

## CARACTERISTICAS SÍSMICAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE TIERRA EN EL PERU: CONTRIBUCIÓN A LA ENCICLOPEDIA MUNDIAL DE LAS CONSTRUCCIONES DE VIVIENDA

Lourdes Gutiérrez, Tatiana Manco, César Loaiza, Marcial Blondet

### RESUMEN

Cerca de la mitad de las viviendas en el Perú son construcciones de tierra. Los principales sistemas para la construcción de edificaciones de tierra, empleados en nuestro país son: la albañilería de adobe (ladrillos de barro secados al sol y asentados con mortero de barro), el tapial (suelo compactado dentro de encofrados de madera), y la quincha (marcos de madera rellenos con caña y cubiertos con barro o yeso). Este artículo describe las principales características estructurales de viviendas existentes de tierra, las cuales representarán a las técnicas constructivas tradicionales en la Enciclopedia Mundial de las Construcciones de Vivienda ([www.world-housing.net](http://www.world-housing.net)) desarrollada por el Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica de los Estados Unidos. Primero, se detallan las características arquitectónicas y estructurales más importantes. Posteriormente, se evalúa la vulnerabilidad sísmica de tres viviendas representativas de cada sistema constructivo mediante un análisis estructural simplificado. Finalmente, se proponen técnicas de refuerzo para mejorar la seguridad estructural de las viviendas más vulnerables.

### 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica de los Estados Unidos inició un proyecto a escala mundial para crear una enciclopedia que reúna las técnicas constructivas de vivienda empleadas en zonas sísmicas del mundo. El objetivo de esta enciclopedia es realizar una categorización global de las técnicas constructivas de vivienda empleadas en el mundo, mostrando un particular énfasis en sus características sísmicas.

En el Perú existe una gran variedad de construcciones de vivienda, desde casas tradicionales de adobe hasta edificios modernos con muros de concreto armado. La Pontificia Universidad Católica del Perú viene desarrollando un proyecto con el fin de determinar las características sísmicas y la vulnerabilidad estructural de las principales técnicas constructivas de vivienda empleadas en el Perú, y de esta manera, participar en el Proyecto Mundial de la Enciclopedia. En una primera etapa, se estudiaron en la ciudad de Lima las técnicas constructivas de: adobe, albañilería simple, albañilería

confinada y concreto armado (Loaiza, 2002). En una segunda etapa del proyecto, se están estudiando en los departamentos de Ancash, Ayacucho, Cusco, Lambayeque, La Libertad, Junín y Lima las técnicas constructivas de tierra de: adobe contemporáneo, tapial y quincha (Gutiérrez y Manco, 2003).

Este artículo presenta un resumen de los resultados obtenidos en la segunda etapa del proyecto. Se describen las tipologías de viviendas de tierra y sus características arquitectónicas y estructurales. Luego, se establecen las diferencias entre las características estructurales de las viviendas tradicionales y las especificadas en la norma peruana de adobe (SENCICO, 1997) y en otras recomendaciones técnicas (Ottazzi, 1995 y Bariola). Se estudian las posibles fallas estructurales que podrían producirse tras un evento sísmico con el fin de desarrollar una metodología de análisis de la vulnerabilidad sísmica. Finalmente, se propone una técnica de reforzamiento que puede ser aplicada a la técnica constructiva más vulnerable.

## **2. TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA**

En el Perú, la mayoría de las viviendas rurales y las de algunos centros urbanos son de tierra. Esto se debe a que la construcción con tierra es una alternativa simple y económica, y para muchos pobladores de bajos recursos económicos, constituye la única posibilidad de ser propietario de una casa. Las características de las viviendas de tierra dependen de varios factores como el clima, la actividad económica, la ubicación geográfica entre otros, lo cual dificulta tipificar las viviendas. Con el fin de reunir las características más importantes, se consideró conveniente clasificar las viviendas según el sistema constructivo en: viviendas de adobe contemporáneo, viviendas de tapial, y viviendas de quincha. A continuación se describe brevemente las técnicas constructivas de tierra que serán analizadas:

### **2.1 Viviendas de adobe contemporáneo**

Las viviendas de adobe contemporáneas tienen por lo general una edad menor a los 50 años (Fig. 1). Esta técnica constructiva es una modificación de las casonas de adobe de dos pisos de la época hispano-colonial (siglo XVIII). Los muros de las viviendas de adobe son de ladrillos sin cocer, hechos a base de barro y paja. El ancho típico de estos muros es de 0.40 m, menor al de las antiguas casonas de adobe (0,60 a 1,00 m).

Estas viviendas tienen excelentes propiedades térmicas y acústicas, por ello son muy empleadas en la sierra peruana. En esta región los pobladores de escasos recursos eligen esta técnica

constructiva, por ser además una propuesta económica y con posibilidades de autoconstrucción. Sin embargo, la falta de dirección técnica y las deficiencias en la construcción las hacen altamente vulnerables en comparación con las construcciones realizadas en la época colonial. En la segunda etapa del proyecto, se recolectó información de viviendas de adobe contemporáneas ubicadas en los departamentos de Cusco, Ayacucho y Junín.

## **2.2 Viviendas de tapial**

Las viviendas de tapial se construyen en la sierra peruana desde fines del siglo XIX (Fig. 1). En esta técnica los muros se construyen compactando capas de tierra húmeda dentro de un encofrado. La ventaja que tiene el tapial sobre el adobe es que permite levantar directamente los muros *in situ*, sin requerir de la fabricación previa de los elementos constructivos. Sin embargo, esta tecnología no facilita la autoconstrucción, ya que requiere mano de obra especializada. En la segunda etapa del proyecto, se recolectó información de viviendas de tapial ubicadas en los departamentos de Junín, Ayacucho y Ancash.

## **2.3 Viviendas de quincha**

Las viviendas de quincha empezaron a emplearse en gran parte de la costa peruana a fines del siglo XVI. Este sistema consiste de muros de barro con caña, estructurados mediante bastidores o nervaduras de madera sobre los que se clava o amarra una membrana de caña, la cual es revestida por ambas caras con mezcla de barro y yeso (ININVI, 1989). A pesar que esta técnica constructiva no es empleada actualmente, las construcciones de quincha representan un porcentaje importante de las viviendas de zonas rurales y urbanas. En la segunda etapa del proyecto, se recolectó información de viviendas de quincha ubicadas en los departamentos de Lima, La Libertad y Lambayeque.

## **3. CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y ESTRUCTURALES**

Las características que se presentan resumen la información obtenida en el trabajo de campo realizado en las ciudades de Ayacucho, Cusco, Etén, Lima, Pacasmayo y Huancayo. También se incluye información de los estudios sobre las viviendas de tapial y adobe en el Callejón de Conchucos en Ancash y en el Valle del Mantaro en Junín (San Bartolomé y Quiun, 1989 y Vildoso et al, 1984) y sobre las viviendas de quincha en el Perú (Marussi, 1989). En esta sección se realiza una descripción general de las técnicas constructivas de adobe contemporáneo, tapial y quincha, señalando las características comunes que presentan las viviendas seleccionadas. Las casas de adobe contemporáneo y tapial presentan características similares, a pesar de que se construyen con

sistemas constructivos diferentes. Para evitar redundancia se consideró apropiado agrupar la información presentada según las principales características estructurales.

### **3.1 Viviendas de adobe contemporáneo y tapial**

Las viviendas de adobe y de tapial de dos pisos poseen características semejantes, como se observa en la figura 1, donde las fachadas son similares. Ambas técnicas constructivas presentan plantas típicas en forma rectangular, en forma de L o en forma de C, albergando en su parte posterior a un pequeño patio o a un terreno de cultivo. Por lo general, en una distribución típica de estas viviendas, la cocina y los servicios higiénicos se construyen por separado de las habitaciones, las que no se conectan interiormente. Por ello, cada una de las habitaciones requiere de una puerta exterior que se conecte a un corredor o a una escalera.

Los cimientos se construyen con piedras grandes unidas con mezcla de barro (pirca), y tienen una profundidad que varía entre 0,50 y 0,80 m. En algunas viviendas se construye un sobrecimiento, el cual suele ser también de pirca. En las viviendas de adobe, los muros se construyen de bloques que miden en promedio 0,40 m de largo, 0,20 m ancho y 0,15 m de alto. Estos bloques son asentados con mortero de barro, al cual se le puede agregar paja. En las viviendas de tapial, los muros se construyen de bloques que miden, en promedio 1,50 m de largo, 0,40 m de ancho y 0,60 m de alto. Estos bloques se asientan por presión, sin el uso de juntas de barro (junta seca). En ambas tecnologías la altura de cada piso varía entre 2,40 m y 3,10 m, mientras que el punto más alto de la construcción puede llegar a 7,0 m. Las viviendas presentan revoques preparados con mortero de tierra y paja, de yeso o de cemento y pintura sintética o tradicional (yeso, resina de cactus y óxidos colorantes). Ambas técnicas constructivas cuentan con techos que se construyen con rollizos de eucalipto distanciados entre 0,60 y 0,80 m. Estos techos se apoyan directamente sobre los muros y tienen una pendiente que aproximada de 15° si es a una sola agua, y de 23° si es a dos aguas. Las coberturas de los techos pueden ser tejidos con ichu o con cañas, sobre las que se coloca un mortero de barro y paja para asentar tejas de arcilla.

### **3.2 Viviendas de quincha**

Las viviendas de quincha presentan plantas típicas rectangulares y fachadas estrechas en comparación con sus dimensiones laterales. Estas características arquitectónicas influyen en la distribución de los ambientes. Así, la sala y el comedor se encuentran en el ingreso de la vivienda, mientras que los dormitorios, la cocina, los servicios higiénicos y el patio se encuentran en la parte posterior. Todos los ambientes se conectan a través de un pasadizo angosto y largo que comienza en la fachada y termina en la parte posterior de la casa.

Los cimientos se construyen con piedras y mezcla de cal, sobre los que se levanta el armazón de madera de los muros. La parte inferior de este armazón, en muchas ocasiones, se rellena con ladrillos para aumentar la estabilidad de los muros de quincha. Los espesores de los muros varían entre 0,10 m y 0.20 m, y por lo general carecen de vanos laterales. Su revestimiento final puede ser de barro, al cual se le agrega paja, yeso, o diferentes mezclas de tierra o arena con cemento o cal (Marussi, 1989). Sobre los muros se apoyan viguetas de madera separadas en promedio a 0,50 m. Estas viguetas soportan el techo, el cual está compuesto de un machihembrado de madera recubierto con una torta de barro de 40 a 50 mm de espesor. Los techos, por lo general, son ligeramente inclinados hacia la fachada o al patio posterior, pero nunca hacia los costados, siendo la altura a su punto más alto entre 3,00 y 3,70 metros.

#### 4. COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

En base a lo especificado en la “Norma de diseño sismorresistente de Adobe (NTE 0.80)” (SENCICO, 1997) y en las “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento” (Ottazzi, 1995) se presenta un cuadro comparativo de las principales características estructurales.

Norma E-080 y Recomendaciones	Viviendas de adobe y tapial
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número de pisos Zona sísmica II: 1</li> <li>▪ Conjunto estructural:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a)Cimentación</li> <li>b)Muros</li> <li>c)Arriostres horizontales y verticales</li> <li>d)Techos</li> <li>e)Refuerzos.</li> </ul> </li> <li>▪ Cimentación <math>h = 0.40</math> m.</li> <li>▪ Sobrecimiento <math>h = 0.20</math> m</li> <li>▪ Espesor mínimo de muros: <math>t = 0.30</math> m                             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>h \leq 8t</math></li> <li><math>l \leq 12t</math></li> <li><math>l \leq 2h</math></li> </ul> </li> <li>▪ Realizar ensayos de campo y de laboratorio de los adobes a utilizar.</li> <li>▪ Emplear arriostres horizontales y verticales.</li> <li>▪ Construir techos livianos y fijos a los muros con vigas soleras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número de pisos: 2.</li> <li>▪ Conjunto estructural:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a)Cimentación</li> <li>b)Muros</li> <li>c)No tiene arriostres</li> <li>d)Techos</li> <li>e)No tiene refuerzos.</li> </ul> </li> <li>▪ Cimentación <math>h = 0.80</math>m.</li> <li>▪ No tiene sobrecimiento.</li> <li>▪ Espesor de muros: <math>t = 0.40</math> m                             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>h &gt; 8t</math></li> <li><math>l &gt; 12t</math></li> <li><math>l &lt; 2h</math></li> </ul> </li> <li>▪ Viviendas de adobe: no se realizan ensayos. Viviendas de tapial: se realizan ensayos tradicionales.</li> <li>▪ No presentan arriostres horizontales ni verticales.</li> <li>▪ Los techos son pesados y no presentan vigas soleras.</li> </ul>

Tabla 1 Viviendas sismorresistente de adobe y tapial vs. viviendas de adobe contemporáneo y tapial

Las viviendas de adobe son muchas veces construidas por los propietarios quienes usan el suelo del terreno sin realizar ensayo alguno. En cambio, el maestro tapiero selecciona un suelo medio arenoso que no contenga mucha piedra ni arcilla. Posteriormente, realiza una prueba la cual consiste en coger un puñado de tierra húmeda que luego de empuñarse no deberá disgregarse. En caso de ocurrir lo contrario se considera que el suelo no es el adecuado para la construcción de la vivienda.

Como se observa en la tabla 1, en general las viviendas no reúnen las características necesarias para garantizar un buen comportamiento sísmico. Ambas viviendas carecen de algunos elementos estructurales importantes como son las vigas soleras, las cuales permiten conservar la unidad de la estructura durante un evento sísmico.

Según lo especificado en la cartilla “Diseño y Construcción en Quincha” (Bariola) se presenta un cuadro comparativo entre las recomendaciones para la construcción de nuevas viviendas de quincha y las viviendas representativas seleccionadas:

<b>Diseño y construcción en quincha</b>	<b>Viviendas de quincha</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número de pisos:1</li> <li>▪ Cimentación: losa de concreto armada con caña</li> <li>▪ Sobrecimiento <math>h_{min} = 0,20</math> m</li> <li>▪ Muros: paneles huecos prefabricados</li> <li>espesor mínimo de muros: <math>t = 0,15</math> m</li> <li>▪ Techos livianos: vigas de madera cada 0,80 m cobertura de caña con mortero de cemento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Número de pisos: 1</li> <li>▪ Cimentación: piedras con cal</li> <li>▪ Sobrecimiento <math>h=0,40</math> m</li> <li>▪ Muros: paneles rellenos de barro y de ladrillo o adobe</li> <li>espesor de muros: <math>t = 0,15</math> m</li> <li>▪ Techos pesados: vigas de madera cada 0,50 m cobertura de machihembrado de madera con barro</li> </ul>

Tabla 2. Recomendaciones para viviendas de quincha vs. vivienda tradicional de quincha

Como se observa en la tabla 2, las recomendaciones sugieren una variante en la construcción de los paneles de madera, lo cual permite emplear una menor cantidad de material, disminuyendo el peso y el costo de la vivienda. También se propone emplear una losa de cimentación para distribuir adecuadamente las cargas al suelo. Si bien estas recomendaciones contribuyen a mejorar el comportamiento sísmico, las viviendas tradicionales de quincha han comprobado tener adecuadas propiedades sísmicas.

## 5. COMPORTAMIENTO SÍSMICO

El 31 de Mayo de 1970, un terremoto de magnitud 7.8 Ms sacudió el departamento de Ancash. Este terremoto fue calificado entre los 15 más catastróficos por la pérdida de 66,000 vidas humanas y decenas de poblados; entre ellos Yungay, en el Callejón de Huaylas, el cual fue cubierto casi en su totalidad por un alud. En el centro de Huaraz el 100% de las viviendas de adobe fueron totalmente destruidas. Se estima que 40,000 personas fallecieron bajo los escombros de sus viviendas de adobe o tapial (Kuroiwa, 2002). El 23 de Junio de 2001 un terremoto de magnitud 8.4 Mw, remeció las ciudades de los departamentos de Moquegua, Tacna, Arequipa y Ayacucho. Durante este terremoto colapsaron miles de viviendas, en su mayoría viviendas de adobe de reciente construcción (Zegarra et al, 2001).

Se puede concluir entonces, que la actividad sísmica de nuestro territorio ha cobrado sus mayores víctimas en las viviendas de adobe y tapial. Estas viviendas han demostrado tener una alta vulnerabilidad frente a eventos sísmicos inclusive de moderada intensidad. Por otro lado, las viviendas de quincha han logrado soportar satisfactoriamente los efectos sísmicos, gracias a su gran ductilidad y poco peso (Marucci, 1989) A continuación se explican brevemente las principales fallas estructurales que presentan las viviendas:

### 5.1 Fallas típicas en viviendas de adobe y tapial

Las fallas en las construcciones de adobe o tapial pueden atribuirse principalmente a su poca resistencia en tracción y a la reducida adherencia entre el adobe y el mortero o entre tapias.

- a. Falla por Flexión: las fuerzas sísmicas que actúan sobre los muros producen esfuerzos de tracción en los encuentros de muros transversales y en las esquinas superiores. Debido a la poca resistencia a la tracción de los muros, se generan grietas en la parte superior, ocasionando la separación de los muros (Fig. 3).
- b. Fallas por Corte: cuando las fuerzas horizontales actúan paralelas al plano del muro generan grietas por esfuerzo cortante, las que generalmente presentan una orientación diagonal siguiendo las juntas verticales y horizontales de los adobes (falla escalonada) (Fig. 4). En el caso del tapial se produce la falla por corte – fricción, la cual consiste en el desplazamiento a lo largo de las juntas horizontales del muro, dividiéndolo en bloques que colapsaran por volteo.
- c. Falla por Volteo: una vez separados los muros debido a la falla de sus uniones, éstos se comportarán como sólidos rígidos independientes, los que serán sometidos a grandes fuerzas sísmicas. Estas fuerzas generarán momentos actuantes que serán contrarrestados por el peso de

los muros. Si el momento actuante es mayor al resistente, el muro se desploma y colapsa el techo (Fig. 5)

## **5.2 Fallas típicas en viviendas de quincha**

El bastidor de madera del muro de quincha por sí sólo, no tiene la misma rigidez que el muro con el entramado de caña y el revoque de barro. Cada uno de estos elementos aporta resistencia al conjunto, tanto en flexión como en corte.

- a. Fallas por Corte: por lo general los bastidores de los muros pueden resistir grandes esfuerzos de corte, ya que sus elementos longitudinales que presentan fibras paralelas a la dimensión más larga tienen gran resistencia. El problema se da principalmente en el revestimiento de barro donde las fallas por corte se originan por tracción diagonal.
- b. Fallas por Flexión: los muros resisten las fuerzas perpendiculares a su plano como si se trataran de losas. Debido a este tipo de sollicitación, los muros de quincha presentan pandeo o alabeo, dependiendo de las características de cada muro. La caña otorga mayor flexibilidad al muro, sin embargo, su resistencia a la tracción puede ser superada, haciendo que sólo los bastidores soporten los efectos de flexión.

## **6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA**

Se empleó un análisis estático simplificado según el procedimiento indicado en la Norma de diseño Sismorresistente E-030 (SENCICO, 1997). Se debe tener presente que no es posible analizar el comportamiento sísmico de las viviendas que se encuentren en mal estado, ya que no es factible estimar las resistencias de sus elementos estructurales. Además, el análisis no considera la posible interacción con las construcciones vecinas.

A continuación se detallan los pasos de la metodología aplicada para el análisis:

- a. Evaluar las características sísmicas de la vivienda en análisis: se determinan las principales fallas que podrían presentarse.
- b. Determinar los sismos de análisis: se determinan los sismos en función a su probabilidad de excedencia para diferentes años de exposición. Estos parámetros fueron generados de acuerdo a las recomendaciones de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC, 1995). Con el fin de comparar las diferentes tecnologías constructivas, se optó por emplear las aceleraciones en roca correspondiente a la ciudad de Lima, una de las zonas sísmicas más críticas del Perú (SENCICO, 1997 y Muñoz, 2001) (Tabla 3).

Sismo de análisis	Probabilidad de ocurrencia (%) en años de exposición	Período de retorno	Acel. Max. en roca (g) Z
Frecuente	50% en 30 años	43 años	0,20
Ocasional	50% en 50 años	72 años	0,25
Raro	10% en 50 años	475 años	0,40
Muy Raro	10% en 100 años	970 años	0,50

Tabla 3. Sismos de Análisis

- c. Modelar y analizar la estructura para obtener las demandas de esfuerzos: dado que las viviendas de adobe y tapial comúnmente no presentan refuerzos horizontales ni verticales que conecten los techos con los muros, las fuerzas sísmicas no se distribuyen proporcionalmente a la rigidez de los muros. Por ello, los techos y las losas de entrepiso no se consideran como diafragmas rígidos en el análisis sísmico. En consecuencia, se puede asumir que los muros actúan independientemente bajo la acción de las fuerzas sísmicas. El análisis se realiza para las solicitaciones de flexión, volteo y corte, verificando los esfuerzos actuantes en cada muro (Meli et al, 1978 y Vargas et al, 1978). En las viviendas de quincha, el análisis se realiza sólo para las solicitaciones de flexión y corte. En el análisis por flexión se verifican las deflexiones laterales que se dan en el panel, mientras que en el análisis por corte se verifican los esfuerzos actuantes sobre los bastidores y las uniones de los elementos de madera.
- d. Obtener los factores de capacidad – demanda: las fuerzas sísmicas originan esfuerzos, desplazamientos y demandas de ductilidad, los cuales se incrementan hasta que alcancen sus respectivos valores máximos de resistencia elástica. Una forma de cuantificar la relación entre los esfuerzos y desplazamientos es a través de los factores de capacidad – demanda (Blondet et al, 1989) (Ec. 1).

$$\text{Factor capacidad - demanda} = \text{Fuerza Resistente} / \text{Fuerza Actuante} \quad (\text{Ec. 1})$$

Si esta relación es menor que 1 se considera que el muro no es capaz de soportar la solicitación, sufriendo daños que pueden llevar al colapso de la estructura, de lo contrario ( $>1$ ) la estructura conserva su estabilidad y los daños podrían ser reparados.

- e. Evaluar la vulnerabilidad sísmica: se evalúa según los niveles de desempeño propuestos por el SEAOC. Se considera que el nivel de desempeño de la estructura es Completamente Operacional cuando los muros estructurales y tabiques no presenten daños que alteren su rigidez. En el nivel Operacional, la estructura ha sufrido pequeños daños estructurales, pero mantiene gran parte de su rigidez. En el nivel de Supervivencia, la estructura ha sufrido un daño estructural importante, sin embargo, la estructura conserva parte de su resistencia lateral y un margen contra el colapso, en este caso la reparación es factible. En el nivel Cerca al Colapso, la estructura ha perdido casi toda su rigidez, los elementos no estructurales pueden terminar fuera

de sitio y estar en peligro de caerse (Muñoz, 2001). El Colapso de la estructura ocurrirá cuando los muros fallen por flexión, corte o volteo, de manera que se pierda la estabilidad del conjunto.

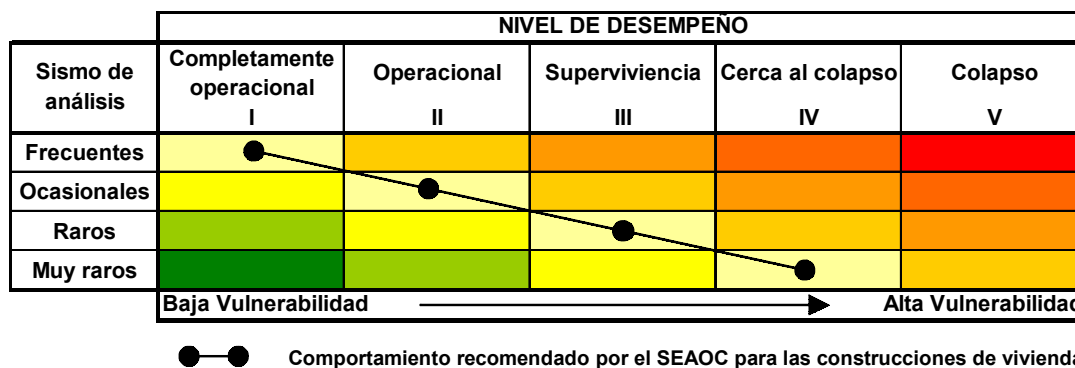


Tabla 4 Tabla de nivel de desempeño

En base a los factores de capacidad – demanda obtenidos para cada vivienda, se obtendrá una tabla de nivel de desempeño como la mostrada en la Tabla 4 (SEAOC, 1995), sobre la cual se concluye el nivel de vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

## 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Frente a las solicitaciones sísmicas establecidas, se comprueba que las viviendas de tapial y adobe son las más vulnerables. Estas presentan un comportamiento inaceptable, ya que durante sismos frecuentes las estructuras se encuentran cerca al colapso, y por lo tanto, no garantizan el resguardo de la vida de sus habitantes. Este comportamiento se debe principalmente a la fragilidad y poca resistencia de los materiales que componen las viviendas. Es importante resaltar, que según lo especificado en la norma de adobe y en las recomendaciones técnicas, estas viviendas no deberían tener más de un piso, ya que se encuentran en zonas de alta actividad sísmica. Se verifica mediante el análisis que las viviendas representativas de adobe y de tapial (Fig. 1) tendrán un comportamiento inadecuado, debido a la gran masa que concentran los muros, provocando que la sollicitación sísmica sea mayor (Fig.6 y 7).

Por otro lado, las viviendas de quincha presentan un comportamiento aceptable, ya que los materiales que la componen, le otorgan la ductilidad necesaria para poder resistir grandes deformaciones. Además, los materiales que componen los paneles, permiten tener muros ligeros, por lo que puede recomendarse su uso en pisos superiores. (Fig. 8)

Puesto que las viviendas seleccionadas pueden considerarse como representativas, es de esperarse que durante un sismo severo de 0,4g, colapsen muchas viviendas de adobe y tapial de dos pisos. Sin embargo, las viviendas de quincha resistirán la solicitación. En el caso de un sismo muy raro, de 0,5g, se espera que todas las viviendas estudiadas colapsen.

## **8. RECOMENDACIONES**

En la investigación "Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos" (Zegarra et al 2001), se reforzaron 5 viviendas de adobe en Tacna y Moquegua, las que tras el terremoto del 23 de Junio de 2001 se comportaron elásticamente, por lo que no tuvieron daños, como las casas vecinas, comprobándose la eficacia del reforzamiento. Esta tecnología consiste en el enmallado de muros y en su recubrimiento con mortero de cemento. Para la ejecución del reforzamiento primero se retira el revestimiento existente en la zona por enmallar. Luego, se perfora el muro para instalar el conector (alambre No.16 de 0,90 m.) y se rellena la perforación con mortero de cemento, los conectores se ubican horizontalmente a 0,20 m de las esquinas y aproximadamente cada 0,50 m de altura. Después se instala la malla engrapándola con los conectores y clavándola con clavos de 2½" y chapas. Finalmente, se reviste con mortero de arena fina 1:4. En el caso de las viviendas de dos pisos, se enmalla la totalidad de los muros del primer piso, mientras que en el segundo piso sólo se enmallan los encuentros de los muros (Fig. 9).

Este método no puede ser aplicado en viviendas con la parte inferior del muro socavada por la humedad o intemperie, ni tampoco en viviendas con techos en mal estado. En el caso de una vivienda de tapial, se propone una técnica de reforzamiento similar a la mencionada, con mallas electro soldadas de mayores dimensiones y que garanticen una resistencia que soporte el excesivo peso del tapial. Las técnicas de reforzamiento en viviendas de quincha serán tema para la realización de investigaciones futuras.

## **9. REFERENCIAS**

1. Loiza, César, "Caracterización de las construcciones de vivienda en el Perú - Información para la Enciclopedia Mundial de las Construcciones de Vivienda en Áreas Sísmicas", PUCP, 2002.
2. Gutiérrez, Lourdes, Manco, Tatiana, "Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú: contribución a la Enciclopedia Mundial de Construcción de Vivienda", PUCP, 2003.
3. Marussi, Ferruccio, "Antecedentes históricos de la quincha", ININVI, Lima, 1989.
4. San Bartolomé, Ángel, Quiun, Daniel, "Construcción con Tapial", ININVI – PUCP, Lima, 1989.

5. Vildoso, A., Monzón, F., Hays, A., Matuk, S., Vitoux, F., “Seguir construyendo con tierra”, CRATERRE, Huancayo, 1984.
6. SENCICO, “Norma peruana de diseño sismorresistente E.080”, MTC, Lima, 1997.
7. Ottazzi, Gianfranco, “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento” Red HABITERRA, Bolivia, 1995.
8. Bariola, Julio, “Diseño y construcción en quincha”, PUCP, Lima
9. Kuroiwa, Julio, “Reducción de desastres”, Lima, 2002.
10. Zegarra, Luis, San Bartolomé, Ángel., Quiun, Daniel, “Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica”, GTZ-CERESIS-PUCP, Lima, 2001.
11. Structural Engineers Association of California (SEAOC), “Vision 2000 – A Framework for Performance-based Design”, California Office of Emergency Services, California, 1995.
12. Meli, R., Bazán, E., Padilla, M., “Seguridad ante sismos de casas de adobe”, México, 1978.
13. Vargas, Julio y Blondet, Marcial, “Vivienda Rural”, PUCP, Lima, 1978.
14. Blondet, Mayes, Kelly, Villablanca, Klinger, 1989, Performance of Engineered Masonry in the Chilean Earthquake of March 3, Computech Engineering Services Inc., 1985
15. Muñoz, Alejandro, “Ingeniería Sismorresistente”, PUCP, Lima, 2001.
16. San Bartolomé, Ángel, “Curso de Albañilería Estructural”, PUCP, Lima, 2002.



Fig. 1 Viviendas representativas de adobe (Cusco) (izq) y de tapial de dos pisos (Junín) (der.)



Fig. 2 Vivienda representativa de quincha (Lambayeque)

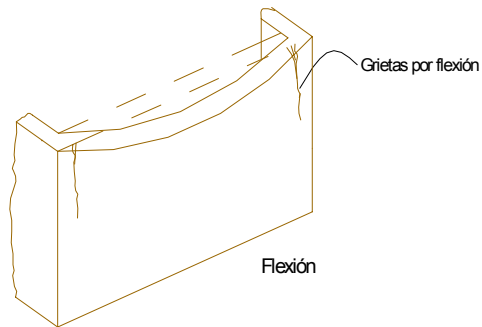


Fig. 3 Falla por flexión en las esquinas (izq.) Vivienda con fallas de flexión (der.) (San Bartolomé, 2002)

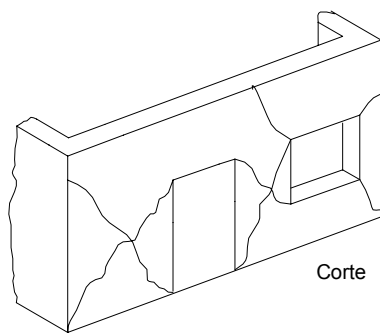


Fig. 4 Falla por corte (izq.). Daño registrado en una vivienda (der.)

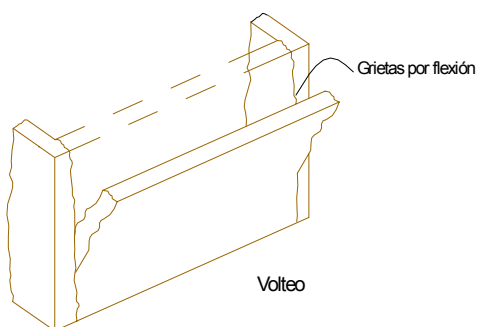


Fig. 5 Falla por volteo (izq.) Colapso de muro por volteo (der.)

Sismo de análisis	NIVEL DE DESEMPEÑO				
	I	II	III	IV	V
Frecuentes					
Ocasionales					
Raros					
Muy raros					

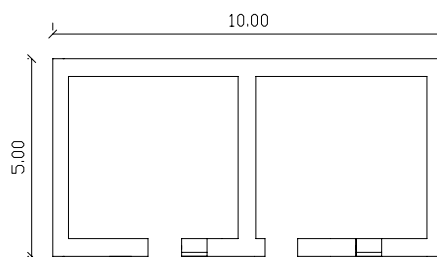


Fig. 6. Niveles de desempeño y planta de la vivienda de adobe de dos pisos

Sismo de análisis	NIVEL DE DESEMPEÑO				
	I	II	III	IV	V
Frecuentes					
Ocasionales					
Raros					
Muy raros					

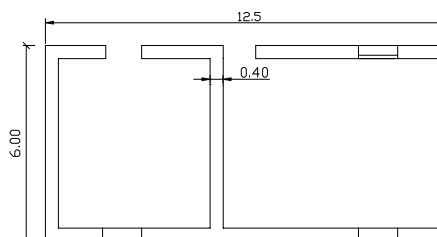


Fig. 7 Niveles de desempeño y planta de la vivienda de tapial de dos pisos

Sismo de análisis	NIVEL DE DESEMPEÑO				
	I	II	III	IV	V
Frecuentes					
Ocasionales					
Raros					
Muy raros					

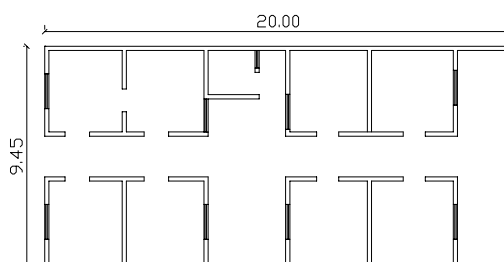


Fig. 8 Niveles de desempeño y planta de la vivienda de quincha de un piso

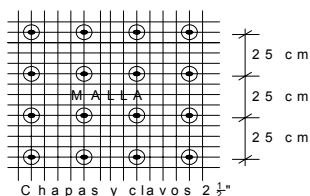
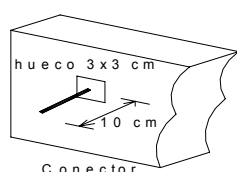


Fig. 9 Conector y engrapado de malla (izq.)