerzos desde el sistema de cubierta a los muros y de continuidad estructural entre éstos mismos .Una doble solera superior de madera conecta los muros.

Una variante que asegura la conexión muro-cubierta, en el caso de adobe, es la disposición de soleras auxiliares inferiores, ubicadas 4 o 5 hiladas bajo las soleras superiores y conectadas debidamente conectadas y fijadas entre sí.

7.2 Soluciones en hormigón armado

Un problema que presenta la confección de una cadena de coronación hormigón armado, en éste tipo de muros, es el empuje lateral que produce el sismo sobre la misma y potencial deslizamiento y destrucción. Para ello se recomienda que el detalle en corte de la cadena de h.a. (que no considera pilares del mismo material) considere un saliente inferior o calado, a todo lo largo de la cadena, de forma de contrarrestar las fuerzas de empuje horizontal producto del sismo. Este puede tener un diseño en forma de cuña o rectangular.

Para confeccionar esta interfase una vez acabado el coronamiento de adobe o tapial, éste es excavado en la profundidad y ancho que determine el calculista para su posterior relleno con h.a.

Fig. 3 Detalle cadena superior de amarre de h.a. , Casa Sr. Hugo Vilches M.. Arquitecto y constructor Hugo Pereira G. Año construcción 2004. R.M. Santiago, Chile, Sup. construída 261 m².

8. Soluciones constructivas de refuerzos en muros de tapial

8.1 Trabas verticales y horizontales de tapias

En esta estructura, se recomienda que las trabas verticales no se produzcan en las esquinas. En ellas deben emplearse moldes o formaletas especiales que entreguen continuidad estructural. Así mismo, se recomienda la ejecución de un sistema de caja y espiga vertical, realizado en el tapial, antes del compactado del suelo. Una importante experiencia e información que avalan lo anteriormente expresado tiene el Ing. ecuatoriano Patricio Cevallos S., del proyecto PROTERRA -CYTED.

8.2 Refuerzos interiores

Refuerzos en base a maderas rústicas

Para dar una continuidad estructural entre los pesados bloques de tapial, se emplean maderos de especies resistentes mecánicamente y a la pudrición. Al igual que en las estructuras de refuerzos de bambú expresadas en 3.2.2. Estos deben quedar sólidamente empotrados tanto en las fundaciones como en la cadena de coronación. En el marco del convenio ININVI - Laboratorio de estructuras de la P.U .Católica del Perú,

se ensayaron prototipos de vivienda en tapial reforzado aplicando estos detalles, con resultados satisfactorios desde un punto de vista de consolidación estructural [3].

Con el objeto de contrarrestar el empuje horizontal del sismo en éstas estructuras, el Programa de vivienda rural, de la Facultad de Arquitectura, de la Universidad de Mérida, coordinada por el Arqto. Juan Borges R., ha inventado un sistema de refuerzos en base a rafas horizontales. Estas pueden distribuirse a distancias variables en la altura del muro. Consiste en la provisión de cañas de bambú cortadas en su eje (medias cañas) insertas en una capa del tapial confeccionada con suelo estabilizado en proporción cemento : cal tierra de 1 : 1 : 44 [4].

Refuerzos en base a rafas de hormigón armado

Una variante a lo expresado en el punto anterior, es la confección de refuerzos de hormigón armado. Consiste en instalar horizontalmente entre cada tapial, una pequeña losa de h.a. De 5 cm. de altura , confeccionada con malla electro soldada , debidamente amarrada y afianzada .Para mejorar la conexión entre cada hilada de tapial , se recomienda rayar el h.a en etapa de fraguado , previo al compactado de la capa de tapial inmediatamente superior .Así mismo es recomendable dejar insertas y perdidas piedras rústicas de 15 a 20 cm de alto , para contribuir a la continuidad del conjunto , o cualquier material suficientemente resistente , tales como pequeñas barras de hierro o similar.

Fig. 4 Detalle rafas intermedias de h.a., Casa Sr. Hugo Vilches M.. Arquitecto y constructor Hugo Pereira G. Año construcción 2004. R.M. Santiago, Chile, sup. construída 261 m².

9. Conclusiones

- Es posible consolidar estructuralmente, evitando el colapso, tanto edificaciones de adobe como de tapial.
- La solución constructiva de los tipos de refuerzos de las estructuras de adobe y de tapial, se adecuan a las realidades tecnológico -constructivas locales.
- La variada gama de refuerzos, combina materiales de diferente procedencia y aplicación técnica tales como el hierro, cemento, caña, etc. con los sistemas constructivos de adobe y tapial.

Especial importancia en éste sentido cobra el conocimiento de las características físicas del material tierra con los materiales de refuerzo, tales como: retracción de secado, adherencia, módulos de elasticidad etc.

- Es significativa la escasez de normas técnicas a nivel de los países iberoamericanos que contribuyan a concebir obras de adobe y tapial sismorresistentes. Destaca la contribución de la norma peruana en toda el área andina y sísmica del continente americano.

Referencias bibliograficas

[1] Revista Informes de la Construcción (1986), N ° 377 , Vol. 37 , Enero - Febrero 1986 Instituto Eduardo Torroja, Madrid, España.

[2] HAYS, Alain (1994): "Construir con Tierra en México", CRATERRE, publ. int., p. 15.

[3] Doc. Tec. ININVI (1989): "Construcción con tapial", Instituto Nacional de

Normalización, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima , Perú.

[4] Manuales de construcción 2 (1992): "Tapia modificada (PS-5)". República de Venezuela, Convenio de cooperación para la investigación de la vivienda y asentamientos rurales ULA-MSAS-CONICIT, pág 6-10. Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura, Mérida, Venezuela.

* El autor es Arquitecto chileno. Profesor de las Universidades UTEM y ARCIS en Santiago de Chile. Ha sido empresario de la construcción en tierra desde 1982. Miembro de la Comisión de Tecnología del Colegio de Arquitectos de Chile A.G.. Participante en el CYTED desde 1989. Premio Fermín Vivaceta 2000 Colegio de Arquitectos de Chile A.G



Fig 1



Fig 2



Fig 3



Fig 4