



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“CARACTERISTICAS SISMICAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE  
TIERRA EN EL PERU . CONTRIBUCION A LA ENCICLOPEDIA  
MUNDIAL DE VIVIENDA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:  
LOURDES MARGARITA CLAVER GUTIERREZ ALIAGA  
MERCEDES TATIANA MANCO RIVERA**

**LIMA – PERÚ  
2006**

# CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DE LAS CONSTRUCCIONES DE TIERRA EN EL PERÚ – CONTRIBUCIÓN A LA ENCICLOPEDIA MUNDIAL DE VIVIENDA

## RESUMEN

El Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica de los Estados Unidos (EERI, por sus siglas en inglés) inició en el 2000 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 empleadas en el mundo, mostrando un particular énfasis en sus características sísmicas (características arquitectónicas, estructurales y vulnerabilidad sísmica).

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 contribuyó al proyecto de la enciclopedia mundial de vivienda con información recopilada en una investigación de dos etapas de las principales técnicas constructivas empleadas en el Perú. En una primera etapa se estudiaron las técnicas constructivas de adobe, albañilería simple, albañilería confinada y concreto armado de la ciudad de Lima (Loaiza 2002). En una segunda etapa del proyecto se estudiaron las técnicas constructivas de tierra de adobe contemporáneo y tapial empleadas en los departamentos de Ancash, Ayacucho, Cusco y Junín, y las técnicas constructivas de quincha y republicana empleadas en Lambayeque, La Libertad, y Lima (Gutiérrez y Manco 2005).

Esta tesis presenta la investigación realizada en la segunda etapa. Primero se describen las características arquitectónicas y estructurales de las tecnologías constructivas de viviendas de tierra. Luego se estudian las características mecánicas de los principales materiales que las componen, así como las posibles fallas típicas debidas a sismos.

Después se evalúan modelos de análisis sísmico con el fin de desarrollar una metodología del análisis de la vulnerabilidad de las viviendas de tierra.

En la metodología se propone un análisis elástico de las estructuras de tierra basado en las recomendaciones propuestas en la Norma Técnica Peruana (MVCS 2003). La resistencia de los elementos estructurales de la vivienda analizada es comparada con las demandas sísmicas, para obtener una matriz de desempeño sísmico (SEAOC 1995) con la cual se determina el grado de vulnerabilidad sísmica de la vivienda. También se comparan las características estructurales de la vivienda con las recomendaciones de la Norma Peruana (MTC 2000).

Con la metodología propuesta se evalúa la vulnerabilidad sísmica de cuatro viviendas representativas de cada tecnología constructiva señalada anteriormente. Se presentan también posibles avances tecnológicos para mejorar la seguridad estructural de las tecnologías constructivas. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que las viviendas contemporáneas de adobe y tapial son las más vulnerables y las viviendas de quincha y republicana tendrían un comportamiento aceptable.



*Dedicatoria:*

*"A Dios, mis padres, mi esposo y a los profesores de la PUCP  
que hicieron posible la realización de esta tesis" T.M.R.*

*"A aquellas personas que me ayudan a hacer mis sueños  
realidad y en especial a mi familia por darme la oportunidad" L.G.A*



## CONTENIDO

TÍTULO	Pág.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes y motivación	
1.2 Objetivos	
1.3 Plan de trabajo	
1.4 Contenido	
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE TIERRA	4
2.1 Introducción	
2.2 Conceptos básicos	
2.3 Clasificación de la Vulnerabilidad Sísmica	
2.4 Metodología propuesta para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de tierra	
CAPÍTULO 3. TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA EN ZONAS SÍSMICAS DEL PERÚ	20
3.1 Introducción	
3.2 Construcción de viviendas contemporáneas de adobe	
3.3 Construcción de viviendas de tapial	
3.4 Construcción de viviendas de quincha	
3.5 Construcción de viviendas republicanas	
CAPÍTULO 4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	44
4.1 Introducción	
4.2 Propiedades mecánicas del adobe	
4.3 Propiedades mecánicas del tapial	
4.4 Propiedades mecánicas de la quincha	
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE TIERRA	57
5.1 Introducción	
5.2 Análisis sísmico de estructuras de adobe	
5.3 Análisis sísmico de estructuras de tapial	
5.4 Análisis sísmico de estructuras de quincha	
5.5 Análisis sísmico de estructura republicana	
CAPÍTULO 6. VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS VIVIENDAS SELECCIONADAS	77
6.1 Introducción	
6.2 Vivienda contemporánea de adobe	
6.3 Vivienda de tapial	
6.4 Vivienda de quincha	
6.5 Vivienda republicana	

CAPÍTULO 7. AVANCES EN LAS TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA	119
7.1 Introducción	
7.2 Avance tecnológico en el adobe y el tapial	
7.3 Avance tecnológico en la quincha	
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	131
REFERENCIAS	132
ANEXOS	135
A. Formato de vivienda contemporánea de adobe	
B. Formato de vivienda de tapial	
C. Formato de vivienda de quincha	
D. Formato de vivienda republicana	



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

El Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica de los Estados Unidos (EERI, por sus siglas en inglés) ha iniciado un trabajo a escala internacional para crear una Enciclopedia Mundial de Vivienda (World Housing Encyclopedia, WHE). La finalidad de la enciclopedia es catalogar las técnicas constructivas y estimar la vulnerabilidad estructural de viviendas representativas en todas las áreas sísmicas del mundo.

Como resultado de una primera etapa de investigación la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) ha contribuido hasta el momento con tres formatos para la WHE. En la primera etapa se evaluó la vulnerabilidad sísmica de construcciones típicas de Lima: una vivienda de adobe, una vivienda unifamiliar de albañilería confinada y una vivienda multifamiliar de albañilería confinada.

En la actualidad cerca de la mitad de las viviendas en el Perú son construcciones de tierra (INEI 1993). Por ello en una segunda etapa de investigación, se seleccionaron tecnologías constructivas de tierra empleadas en diversos departamentos del Perú: adobe contemporáneo, tapial, quincha y tecnología republicana.

En esta tesis se describen las principales características estructurales de cuatro viviendas existentes de tierra y se evalúa su vulnerabilidad sísmica, para luego contribuir con cuatro formatos adicionales a la Enciclopedia Mundial de Vivienda.

### 1.2 OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es estudiar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de tierra en el Perú para contribuir con la Enciclopedia Mundial de Vivienda.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- a) Desarrollar una metodología para estimar la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de tierra.

- b) Complementar el catálogo de características sismorresistentes con tecnologías constructivas empleadas en zonas sísmicas del Perú, y
- c) Generar la información requerida sobre las construcciones peruanas para la Enciclopedia Mundial de Viviendas del EERI.

### 1.3 PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo para la realización de este estudio comprendió las siguientes etapas:

1. Clasificación de las principales tecnologías constructivas de viviendas de tierra. Selección de las muestras representativas de cada tecnología en base a los resultados de censos nacionales.
2. Estudio en sitio de las tecnologías constructivas seleccionadas. Recolección de información de las características sísmicas de cada tecnología constructiva en diferentes zonas sísmicas y selección de viviendas representativas.
3. Clasificación y tratamiento de datos recolectados en la etapa anterior. Desarrollo de una metodología que pueda ser aplicada a todas las tecnologías constructivas.
4. Evaluación de las características arquitectónicas, estructurales y estimación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas representativas, de acuerdo con la metodología propuesta.
5. Elaboración del documento final, resultados y conclusiones; y
6. Preparación de formularios para la base de datos de la Enciclopedia Mundial de las Construcciones de Vivienda en Zonas Sísmicas.

### 1.4 CONTENIDO

El documento está organizado como sigue:

En el Capítulo 2 se explican los fundamentos teóricos y prácticos indicados en códigos internacionales y en la Norma Peruana (MTC 2000) para analizar la vulnerabilidad de edificaciones. Se explican los diversos tipos de clasificación de la vulnerabilidad

sísmica de las edificaciones comunes y se propone una metodología de análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de tierra.

En el Capítulo 3 se presentan las características constructivas arquitectónicas y estructurales de las tecnologías constructivas de tierra más representativas en las zonas sísmicas del Perú.

En el Capítulo 4 se exponen las principales propiedades mecánicas de los materiales que determinan la resistencia de los elementos estructurales de las construcciones de tierra.

En el Capítulo 5 se describen las posibles fallas sísmicas de las estructuras de las construcciones de tierra y se realizan modelos de análisis sísmico de los principales elementos para la evaluación de su comportamiento.

En el Capítulo 6 se aplica la metodología propuesta para cuantificar la vulnerabilidad sísmica de cuatro viviendas representativas de las tecnologías constructivas de tierra en el Perú. Se describen las características arquitectónicas y estructurales de las viviendas seleccionadas, que son comparadas con las recomendaciones de la Norma Peruana. Luego se estima el nivel de desempeño de la vivienda sometido a varias intensidades de sismos. Entonces, se clasifica la vulnerabilidad sísmica de la estructura.

En el Capítulo 7 se hace referencia a investigaciones realizadas sobre viviendas existentes y de nuevas construcciones que han registrado un mejor comportamiento sísmico tras ensayos de laboratorio y ante eventos sísmicos.

En el Capítulo 8 se reúnen las conclusiones respecto de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de tierra y se recomiendan futuras líneas de investigación.

El Anexo agrupa la información que estará presente en la Enciclopedia Mundial de Vivienda en Áreas Sísmicas.



## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE TIERRA

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se introducen los conceptos básicos de vulnerabilidad sísmica y se describen las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de vivienda. También se propone una metodología para estimar de manera directa los daños esperados en viviendas para diferentes niveles de acción sísmica. La matriz propuesta se basa en matrices de probabilidad de daño para cuantificar en términos absolutos la vulnerabilidad sísmica (SEAOC 1995).

#### 2.2 CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se describen los conceptos básicos para analizar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones (OPS 1993):

El *Peligro Sísmico* es la probabilidad que se presente un sismo potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado. Representa el peligro latente natural asociado al fenómeno sísmico capaz de producir daños sobre las personas, bienes y el medio ambiente.

La *Vulnerabilidad Sísmica* es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos estructurales como resultado de la probable ocurrencia de un evento sísmico desastroso. Es una propiedad inherente de una estructura que puede entenderse como la predisposición de sus elementos a sufrir daño ante un determinado sismo. El daño depende de la acción sísmica y de la capacidad sismorresistente de la estructura. Entonces, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica está necesariamente vinculada a la manera como se definen la acción y el daño sísmico.

El *Riesgo Sísmico* es el grado de pérdida, destrucción o daño esperado tras la ocurrencia de un determinado sismo y se puede estimar a partir del grado de exposición de la estructura y su predisposición a ser afectada por el evento sísmico.

La diferencia entre peligro y riesgo sísmico es que el peligro se relaciona a la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico, mientras que el riesgo sísmico está relacionado con la probabilidad de que se produzca una pérdida de valor como consecuencia de un sismo.

El *Desempeño Sísmico* de una estructura es el comportamiento esperado ante diferentes niveles de sismo. El desempeño se puede cuantificar a partir de los diferentes niveles de daño que pueden ocurrir en la estructura.

#### **PROPUESTA COMITÉ VISION 2000**

El *diseño basado en el desempeño sísmico* consiste en realizar una evaluación del comportamiento sísmico que permita diseñar y construir edificaciones capaces de reflejar un desempeño predecible ante eventos sísmicos. Dentro de esta concepción destacan las recomendaciones del Comité VISION 2000 (SEAOC 1995). Estas recomendaciones se basan en dos conceptos: el nivel de amenaza y el nivel de desempeño de la edificación.

El nivel de amenaza se refiere a la cuantificación del peligro sísmico a través de niveles de severidad asociados a sismos de análisis. Estos sismos de análisis son representados por aceleraciones pico, espectros de respuesta o intensidades macro sísmicas, y se relacionan a un periodo de retorno y a una probabilidad de excedencia.

El periodo de retorno es el tiempo que transcurre entre dos movimientos sísmicos representativos del mismo nivel de severidad, mientras que la probabilidad de excedencia mide la posibilidad de que un sismo exceda un nivel determinado en un tiempo de exposición en años (SEAOC 1995). Ambos pueden relacionarse de la siguiente manera:



$$T = - t / [ \ln(1-p) ] \quad (2.1)$$

T : Período de retorno en años

p : Probabilidad de excedencia

t : Tiempo de exposición en años

La propuesta del VISION 2000 define los cuatro niveles de amenaza sísmica presentados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Niveles de movimiento sísmico recomendados por el Comité Vision 2000 del SEAOC

Nivel de amenaza sísmica	Periodo de retorno (T)	Probabilidad de excedencia (p, t)
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy Raro	970 años	10% en 100 años

Los sismos frecuentes y ocasionales poseen períodos de retorno sustancialmente menores a los sismos raros y muy raros. A cada sismo de análisis se le asocia un valor de aceleración en la base rocosa dependiendo de la sismicidad del lugar. Por ejemplo, para la ciudad de Lima, a un sismo frecuente se le asocia una aceleración de 0,2g (Sotelo 1999).

El *nivel de desempeño* describe el estado de la edificación tras una sollicitación sísmica: el daño estructural, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto.

El Comité VISION 2000 propone cuatro niveles de desempeño sísmico:

1. Completamente Operacional
2. Operacional
3. Supervivencia
4. Cerca al Colapso.

En los niveles Completamente Operacional y Operacional la funcionalidad de la estructura no se ve afectada y no existe riesgo de daño para sus ocupantes. En el nivel Supervivencia la estructura pierde operatividad, existiendo una baja probabilidad de daño a sus ocupantes. En el nivel Cerca al Colapso la estructura presenta un daño estructural severo, existiendo un alto riesgo de daño a sus ocupantes. Sin embargo, este último nivel no implica el colapso parcial o total de la estructura (Loaiza 2002). La Tabla 2.2 muestra una breve descripción de cada uno de los niveles.

Tabla 2.2 Niveles de desempeño sugeridos por el Comité Vision 2000 (SEAO 1995)

Nivel de desempeño	Estado de daño	Descripción
<b>Completamente Operacional</b>	Despreciable	Sin daño estructural. Se conserva la rigidez y resistencia. Todos los componentes estructurales operan. La edificación está disponible para su uso normal. Prácticamente no existe riesgo de daño alguno a los ocupantes del edificio durante el sismo.
<b>Operacional</b>	Ligero	Solamente pequeños daños estructurales. La estructura mantiene casi íntegramente su resistencia y rigidez. Los elementos no estructurales están seguros y los sistemas de seguridad están operables. El riesgo de daño durante el sismo es muy bajo
<b>Supervivencia</b>	Moderado	Daño estructural y no estructural importante. La estructura ha perdido una parte importante de su rigidez original, pero conserva parte de su resistencia lateral y un margen de seguridad contra el colapso. Los elementos no estructurales están seguros pero podrían no operar. El edificio puede no ser seguro antes de ser reparado. El riesgo de daño durante el sismo es bajo.
<b>Cerca al Colapso</b>	Severo	Se ha producido un daño sustancial en la estructura. La estructura ha perdido casi toda su rigidez y resistencia original y conserva sólo un pequeño margen contra el colapso. Los elementos no estructurales pueden terminar fuera de su sitio y estar en peligro de caerse. Probablemente no resulta práctico reparar la estructura.



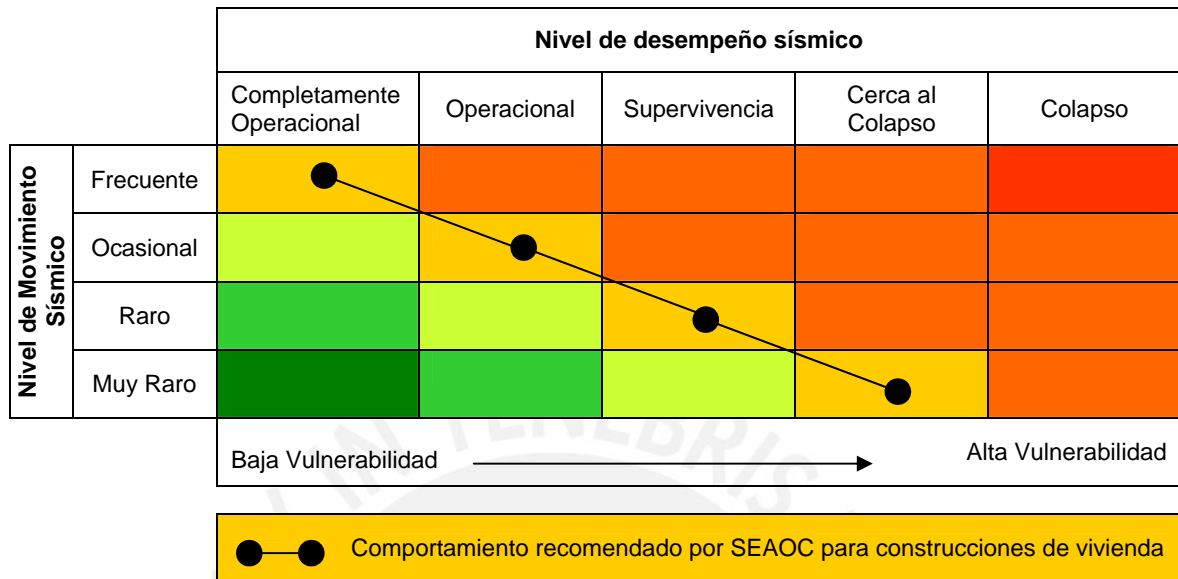
El comportamiento sísmico deseado depende directamente de la importancia del edificio. Según el SEAOC se identifican tres tipos de edificaciones: edificaciones comunes, edificaciones esenciales que deben funcionar en una emergencia y edificaciones de seguridad crítica (Muñoz 2001).

El SEAOC recomienda el comportamiento que deben tener los diversos tipos de edificaciones ante los sismos de análisis. Las edificaciones comunes como las construcciones de vivienda deben presentar un comportamiento Completamente Operacional y Operacional frente sismos frecuentes, un comportamiento de Supervivencia frente sismos raros y pueden encontrarse Cerca al Colapso frente a sismos muy raros.

Las edificaciones esenciales son las construcciones que deben estar aptas para una emergencia. Entre ellas se encuentran hospitales, cuarteles de bomberos o centrales de comunicaciones. Las edificaciones de seguridad crítica son casos especiales, como las centrales nucleares. Ambos tipos de edificaciones, debido a su importancia en casos de emergencia, deben presentar un mejor comportamiento que las edificaciones de vivienda.

La Tabla 2.3 muestra los niveles recomendados de desempeños esperados para edificaciones de acuerdo con el uso. Se señala mediante una línea continua el comportamiento esperado para edificaciones de vivienda:

Tabla 2.3 Niveles de desempeño para edificaciones



### 2.3 CLASIFICACION DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad sísmica se clasifica evaluando el probable comportamiento sísmico de la edificación, que depende de la capacidad estructural de la edificación y de las demandas sísmicas que pueden ocurrir a lo largo de la vida útil de la edificación.

La capacidad estructural puede relacionarse a la resistencia máxima, la capacidad de disipación de energía, la ductilidad y a la deformación máxima de la estructura. Por

otro lado, la demanda sísmica se refiere a la demanda de resistencia, la demanda de desplazamientos y la demanda de ductilidad.

El Factor de capacidad/demanda (C/D) muestra la relación que existe entre la capacidad límite de la estructura y la solicitación en cada nivel de sismo.

$$\text{Factor C/D} = \text{Capacidad Estructural} / \text{Demanda Sísmica} \quad (2.2)$$

Si la relación es menor que 1 se considera que la edificación no es capaz de soportar la solicitación sufriendo daños que probablemente lleven a toda la estructura al colapso. Si la relación es mayor que 1, la estructura conserva su estabilidad y los daños son aceptables.

La Figura 2.1 muestra el factor C/D para un muro analizado, representado a través de un gráfico de barras. Cada barra representa el factor C/D correspondiente a un tipo de falla posible en el muro: por flexión, por volteo y por corte ante la acción de un sismo de análisis. Cuando el factor C/D tiene un valor menor a 1, el muro presenta menor estabilidad y por ende mayor probabilidad de colapso para el tipo de falla correspondiente.

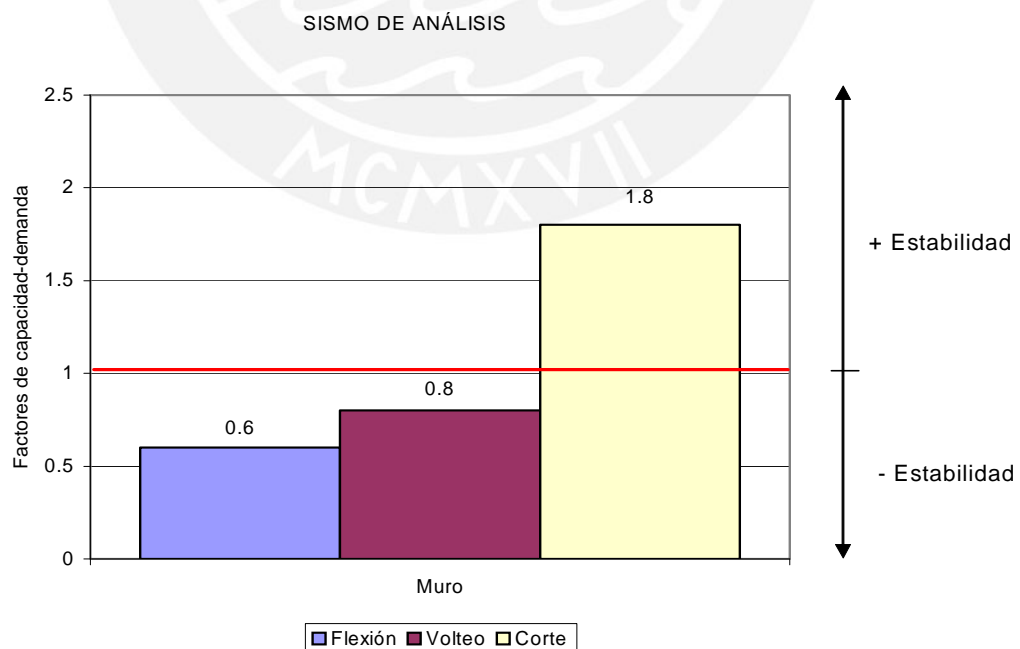


Figura 2.1 Relación del Factor Capacidad/Demanda

El resultado de la evaluación de los factores C/D de una estructura permite estimar el grado de daño de la estructura ante un determinado nivel de amenaza sísmica. Se elabora una matriz de desempeño a partir de los niveles de daño obtenidos para cada sismo de análisis. Si la matriz obtenida se encuentra dentro de los límites de la matriz de desempeño recomendado para viviendas por el SEAOC (Tabla 2.3), se revela un comportamiento adecuado de la estructura. En este caso se concluye que la vivienda tiene *baja vulnerabilidad* sísmica. De lo contrario, la vivienda tendrá *alta vulnerabilidad* sísmica, por lo cual será necesario reforzar la estructura para evitar el colapso frente a sismos frecuentes u ocasionales.

La Tabla 2.4 muestra como ejemplo la matriz de desempeño de una vivienda estudiada. Los casilleros de color amarillo representan el comportamiento esperado para edificaciones de viviendas, recomendado por el SEAOC. Los casilleros ubicados por encima de los anteriores, corresponden al comportamiento inaceptable. La vivienda estudiada, cuyo comportamiento se representa por los casilleros en azul, presenta alta vulnerabilidad.

Tabla 2.4 Ejemplo de Matriz de desempeño sísmico

		Nivel de desempeño sísmico				
		Completamente operacional	Operacional	Supervivencia	Cerca al colapso	Colapso
Nivel de Movimiento Sísmico	Frecuente					
	Ocasional					
	Raro					
	Muy raro					
		Baja Vulnerabilidad <span style="font-size: 2em;">→</span> Alta Vulnerabilidad				
			Comportamiento recomendado para edificaciones de vivienda			
			Comportamiento de una vivienda de alta vulnerabilidad			



La clasificación de vulnerabilidad basada en la matriz de desempeño puede ser contrastada con la guía de clasificación de la Enciclopedia Mundial de Vivienda basada en la Escala Macro Sísmica Europea EMS-98 (Grünthal 1998). La vulnerabilidad de las estructuras se clasifica en seis clases que van desde la A (alta vulnerabilidad) hasta la F (baja vulnerabilidad).

Las tres primeras clasificaciones, A, B, y C, representan los tipos de edificación más vulnerables (menos resistentes a sismos); e.g. Clase A - mampostería de adobe; clase B - albañilería de ladrillos ; Clase C - pórtico de concreto reforzado sin provisiones sísmicas. Las clasificaciones D y E representan edificaciones caracterizadas por tener una baja vulnerabilidad (mayor resistencia a sismos) debido a sus características inherentes y provisiones sísmicas; e.g. concreto reforzado, estructuras de acero, albañilería confinada y reforzada generalmente se clasifican en vulnerabilidad D y E. La clasificación F representa la vulnerabilidad de estructuras con un alto nivel de diseño sismo resistente (EERI 2000).

La Tabla 2.5 muestra la clasificación de vulnerabilidad según el tipo de edificación sugerida por la Enciclopedia Mundial de Vivienda:



Tabla 2.5 Clasificación de la vulnerabilidad según el tipo de edificación  
(Enciclopedia Mundial de Vivienda)

Tipo de Estructura Portante		No	Subtipos	Clasificación de Vulnerabilidad						
				A	B	C	D	E	F	
Mampostería	Muros de Piedra	1	Muros de piedra apoyados en mortero de barro o limo o sin mortero (usualmente con techo de madera)	λ						
		2	Albañilería de bloques de piedra (en mortero de limo/cemento)		-	λ	-			
	Muros de Tierra /Barro /Adobe /Apisonada	3	Muros de barro	λ						
		4	Muros de barro con elementos horizontales de madera	-	λ	-				
		5	Muros de bloques de adobe	λ						
		6	Construcción de tierra apisonada - Tapial							
	Muros de Ladrillo /bloque de arcilla	7	Albañilería de ladrillo no reforzada en mortero de barro	-	λ	-				
		8	Albañilería de ladrillo no reforzada en mortero de barro con postes verticales							
		9	Albañilería de ladrillo no reforzada en mortero de cemento con losas de concreto reforzadas		-	λ	-			
		10	Albañilería confinada de bloques/ladrillos con columnas y vigas de concreto			-	λ	-		
	Albañilería de bloques de Concreto	11	No reforzado en mortero de cal/cemento (varios sistemas de losa)			-	λ	-		
		12	Reforzado, en mortero de cemento (varios sistemas de losa)			-	λ	-		
Concreto estructural	Pórtico resistente a momentos	13	Diseñado solo para cargas de gravedad (bajo códigos de diseño antiguos sin características sísmicas)	-	-	λ	-			
		14	Diseño con características sísmicas (varios años)			-	-	λ	-	
		15	Pórtico con muros de relleno de albañilería no reforzada							
		16	Estructura de Losa plana		-	λ	-			
		17	Pórtico con elemento prefabricados							
		18	Pórtico con muros de corte de concreto – sistema mixto							
Muros de corte	19	Muros vaciados en obra				-	λ	-		
	20	Muros prefabricados		-	λ	-				
Acero	Pórtico resistente a momentos	21	Con tabiquería de mampostería de ladrillos							
		22	Con muros de concreto vaciados en obra							
23		Con tabiquería ligera								
	Pórtico atirantado	24					-	λ	-	
Estructuras de Madera	Pórtico de madera	25	Clavada		-	λ	-			
		26	Pórtico de vigas y postes			-	λ	-		
		27	Muros con mallas de bambú/carrizo y postes (caña y barro)							
		28	Pórtico con relleno de mampostería (piedra/ladrillo)							
		29	Pórtico con paneles de triplay/yeso							
		30	Pórtico con muros clavados					-	λ	-
- vulnerabilidad inferior		probable límite	λ vulnerabilidad esperada	- vulnerabilidad superior		probable límite superior				



## 2.4 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE TIERRA

El objetivo de la metodología propuesta es estimar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de tierra. Los parámetros de estudio para determinar los niveles de desempeño son los esfuerzos producidos por la demanda sísmica, los esfuerzos resistentes y los patrones de falla.

La metodología propuesta ha sido desarrollada para analizar cuatro tecnologías constructivas de viviendas de tierra: adobe de dos pisos, tapial de dos pisos, quincha de un piso y tecnología republicana. Esta metodología es aplicable a viviendas tradicionales no reforzadas y viviendas en buen estado cuya resistencia no se ha degradado.

### PROCEDIMIENTO

Los pasos desarrollados para determinar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda de tierra son los siguientes:

1. Identificar la tecnología constructiva.
2. Determinar las propiedades mecánicas de los materiales que influyen en la resistencia de la estructura.
3. Realizar el análisis sísmico de la estructura.
4. Clasificar la vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

#### 1. Identificar la tecnología constructiva

Este primer paso sirve para distinguir las propiedades de la vivienda. La vivienda se identifica de acuerdo a sus características arquitectónicas y estructurales: material que la compone, antigüedad de la construcción y número de pisos, tal como muestra la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Parámetros de identificación de las tecnologías constructivas

Tipo de vivienda	Material principal	Edad típica	Número de pisos
<b>Contemporánea de adobe</b>	Bloques de adobe	Menor de 50 años	2
<b>Tapial</b>	Bloques de tapia	Menor de 150 años	1 – 2
<b>Quincha</b>	Paneles de quincha	Menor de 200 años	1
<b>Republicana</b>	Bloques de adobe y paneles de quincha	Menor de 200 años	2

También se identifica si la vivienda ha sido diseñada de acuerdo a los parámetros de las normas técnicas para cada tecnología constructiva. Existen diferentes normas técnicas donde se establecen parámetros que contribuyen al buen comportamiento sísmico de las viviendas de adobe, tapial y quincha (Ver Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Normas técnicas peruanas según la tecnología constructiva

Tipo de vivienda	Norma técnica peruana
<b>Contemporánea de adobe</b>	Norma de diseño sismorresistente de Adobe NTE-0.80 (MTC 2000)
<b>Tapial</b>	Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento (Ottazzi 1995)
<b>Quincha</b>	Norma de Diseño y Construcción con madera (NTE-102)
<b>Republicana</b>	No existe norma específica para este tipo de vivienda, sólo para los materiales que la componen.

El objetivo del diseño de construcciones bajo los parámetros de cada norma es proyectar edificaciones que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso. Por tanto una vivienda que no cumpla con las recomendaciones de la norma correspondiente a la tecnología constructiva no garantiza un buen comportamiento sísmico.

## 2. Determinar las propiedades mecánicas de los materiales que influyen en la resistencia de los elementos estructurales.

Se determina la resistencia de los elementos estructurales de la vivienda. Para ello se recopila información de diversos ensayos realizados sobre los principales materiales

de las construcciones de tierra (bloques de adobe, bloques de tapial y paneles de quincha) .

Las características mecánicas del adobe, tapial y quincha se obtienen de ensayos realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú-LEDI (Blondet et al 1986, Otazzi 1981, Otazzi 1995 y Vargas 1978) y en la Universidad Nacional de Ingeniería-CISMID (Kuroiwa 1972 y Piqué 1992).

### 3. Realizar el análisis sísmico de las estructuras.

El análisis sísmico consiste en determinar modelos de análisis de las viviendas evaluadas sobre los cuales se aplica un sismo de análisis. Se calculan los esfuerzos actuantes y resistentes en los elementos estructurales de las viviendas estudiadas para obtener los factores de capacidad/demanda (C/D).

Los modelos sísmicos se determinan en base a las fallas típicas presentadas en eventos sísmicos pasados sobre los elementos estructurales de viviendas. La Tabla 2.8 muestra las fallas típicas para cada tecnología constructiva en estudio.

Tabla 2.8 Probables tipos de falla estructural por tecnología constructiva

Tipo de vivienda	Tipo de falla en elementos estructurales
Vivienda de adobe	Flexión Corte Volteo
Vivienda de tapial	Corte Volteo
Vivienda de quincha	Corte
Vivienda republicana	Corte

Otros tipos de falla poco comunes que podrían presentarse en los elementos estructurales (paneles, muros) son la falla a compresión o la falla por torsión. Debe verificarse en los modelos de análisis la posibilidad de que se presenten este tipo de fallas.

El sismo de análisis o nivel de amenaza sísmica se define en función de la probabilidad de excedencia durante diferentes años de exposición, la cual se selecciona de acuerdo a las recomendaciones del SEAOC (SEAOC 1995).

Los sismos de análisis varían de acuerdo a la ubicación de la vivienda. Si se pretende comparar el comportamiento de las diversas tecnologías constructivas, los modelos deben someterse a los mismos sismos de análisis. La Tabla 2.9 muestra los valores de la aceleración máxima en la base rocosa para los sismos de análisis empleados para la evaluación de las viviendas ubicadas en Lima:

Tabla 2.9 Sismos de análisis para viviendas ubicadas en Lima

Sismo de análisis	Aceleración máxima en la roca (g)
Frecuente	0,20
Ocasional	0,25
Raro	0,40
Muy Raro	0,50

Luego de aplicar el sismo de análisis sobre el modelo sísmico se calculan los esfuerzos actuantes de demanda y los esfuerzos resistentes en los elementos estructurales. La relación entre la capacidad y la demanda determinará los factores de capacidad/demanda (C/D).

#### 4. Clasificar la vulnerabilidad sísmica.

Sobre la base de los factores C/D obtenidos se estima el grado de daño de los elementos estructurales y no estructurales de la vivienda estudiada para cada sismo de análisis. De acuerdo al grado de daño se determinan los niveles de desempeño y por lo tanto la matriz de desempeño.

La vivienda tiene un nivel de desempeño completamente operacional u operacional cuando el comportamiento de la estructura permanece en el rango elástico. Si el comportamiento de la estructura ingresa al rango inelástico, cuando el factor C/D es

menor a 1, la vivienda tendrá un nivel de desempeño de supervivencia o cerca al colapso (Ver Tabla 2.10).

Finalmente, con la matriz de desempeño se clasifica el grado de vulnerabilidad de alta a baja vulnerabilidad. La clasificación determinada se verifica con la clasificación propuesta por el EERI, basada en la Escala Macrosísmica Europea.

Tabla 2.10 Descripción del daño por nivel de desempeño sobre los elementos estructurales

Nivel de desempeño	Descripción	Valor referencial
Completamente Operacional	No hay daño. Rigidez dentro del rango elástico No hay pérdida de rigidez	Factor C/D >>1
Operacional	Daño ligero Rigidez dentro del rango elástico Existe una ligera pérdida de rigidez. Agrietamiento menor de los elementos estructurales	Factor C/D >>1
Supervivencia	Daño ligero a moderado Pierde rigidez original Conserva resistencia lateral y de carga Mantiene un margen contra el colapso	Factor C/D >1
Cerca al Colapso	Daño moderado a grave Pierde rigidez y resistencia Los elementos siguen soportando cargas de gravedad No colapsa el piso pero hay deformaciones permanentes	Factor C/D <1
Colapso	Colapso parcial o total pérdida de soporte de carga de gravedad	Factor C/D <<1

La Figura 2.2 muestra el diagrama de flujo de la metodología propuesta:

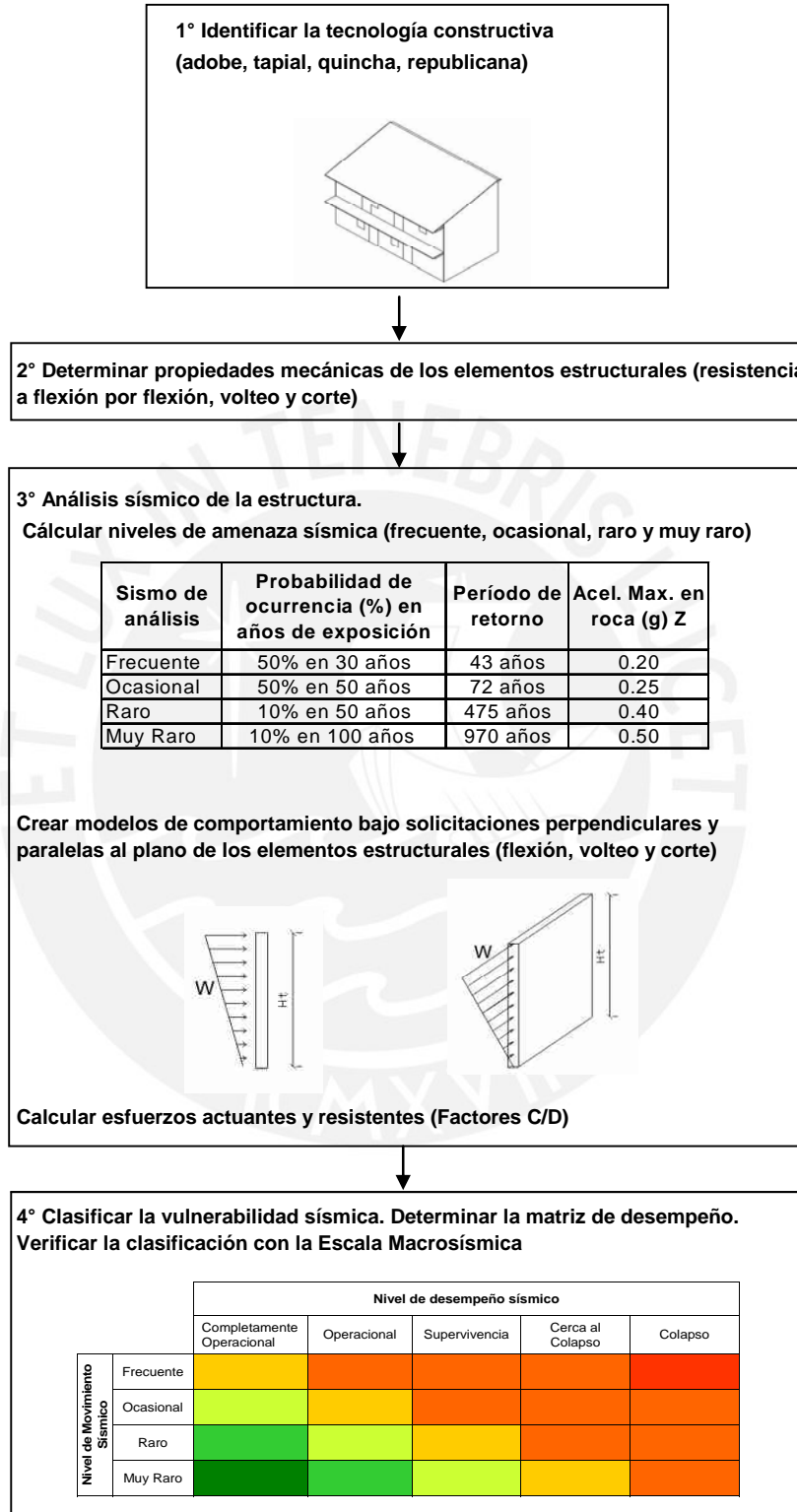


Figura 2.2 Diagrama de flujo de la metodología de análisis de vulnerabilidad sísmica



## CAPITULO 3

### TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA EN ZONAS SÍSMICAS DEL PERÚ

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las construcciones de tierra son una alternativa simple y económica para satisfacer la necesidad de vivienda de las poblaciones más pobres del Perú. Para muchos pobladores de bajos recursos económicos constituyen la única posibilidad de ser propietarios de su casa. Como se observa en la Figura 3.1 cerca de la mitad de las viviendas en el Perú son construcciones de tierra.

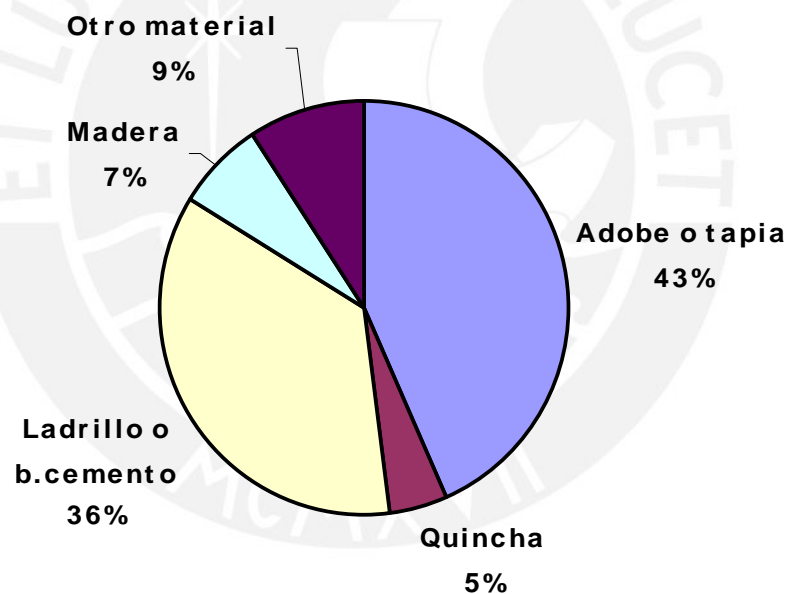


Figura 3.1 Porcentaje de viviendas según los materiales predominantes en las paredes (INEI 1993).

Las construcciones a base de tierra se originaron en la época pre-hispánica, y fueron influenciadas posteriormente por la colonización española. Esta influencia, que varía en cada ciudad, sumada a otros factores como el clima, la actividad económica y la ubicación geográfica origina una amplia diversidad de tecnologías constructivas (Carazas 2001).

Las tecnologías constructivas de tierra se diferencian entre sí por sus características estructurales, arquitectónicas y por los materiales empleados para su elaboración: la albañilería de adobe, el tapial, y la quincha.

La albañilería de adobe se construye con adobes asentados con mortero de barro. El adobe es un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos (MTC 2000).

La Figura 3.2 muestra bloques de adobe en proceso de secado:



Figura 3.2 Bloques de adobe

Una de las características del adobe es su bajo costo, ya que la materia prima principal, la tierra, es generalmente obtenida localmente en canteras cercanas a la obra. Los principales factores de riesgo para las edificaciones de adobe son los sismos y el agua (Tejada 2001).

El tapial es un tipo de construcción en base a tierra húmeda apisonada, de gran uso en nuestra serranía y segundo en importancia después del adobe. Según los pobladores, por la rapidez en su construcción y porque el adobe generalmente hay que adquirirlo, las viviendas de tapial resultan ser 3 veces más económicas que las de adobe (ININVI 1989).

La Figura 3.3 muestra la construcción de un muro de tapial:





Figura 3.3 Muro de tapial

Por su gran masa, por las fisuras producidas por la contracción de secado, por la debilidad de sus juntas de construcción y por la pobre conexión entre muros ortogonales, el tapial resulta vulnerable a las acciones sísmicas (ININVI 1989).

La quincha tradicional consiste en marcos rectangulares de madera, asegurados con travesaños y rellenos con cañas. Usualmente se aplica sobre éstas un revestimiento de barro y paja, sobre el cual se puede colocar un acabado final del propio barro o una capa de yeso (Tejada 2001).

La Figura 3.4 muestra una vista frontal de un muro de quincha.



Figura 3.4 Muro de quincha

En Lima y en muchas ciudades principales del interior del país puede observarse todavía un apreciable número de edificios antiguos, muchos de ellos monumentos

arquitectónicos o históricos, cuyas plantas bajas están construidas con adobe y los pisos altos con quincha. Estos edificios, en su mayoría muy deteriorados, han soportado muchos sismos severos, lo cual es un indicador del buen comportamiento estructural de la quincha (Tejada 2001).

En esta investigación se estudian cuatro tecnologías constructivas de tierra en el Perú: adobe contemporáneo, tapial, quincha y tecnología republicana (adobe y quincha).

Las características de las cuatro tecnologías constructivas que se presentan resumen la información obtenida en visitas realizadas a las ciudades de Ayacucho, Cusco, Etén, Lima, Pacasmayo y Huancayo. También se incluye información de los estudios de viviendas de tapial y adobe en el Callejón de Conchucos en Ancash y en el Valle del Mantaro en Junín (ININVI 1989 y Vildoso et al. 1984) y de estudios de las viviendas de quincha en el Perú (ININVI 1989).

### 3.2 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CONTEMPORÁNEAS DE ADOBE

Las construcciones de adobe tienen excelentes propiedades térmicas y acústicas, que las hacen apropiadas para zonas con climas severos donde se dan amplias variaciones de temperatura.

Los pobladores de escasos recursos eligen estas construcciones por ser una propuesta económica y con posibilidades de autoconstrucción. Sin embargo, las viviendas de adobe han resultado ser la tipología de vivienda que ha cobrado el mayor número de víctimas causadas por terremotos (Kuroiwa 2002).

El origen de las viviendas de adobe en la zona andina se remonta a épocas prehispánicas, en aldeas limitadas a la ciudad urbana por muros perimetrales. La vivienda de adobe de dos pisos evoluciona en la época hispano-colonial hace más de 200 años, desde casas de dimensiones reducidas a casas con patio y mayor espacio (Carazas 2001).

En la actualidad la mayoría de las viviendas que circundan el centro urbano de las ciudades de Cusco y Ayacucho son construcciones informales con una antigüedad menor de 50 años. Su crecimiento no fue planificado por las instituciones locales. Se

asientan sobre laderas que fueron tierras de cultivo luego invadidas por los que ahora son sus pobladores (Figuras 3.5a y 3.5b). Tras ordenanzas urbanas, también existen viviendas en urbanizaciones de carácter asociativo, cooperativo o privado, cuyo crecimiento si fue planificado, facilitando la instalación de servicios básicos.



Figura 3.5 Panorámicas de (a) Cusco y (b) Ayacucho, Viviendas de adobe de dos pisos asentadas en laderas circundantes.

Las viviendas de adobe de dos pisos presentan plantas en forma rectangular, en forma de C o L, albergando en su parte interior a un pequeño patio o a un terreno de cultivo, como se observa en las Figuras 3.6a y 3.6b



Figura 3.6 Vivienda con planta en forma de C: (a) Foto interior y (b) esquema en planta.

En general, en el primer nivel se encuentran la sala, el comedor y a veces una habitación que se usa como tienda. En el segundo nivel se encuentran las

habitaciones. En su mayoría la cocina y los servicios higiénicos se encuentran en módulos independientes a la vivienda de dos pisos.

Las habitaciones no se conectan interiormente. Cada habitación tiene su propia entrada que se conecta a un pasillo. La conexión entre los niveles es por una escalera exterior y un pasillo (Ver Figura 3.6). La escalera exterior puede ser de madera o de concreto, de uno o dos tramos. El pasillo es una plataforma de madera y rollizo con un ancho de 1,00 m a 1,50 m.

La construcción comienza en la estación seca (mayo), para terminar antes de la estación de lluvias (setiembre). Es común que la construcción sea realizada por el propietario del terreno con la ayuda de su familia, o de lo contrario por un maestro.

No todos los suelos son adecuados para elaborar los adobes. El suelo ideal debe ser limpio, sin piedras de gran tamaño, con una cantidad regular de arcilla, gravilla y la menor cantidad posible de arena (Tejada 2001). Sin embargo, es común que los pobladores utilicen el suelo del terreno donde van a construir la vivienda, lo cual disminuye la calidad de los adobes debido al alto contenido orgánico.

Para elaborar el adobe se mezcla barro con paja en una proporción de 1 parte de paja por 8 de barro y agua en cantidad necesaria. Se deja reposar la mezcla por 2 días. Entonces, se moldean ladrillos cuyas dimensiones son aproximadamente de 40 x 19 x 10 cm (Gutierrez y Manco 2005). A veces se usan gaveras espolvoreadas con arena para evitar que la mezcla se adhiera. Luego los adobes son secados por 2 semanas al aire libre. De allí la importancia de iniciar la construcción en una época seca para evitar que los bloques se dañen por acción del agua.

La cimentación de las viviendas es corrida y está compuesta de una mezcla de piedras grandes, barro y piedras medianas. El sobrecimiento se construye de piedra mediana y barro para luego levantar los muros de adobe de igual espesor. En las viviendas que no presentan sobrecimientos, el muro se construye directamente sobre el cimiento, exponiéndose a la humedad. El piso del primer nivel puede ser de viguetas de madera fijadas al suelo con estacas de madera y piedra, o ser un falso piso de hormigón o de tierra compacta.



Los bloques de adobe se pueden colocar de soga con los bloques en sentido longitudinal, o de cabeza colocando los adobes en sentido transversal. La forma más usada es la de soga, pues así el muro es más liviano, ocupa menos espacio y se emplea menos material. Sin embargo, al ser más liviano el muro tiene menor estabilidad. Las juntas son de barro y paja, generalmente en la proporción 1:3, de 2cm de espesor aproximadamente. La Figura 3.7 muestra el diagrama de flujo del levantamiento de los muros de adobe:

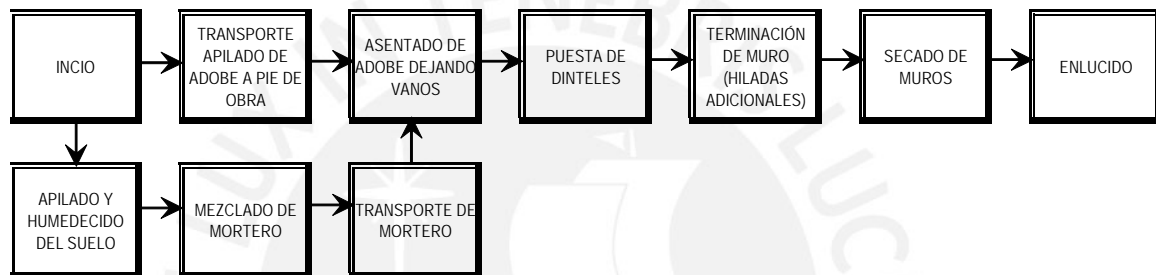


Figura 3.7 Diagrama de flujo de levantamiento de muros de adobe (Volker 1981).

Usualmente la madera utilizada en marcos, dinteles y vigas es el eucalipto. En la parte superior de los vanos se colocan dinteles de alrededor de 4" sobre los que se asientan los bloques de adobe. Una vez en el nivel del entrepiso, se dejan orificios para apoyar los vigas del entrepiso. El cielo raso es de carrizo partido el cual se une con alambre al entablado del entrepiso y se reviste con yeso.

La Figura 3.8 muestra los elementos principales que componen una vivienda de adobe de dos pisos.

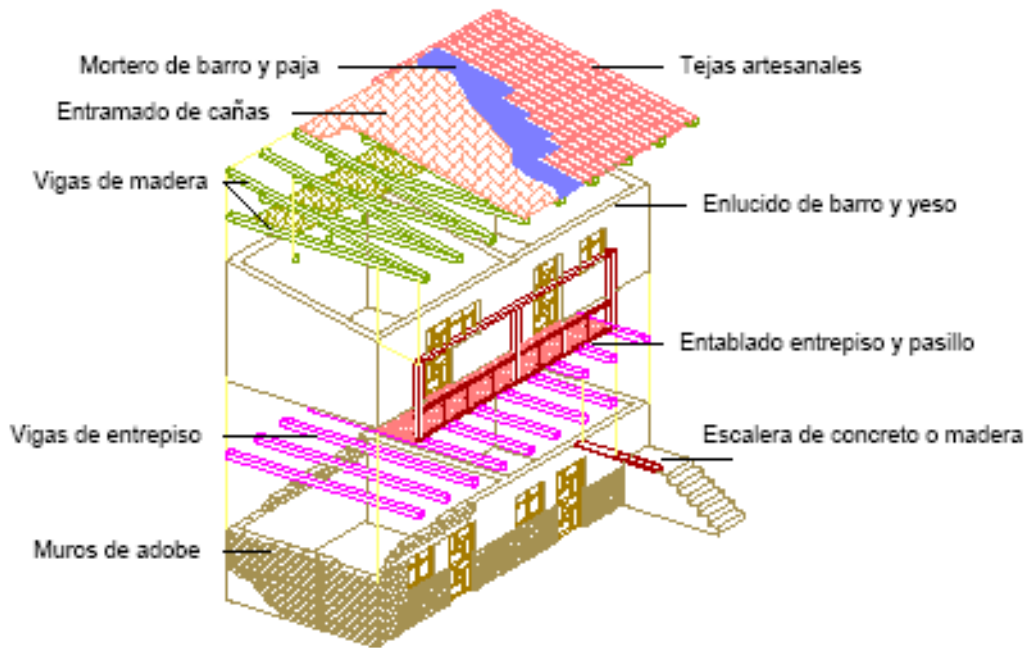


Figura 3.8 Estructura de la vivienda de adobe de dos pisos

Se continúa con la construcción de los muro hasta el tímpano. Construidos todos los tímpanos, se colocan sobre los muros los rollizos del techo, sobre el que se apoya el tejido de cañas amarradas con alambre a los rollizos. Encima del tejido se coloca una torta de barro y paja. Finalmente se colocan las tejas de arcilla (Ver Figuras 3.9a y 3.9b).



(a)



(b)

Figura 3.9 (a) Elaboración del entpiso (b) Elaboración del techo.

La forma del techo depende de la topografía. Cuando la vivienda se encuentra en el borde de una ladera o se encuentra en la parte posterior del terreno, el techo es de una sola agua, de lo contrario el techo es de dos aguas.

Las Figuras 3.10a y 3.10b muestran dos viviendas de adobe con techo a una sola agua y arriostramiento vertical.



(a)



(b)

Figura 3.10 (a) Vivienda con techo de una sola agua y (b) Vivienda con arriostramiento vertical.

En la mayoría de viviendas no se usan refuerzos exteriores ni interiores en los muros, ni vigas soleras que los conecten. En poblados alejados a la ciudad se utilizan mochetas como arrioste vertical.

Las viviendas con acabados presentan revoques de yeso o de mortero de tierra más paja, y pintura sintética o tradicional (yeso, resina de cactus y óxidos colorantes).

### 3.3 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE TAPIAL

El tapial es la segunda tecnología de construcción de tierra más usada en nuestro país (San Bartolomé 2002). Al igual que el adobe, sus propiedades lo hacen adecuado para alturas andinas, con la ventaja que el tapial permite levantar directamente los muros in situ sin fabricación previa de los elementos constructivos. La técnica del tapial consiste en compactar capas de tierra húmeda dentro de un encofrado. A pesar de ser una alternativa económica, esta tecnología no facilita la autoconstrucción ya que se necesita de un maestro especializado para su elaboración.

El año 1890 se señala como el inicio de la transformación de la vivienda en el Valle del Mantaro. Tras las primeras siembras de eucalipto en el año 1860 se abarató el precio de la construcción de casas, lo que a su vez permitió el uso cada vez mayor de la teja y el tapial (Vildoso et al. 1984). Por ello, la mayoría de viviendas ubicadas en zonas agrícolas del Valle del Mantaro son viviendas de tapial de uno o dos pisos.

En la Figura 3.11 se observa la vertiente oriental del valle donde abundan las viviendas de tapial. Estas viviendas no son construcciones informales pues muchas de ellas cuentan con licencias de construcción y sus habitantes son propietarios o inquilinos.



Figura 3.11 Vista panorámica de viviendas de tapial asentadas sobre el valle del Mantaro - Junín

Las viviendas de tapial son de uno o dos pisos. La planta puede ser rectangular en forma de L o C, albergando una pequeña plazoleta o un pequeño terreno de cultivo como se observa en las Figuras 3.12 y 3.13.



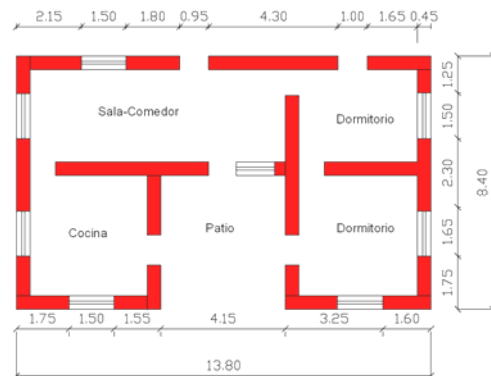


Figura3.12 Viviendas de tapial con planta en forma de C con patio exterior

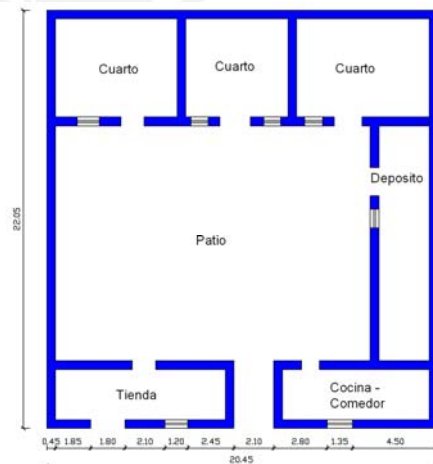


Figura 3.13 Vivienda de tapial con planta en forma de C con patio interior

La distribución de los espacios dentro de una vivienda de tapial es muy similar a la de una vivienda de adobe. Las habitaciones tienen puertas propias que se conectan a un patio o a un corredor. En el caso de las vivienda de dos pisos, los pisos se conectan por un corredor y una escalera exterior, donde el corredor es una plataforma de madera y rollizo con un ancho de 1,00 m a 1,50 m.

La mano de obra para este tipo de construcción depende de la condición económica de los propietarios. Si el propietario cuenta con el ingreso suficiente, prefiere el pago de mano de obra de maestros tapieros. En cambio, en lugares con dedicación



agrícola, donde los ingresos económicos son bajos, la construcción tiende a ser comunal. La cuadrilla básica se compone de un maestro y su ayudante.

La técnica del tapial consiste en compactar capas de tierra húmeda dentro de un encofrado hasta llenarlo. Posteriormente se puede desmoldar el encofrado y colocarlo de nuevo encima de la tapia ya hecha.

Los cimientos son corridos y se componen de una mezcla de capas de piedras grandes y barro (pirca). Si se construye sobrecimiento, éste también es de pirca con piedras medianas (Ver Figura 3.17a).

Los maestros tapieros experimentados tienen nociones acerca del suelo apropiado para la construcción del tapial. Para elegir un suelo medio arenoso que no contenga mucha piedra ni arcilla realizan una prueba de campo que consiste en coger un puñado de tierra húmeda. Si el suelo es el apropiado, luego de empuñar el suelo húmedo este no debe disgregarse sino debe quedar compactado.

Para construir los tapiales el suelo se mezcla con paja y agua. La cantidad de agua depende del criterio del tapiero. A veces se verifica la humedad con una prueba de campo que consiste en formar una bola de la mezcla y dejarla caer desde un metro de altura. Si la bola no se rompe, es que tiene mucha agua. Si se desmenuza, es porque le falta agua, y si se rompe en trozos grandes se debe a que la humedad es adecuada (Vildoso et al. 1984).

Para la compactación del suelo se preparan gaveras de 1,50 a 1,80 m de largo, aproximadamente 0,40m de ancho y de 0,60 a 0,70m. de alto. Se verifica la verticalidad de la gavera con la plomada, se limpia el interior y se rellena con suelo húmedo hasta completar una capa de tierra. El maestro tapiero compacta el suelo con un pisón hasta obtener una superficie dura en la cual el mazo no penetre más (ININVI 1989). Este procedimiento se repite sucesivamente hasta llenar la gavera de suelo compactado formándose 4 capas de suelo compactado de 0,10m a 0,15m de altura en el caso de una gavera de 0,50 m. de alto. Para aplanar la última capa, el tapiero golpea la tierra con el canto del pisón. A veces se echan 5 puñados de ceniza a la tierra para evitar que se adhiera al pisón. Se necesitan de 20 a 30 minutos para

elaborar una tapia bien compactada (Vildoso et al. 1984). La Figura 3.14 muestra el diagrama de flujo del levantamiento de un muro de tapial:

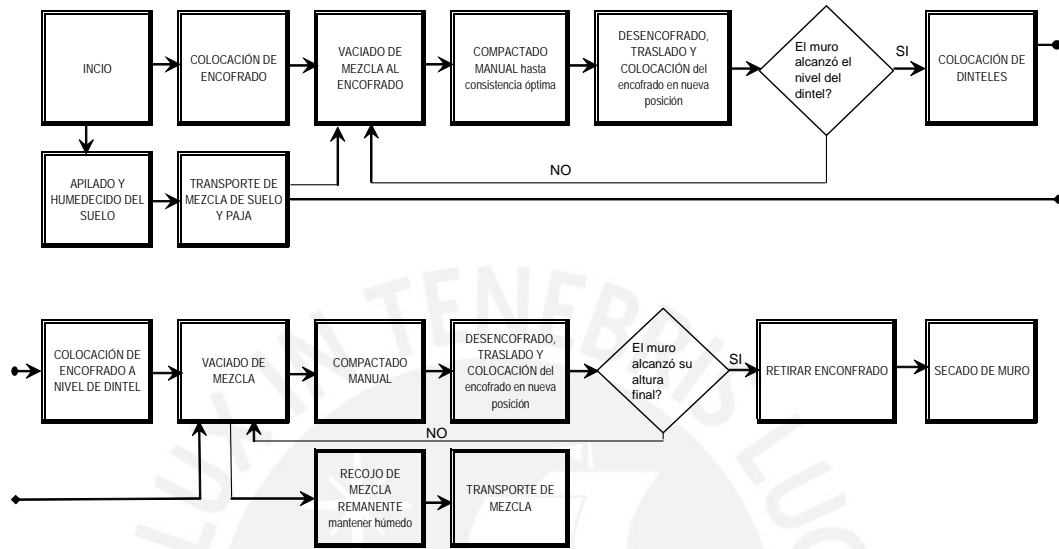


Figura 3.14 Diagrama de flujo de levantamiento de muro tapial (Volker 1981)

Terminada la elaboración de un tapial se retira la gavera, para colocarla al costado y construir un nuevo tapial. Para la construcción de una nueva hilada de tapial, se espera unos 8 días para que seque la primera hilada y de 3-4 días si se trata de una hilada superior (ININVI 1989) De esta manera los tapias son interconectados por presión sin el uso de juntas horizontales ni verticales (Ver Figuras 3.15a y 3.15b).



(a)



(b)

Figura 3.15 (a) Construcción de muro de tapial y (b) Muro de tapial

Para construir los vanos, se rellena el tapial con adobes durante su construcción o se construye con tapial poco compactado para luego ser removido, o también se deja el espacio libre. Para colocar los dinteles se perforan unos agujeros en el tapial. Así mismo, una vez en el nivel del entrepiso, se dejan orificios para pasar los rollizos del segundo nivel. La Figura 3.16 muestra los elementos principales que conforman una vivienda de tapial:

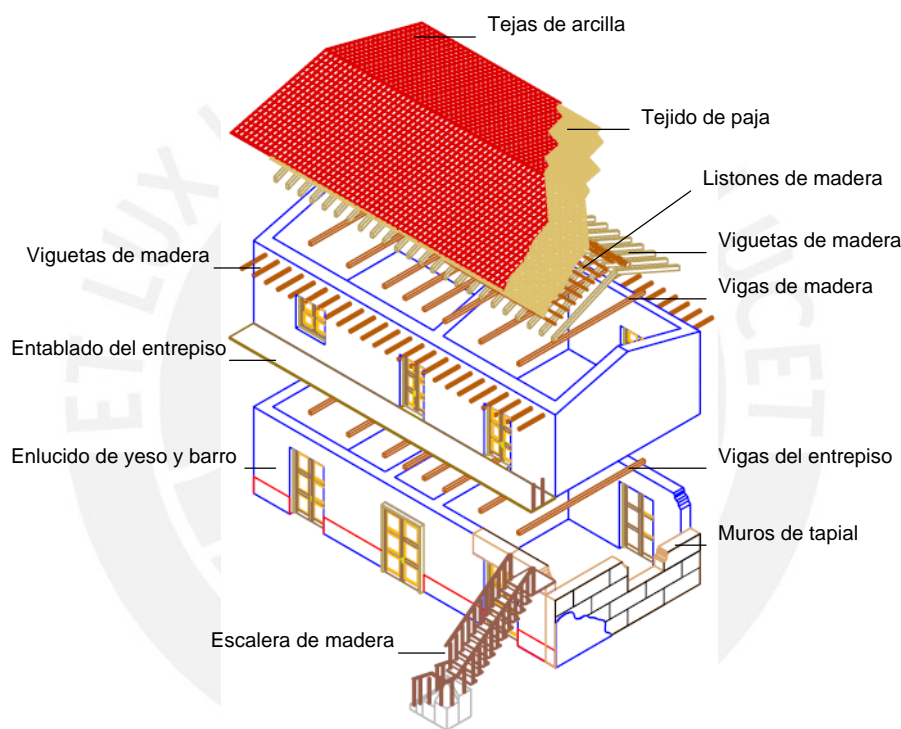


Figura 3.16 Estructura de una vivienda de tapial

Para construir el tímpano se compacta la tierra dándole la forma inclinada del techo o se rellena con adobes. Sobre los tímpanos se coloca la cumbrera que soporta las vigas del techo. Sobre la cumbrera se apoyan los listones que sostienen un tejido de paja amarradas con alambre a las vigas (Ver Figura 3.17b). Encima del tejido se coloca una torta de barro para asentar tejas de arcilla. La pendiente del techo es en promedio  $15^\circ$  si es de una sola agua y de  $23^\circ$  si es de dos aguas.





(a)



(b)

Figura 3.17 (a) Sobrecimiento de pirca y (b) estructura del techo a dos aguas

El piso del primer nivel se compone de tablones de madera apoyados sobre el suelo compactado o un falso piso de concreto. El piso del segundo nivel es el entrepiso compuesto de vigas de troncos de eucalipto sobre los cuales se coloca un entablado.

No se usan soleras, ni refuerzos internos en los muros. Sin embargo, se acostumbra el uso del eucalipto dentro de cada tapia, no como refuerzo estructural, pero sí para atenuar la fisuración por contracción de secado (ININVI 1989). Las viviendas con acabados presentan revoques de mortero de tierra más paja, de yeso o de cemento.

### 3.4 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE QUINCHA

La quincha es un sistema de construcción muy liviano comparado con otros sistemas comúnmente empleados en el país. Presenta gran flexibilidad y ligereza, lo que la hace idónea para zonas de constante actividad sísmica donde se requiere que la estructura no sea tan pesada. Además, la quincha posee condiciones térmicas satisfactorias. Esta tecnología ha logrado un gran desarrollo a lo largo del tiempo en la zona costera de nuestro país, siendo utilizada inicialmente por la población rural de escasos recursos y luego, con una tecnología mejorada, por la población urbana (ININVI 1989).



En la actualidad la mayoría de viviendas elaboradas con quincha se pueden apreciar en el centro de las ciudades costeras, especialmente en los departamentos de Lima, La Libertad, Lambayeque y Piura. La antigüedad de estas construcciones puede ser en algunos casos mayor a 100 años. Si bien esta tecnología no forma parte importante de la tecnología constructiva actual, representa un porcentaje importante de las viviendas habitadas por nuestra población rural y urbana.

En las Figuras 3.18a y 3.18b se observan viviendas de quincha en dos ciudades de la costa norte de nuestro país (Lambayeque y La Libertad) donde abundan este tipo de construcciones de un solo piso. Estas viviendas tienen antigüedades mayores a los 50 años y su arquitectura es muy simple.



(a)



(b)

Figura 3.18 Viviendas de quincha en (a) Lambayeque y (b) La Libertad

Estas viviendas se caracterizan por tener la planta de forma rectangular y por tener una fachada estrecha en comparación de la dimensión lateral. Esta forma influye en la distribución típica. Así, la sala se encuentra al ingreso de la vivienda, luego se ubican los dormitorios, que colindan en la parte posterior de la vivienda con la cocina, el comedor, los servicios higiénicos y el patio. Usualmente los ambientes se conectan a través de un pasadizo angosto y largo que comienza en la fachada y termina en la parte posterior. Por lo general este pasadizo divide la planta de forma simétrica (Ver Figura 3.19).

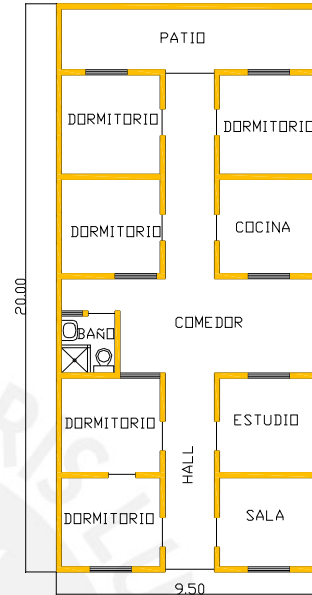


Figura 3.19 Vivienda característica de planta rectangular simétrica

Los techos son ligeramente inclinados hacia la fachada o el patio posterior pero nunca hacia los costados. La altura al punto más alto de la viviendas de 3,00 a 3,70 m.

La tecnología constructiva de quincha se basa en el uso de marcos de madera rellenos con trenzados de cañas y revestidos con una mezcla de barro, cal y agua o con cal y arena. También se utiliza yeso.

A pesar de que en un principio la quincha fue exclusiva de las zonas rurales donde se utilizaban rollizos de madera en estado natural y muros sin revestimientos, la quincha requiere de una mano de obra calificada que pueda trabajar con madera y preparar los paneles.

La Figura 3.20 muestra el diagrama de flujo del levantamiento de un muro de quincha:

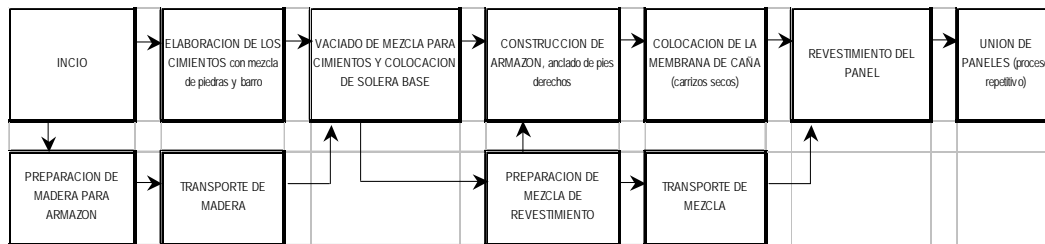


Fig 3.20 Diagrama de flujo de levantamiento de muro de quincha

Los cimientos con una profundidad mínima de 0,40 m están formados por piedras unidas con morteros de cal. Sobre los cimientos se levantan los armazones de madera que conforman los paneles de quincha. Cada armazón está compuesto de elementos horizontales y verticales. La Figura 3.21 muestra los elementos de un panel de quincha.

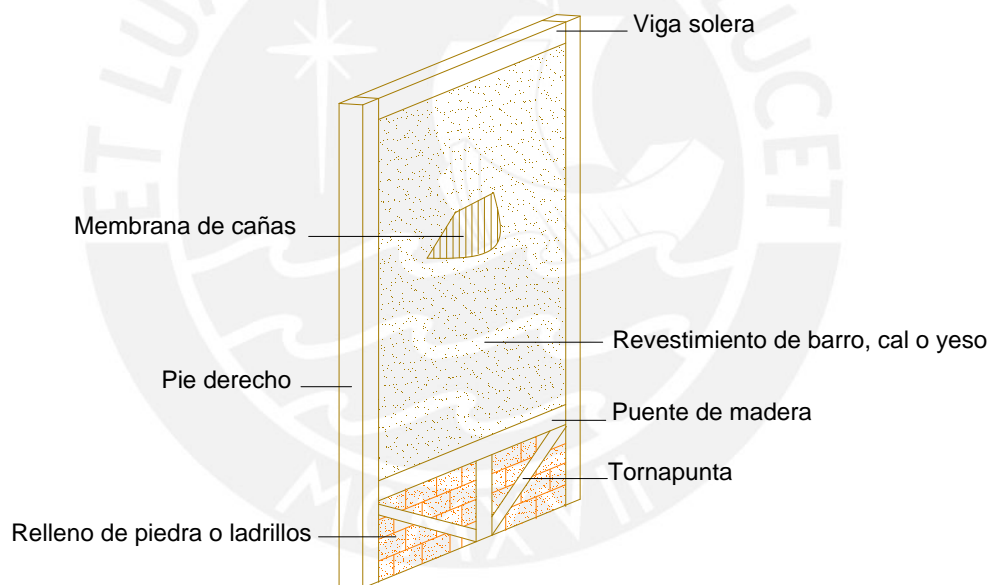


Figura 3.21 Elementos del panel de quincha

Los elementos horizontales son las vigas soleras y los puentes además, los elementos inclinados se denominan tornapuntas. Las vigas soleras en la parte inferior conforman la base del armazón y en la parte superior sirven de apoyo al techo de madera.

Cerca de las soleras inferiores se ubican los puentes que se unen a los tornapuntas y en conjunto arriostran a los paneles. Los espacios entre tornapuntas y puentes se rellenan con ladrillos o adobes para darle mayor rigidez a los paneles.

Los elementos verticales, denominados pies derechos, van anclados directamente a los cimientos formando paneles de dimensiones semejantes. Por lo general el ancho de estos paneles no sobrepasa de 1,20 m. Cuando los pies de derechos se encuentran fijos al suelo se vacía la mezcla de mortero de cal y piedras que conforma el sobrecimiento. La altura mínima de sobrecimiento es de 0,20m.

Después de colocar el armazón de madera, éste se rellena con una membrana de cañas. Tal como muestra la Figura 3.22, la membrana de caña usualmente puede colocarse de tres maneras: tejida, amarrada o clavada.



Figura 3.22 Membranas de caña

Luego de colocada la membrana de caña, los muros se revisten con una mezcla de barro y paja o barro con cal y arena. En algunas ocasiones, dependiendo del estatus de los habitantes de la vivienda, los muros se revisten con yeso. El espesor de los muros varía de 0,10 a 0,20 m.

Por lo general los muros laterales carecen de vanos. Sobre los muros se apoyan viguetas de 2" x 10" separadas a 0,50 m sobre las que se coloca un techo compuesto de un entablado recubierto por una torta de barro de 40 a 50 mm. El techo es de muy poca pendiente y se une a los muros de quincha mediante una viga solera de grandes dimensiones. Esta viga solera se clava directamente a los muros y al techo generando una sola estructura. En la parte superior de los techos se colocan tejas planas asentadas a una torta de barro.

La figura 3.23 muestra los elementos principales que conforman una vivienda de quincha:



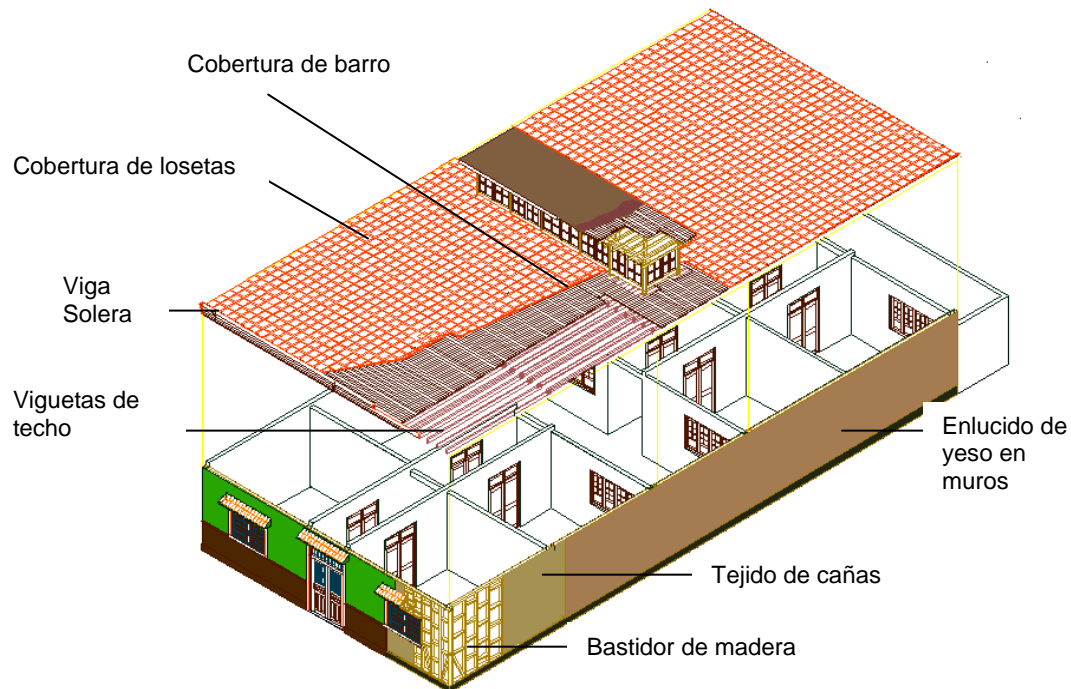


Fig. 3.23 Estructura de una vivienda de quincha

Las viviendas de quincha no llevan ningún tipo de refuerzo. Desde hace muchos años se conoce del eficiente comportamiento estructural de la quincha. Se sabe que al ser un elemento tan ligero, los muros transmiten cargas menores al suelo que las transmitidas por los muros de otras tecnologías (Tejada 2001).

### 3.5 CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS REPUBLICANAS

Las construcciones republicanas representan una mezcla de dos tipologías ya estudiadas: el adobe y la quincha. Si bien esta técnica se desarrolló hace cientos de años, las construcciones que aún se pueden observar pertenecen a la época de La República. La mayoría de estas viviendas tienen más de 100 años de antigüedad y se ubican en gran parte de las zonas urbanas costeñas del Perú.

En Lima y en otras ciudades principales al interior del país se observa un número apreciable de edificios antiguos, muchos de ellos catalogados como monumentos históricos por el Instituto Nacional de Cultura (INC).

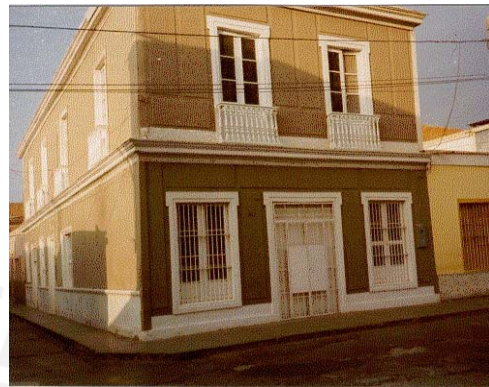
En su mayoría, las viviendas republicanas se ubican en la costa de nuestro país. Como se muestra en las Figuras 3.24a y 3.24b estas viviendas presentan un mejor



nivel de acabado que las viviendas de adobe, tapial y quincha. Por ello, requieren para su elaboración mayor tiempo, cuidado y mano de obra calificada.



(a)



(b)

Figura 3.24 Vivienda Republicana en (a) Lima y (b) La Libertad

Las viviendas republicanas eran construidas por familias de un alto nivel socioeconómico. Debido a que estos sectores han reemplazado esta tecnología constructiva por albañilería de arcilla o concreto, no es usual que se construyan viviendas republicanas en la actualidad. La mayoría de estos edificios se encuentran muy deteriorados. Sin embargo, desde su construcción han soportado sismos moderados.

La Figura 3.25 muestra la estructura de una vivienda republicana:



- ① Muro de quincha
- ② Zona de transición quincha – adobe
- ③ Muro de adobe

Figura 3.25 Estructura de una vivienda Republicana



En el primer piso de la vivienda republicana se encuentran la zona social y servicios básicos como la sala, el comedor, cocina y baños. En el segundo piso se ubican los dormitorios, los cuales se conectan a través de un pasadizo interno. El primer y el segundo nivel se conectan por una o más escaleras de madera de 1,00 m de ancho aproximadamente.

Generalmente los muros del primer piso son de adobe pues se consideraba que el adobe era el material más resistente para soportar al techo, al brindar una sensación de mayor rigidez. Los muros de los niveles superiores son de quincha debido a que la quincha demostró tener un comportamiento bueno frente a sismos pasados. La quincha también se utiliza en mamparas y tabiquería divisoria de habitaciones (ININVI 1989).

Los muros del primer piso presentan una altura que varía entre los 2,5 a 2,8m, mientras que los muros de los niveles superiores varían entre los 2,8 a 3,2m de altura (Tejada 2001).

El procedimiento constructivo para este tipo de viviendas es muy similar al presentado para las viviendas de adobe y quincha. Los cimientos están formados por una mezcla de piedra con morteros de cal o barro. Su ancho depende del muro que se apoya encima. Estos muros son bastante gruesos entre 0,40 y 0,60 m de ancho y están elaborados bajo las mismas técnicas descritas anteriormente.

En la unión de los muros de adobe del primer piso y los de quincha del segundo piso se genera una zona de transición. Como se muestra en la Figura 3.26 la parte inferior de los paneles de quincha está rellena con pedazos de adobes o ladrillos, que generan una franja de nexo estructural con características mixtas, sin ser tan pesada ni rígida como los muros de adobe ni tan ligera y flexible como los de quincha. Con esto se logra una secuencia que va desde el primer piso al segundo de mayor a menor densidad y rigidez y de menor a mayor ligereza y elasticidad (ININVI 1989).



Figura 3.26 Zona de Transición entre muros de adobe y quincha

Para construir la segunda planta con paneles de quincha se clava una viga solera en las vigas del techo del primer piso. Sobre esta solera se clavan los pies derechos que son arriostrados en su parte inferior por unos elementos horizontales denominados puentes. Como muestra la Figura 3.27 en la parte superior del panel se ubican vigas soleras o “carreras”, elementos horizontales que sirven de base para la colocación de las vigas del techo. Sobre estas “carreras” se colocan, como remates, bloques de adobe que sirven de base para la torta de barro del techo.

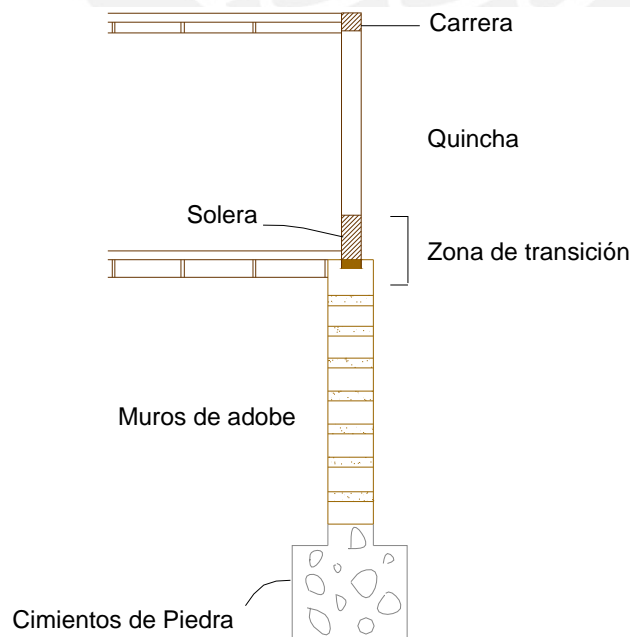


Figura 3.27 Sección de un muro típico de la vivienda republicana



Es importante resaltar que la adición de soleras en la parte superior de los muros de adobe les da arrostamiento, conformando así los muros de quincha, complemento de los pesados muros de adobes (ININVI 1989).

Los techos son horizontales por la escasa presencia de lluvias. La estructura de los techos y de los entrepisos se conforma de viguetas de madera con un entablado del mismo material. Comúnmente se colocaba sobre el entablado una torta de barro o cemento y losetas para darle acabado al piso (Ver Figura 3.28).

Una característica propia de estas viviendas es el acabado que presentan sus fachadas con elaborados balcones. Debido a que estas viviendas eran ocupadas por familias de clase social alta, los balcones representaban una ornamentación con signos de ostentidad.



(a)

(b)

Figura 3.28 (a) Entrepiso de madera y (b) balcón de madera

Las viviendas republicanas no presentan refuerzos internos o externos, ya que se tiene por un lado imponentes muros de adobe en los primeros pisos y ligeros y flexibles muros de quincha en los segundos pisos que permiten un mejor comportamiento de las viviendas ante los efectos sísmicos.

## CAPÍTULO 4

### PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

Los materiales utilizados en las construcciones de tierra dependen de su disponibilidad regional y de la condición económica de los pobladores. La tecnología constructiva en los centros urbanos presenta mayores variaciones respecto a la tecnología constructiva autóctona, por ejemplo en el uso de planchas corrugadas de metal y asbesto cemento para techados, marcos de ventanas de fierro, enlucidos de mortero de cemento, entre otros. En este capítulo se describen las propiedades de los materiales básicos que componen los muros de las diferentes tecnologías constructivas estudiadas: adobe, tapial y quincha.

Las propiedades de los materiales dependen de su procedencia ya sea del suelo o de la madera. Estas propiedades son medidas por diversos ensayos: corte, flexión, volteo, entre otros.

#### 4.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE

El adobe es un bloque macizo de tierra sin cocer que puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos. El suelo ideal contiene proporciones adecuadas de gravilla, arena (de 55 a 75%) y arcilla (de 25 a 45%), mantiene un bajo nivel de sales y no presenta materia orgánica que degrade la resistencia final. Es usual la elaboración de los adobes con el suelo del terreno sobre el que se va a construir. En su mayoría, éstos son suelos de chacra con alto contenido de materia orgánica (Tejada 2001).

Por ejemplo un adobe de Cusco y uno de Lima presentan comportamiento mecánico distinto ya que provienen de suelos distintos. El comportamiento mecánico de los muros



de adobe es sumamente frágil, ya que carecen de capacidad de deformación en el rango inelástico. Esto sumado a la poca resistencia en tracción y reducida adherencia entre el adobe y el mortero, produce que las fallas más comunes en los muros de adobe se den por fuerzas sísmicas horizontales.

Para poder determinar la resistencia de los muros de adobe se realizan diversos ensayos, los que presentan algunas complicaciones por la fragilidad del adobe lo que genera que en la mayoría de casos se presenten dispersiones en los resultados. Lo óptimo es obtener de diversos ensayos un rango de valores o un valor promedio con el que sea posible trabajar.

### Resistencia al corte

Uno de los ensayos empleados que produce esfuerzos cortantes similares a los que se origina en un muro ante la acción de cargas paralelas a su plano, es el ensayo de compresión diagonal. Con los resultados de este ensayo se calcula la resistencia al corte.

El ensayo utiliza muretes de adobe de forma cuadrada formado por bloques de adobe y capas de mortero. La carga  $P$  se aplica sobre una de las diagonales del muro, como se muestra en la Figura 4.1. Esta carga genera efectos de compresión en el muro en el sentido en que se aplica la fuerza y efectos de tracción en el sentido perpendicular.

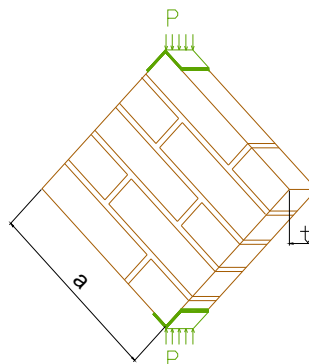


Figura 4.1 Ensayo de compresión diagonal

El ensayo también se puede realizar en muros a escala natural lo que permite obtener resultados que se pueden ajustar a los de los ensayos de muretes. En la Figura 4.2 se observan los resultados de ensayos de compresión diagonal realizados sobre muretes mostrándose una relación casi lineal entre los esfuerzos axiales y los esfuerzos de corte resultantes (Vargas y Blondet 1978).

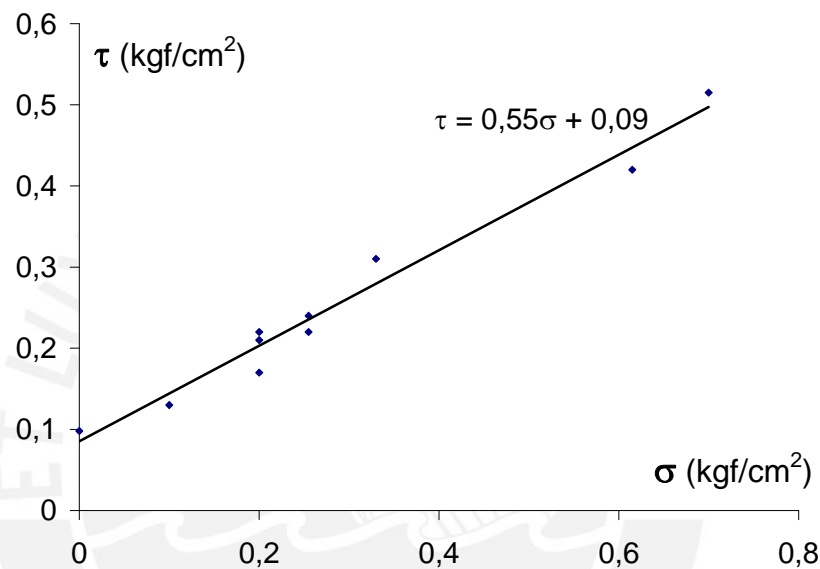


Figura 4.2 Resultados de ensayos de compresión diagonal (Vargas y Blondet 1978)

A partir del ajuste lineal mostrado en la figura anterior se obtiene la ecuación 4.1 que relaciona los esfuerzos axiales y de corte para muros sometidos a cargas axiales:

$$\tau = 0,09 + 0,55\sigma \quad (4.1a)$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante última (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  : Esfuerzo de compresión aplicada (kgf/cm<sup>2</sup>)

En unidades del Sistema Internacional:

$$\tau = 8,82 + 0,55\sigma \quad (4.1b)$$

$\tau$  : Esfuerzo cortante (kPa)

$\sigma$  : Esfuerzo de compresión (kPa)

Por tanto, la carga axial que recibe el muro de adobe contribuye en la resistencia al corte, pero las fuerzas de inercia aumentarán en este muro.

La resistencia del adobe también depende de la composición del suelo con el que fue elaborado. La presencia de arcilla es un factor fundamental para la construcción del adobe ya que regula la resistencia seca, la adhesión, la plasticidad y la demanda de humedad del barro. Suelos con importante contenido de arcilla poseen mayor resistencia seca, medida en ensayos de compresión en cubos de adobe. Sin embargo, el alto contenido de arcilla produce fisuración en el mortero, lo que origina que el muro de adobe presente una resistencia pobre (Vargas et al. 1984).

La Figura 4.3 muestra los resultados de ensayos de compresión diagonal sobre muretes y los resultados de ensayos de compresión axial sobre bloques. Los resultados corresponden a muretes y bloques compuestas con materiales de suelos de diversas ciudades como: Cusco (CO), Huaraz (HZ), Pisco (PO), Cajamarca (C) y Lima (P).

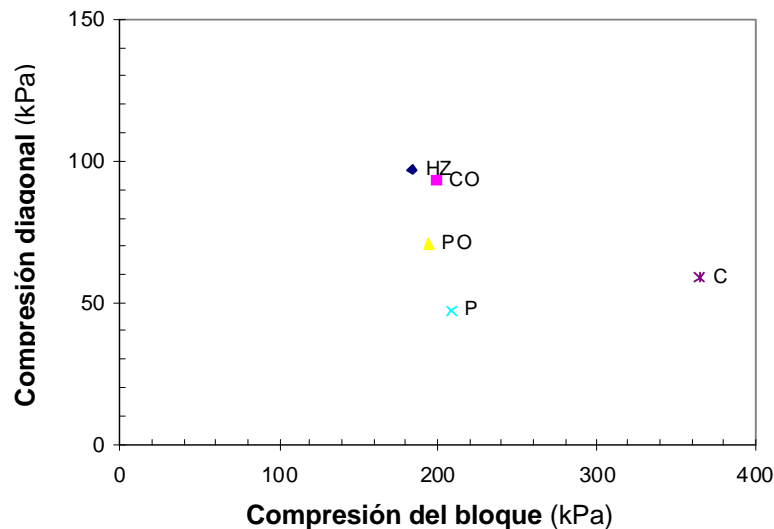


Figura 4.3 Resistencia promedio al corte de diversos suelos del Perú (Vargas et al 1984)

Como se observa en la figura anterior, un murete formado con suelo de Huaraz tiene mayor resistencia a la compresión diagonal que muretes formados con suelos de otras

ciudades. Lo cual puede deberse a que la muestra del suelo de Huaraz presenta una mejor composición de arcilla y arenas a las de los otros suelos utilizados para los ensayos.

### Resistencia a la flexión

La resistencia de un muro de adobe ante fuerzas ortogonales a su plano se calcula para la zona crítica del muro ubicada en sus esquinas superiores. Las fuerzas horizontales generan flexión en los muros, lo que ocasiona grietas en las esquinas superiores que luego se propagan hacia abajo. Estas grietas se deben a la poca resistencia del adobe a la tracción.

El momento resistente  $M_{res}$  en los extremos de un muro de adobe se puede calcular con la ecuación 4.2:

$$M_{res} = f_t \times t^2 / 6 \quad (4.2)$$

$f_t$  : esfuerzo a tracción por flexión último (kPa)

$t$  : espesor del muro (m)

A partir de los resultados de ensayos realizados en el Perú, se toma como valor promedio del esfuerzo último de tracción por flexión del adobe ( $f_t$ ) 245 kPa (Ottazzi y Meli 1981).

### Resistencia al volteo

La resistencia de un muro de adobe ante fuerzas ortogonales al plano se determina asumiendo que el muro se comporta como un sólido rígido (Loaiza 2002). En la Figura 4.4 se muestra un diagrama de fuerza – desplazamiento de un muro ensayado. En el diagrama se observa que al alcanzar la fuerza ortogonal el valor  $P_1$ , el desplazamiento en la parte superior del muro es igual a  $\delta_1$  (punto A). A partir de este punto, el muro presenta mayores desplazamientos hasta alcanzar el valor  $\delta_2$  (punto B). El incremento de desplazamientos se debe al giro del muro al comportarse como un sólido rígido. Finalmente, el muro no es capaz de soportar mayores deformaciones y colapsa por volteo (punto C).

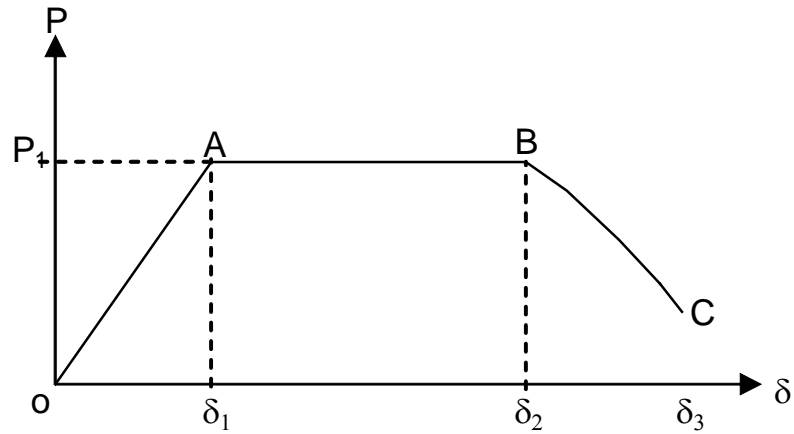


Figura 4.4 Relación fuerza – desplazamiento del ensayo de volteo de un muro de adobe

La Figura 4.5 muestra el diagrama de cuerpo libre de un muro de adobe sometido a una fuerza de volteo  $P$ .

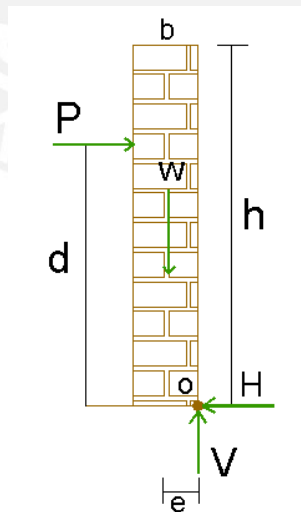


Figura 4.5 Muro de adobe sometido a fuerza de volteo



El muro se comporta como un sólido rígido que gira en torno a un punto (O). La carga  $P$ , perpendicular al plano del muro, se aplica a una distancia “d” del nivel del suelo. La carga “W” representa el peso del muro, mientras que las fuerzas “H” y “V” son las reacciones generadas en su base. Si se logra vencer al momento resistente del sólido entonces se concluye que el muro volcará o colapsará (Vargas y Blondet 1978).

La resistencia al volteo del muro de adobe es provista por el peso propio del muro. La ecuación 4.3 permite calcular el momento resistente en la base del muro ( $M_{res}$ ).

$$M_{res} = W \times e = \gamma \times b^2 \times h/2 \quad (4.3)$$

$M_{res}$ : Momento Resistente del muro en la base (kN/m - m)

W : peso del muro (kN/m)

e : punto de aplicación de la fuerza de volteo (m)

$\gamma$  : peso específico del adobe (kN/m<sup>3</sup>)

h : altura del muro (m)

b : espesor del muro (m)

### Esfuerzos admisibles MTC 2000

La norma técnica de adobe NTE 0.80 (MTC 2000) brinda diversas pautas para realizar un diseño sismorresistente de las viviendas de adobe. En relación a la resistencia de los muros de adobe, la norma sugiere el uso de esfuerzos admisibles (Tabla 4.1), los cuales han sido obtenidos de ensayos de laboratorio y han sido reducidos por factores de seguridad.

Tabla 4.1 Esfuerzos admisibles de la mampostería de adobe (MTC 2000)

Esfuerzos Admisibles			
Compresión de la unidad fo (kPa)	Compresión de la Mampostería fm (kPa)	Corte de la mampostería vm(kPa)	Tracción por flexión fa(kPa)
1200	200	25	40

### 4.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TAPIAL

En la actualidad no se cuenta con alguna norma que estandarice los ensayos de muros o

muretes de tapial. El documento “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento” (Ottazzi 1995), sugiere realizar sobre los muros de tapial los mismos ensayos que son utilizados para determinar la resistencia del adobe.

### Resistencia al corte

De ensayos estáticos de carga lateral en muros de tapial (ININVI 1989), se registraron los esfuerzos cortantes con los que se iniciaba la falla en cada junta horizontal. Se graficó el esfuerzo de corte fricción contra el esfuerzo axial actuante en las juntas. Se obtuvo la ecuación 4.4 y la Figura 4.6:

$$v_m = 0,35\sigma_{pp} + 0,07 \quad (4.4a)$$

$v_m$  : esfuerzo por corte fricción (kgf/cm<sup>2</sup>)

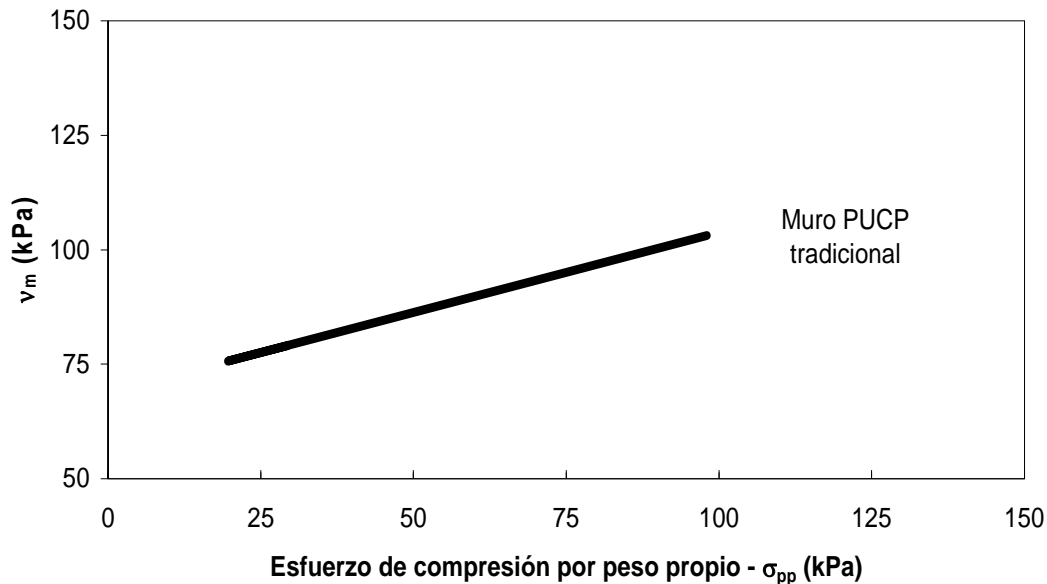
$\sigma_{pp}$  : esfuerzo de compresión por peso propio (kgf/cm<sup>2</sup>)

En unidades del Sistema Internacional:

$$v_m = 0,35\sigma_{pp} + 6,88 \quad (4.4b)$$

$v_m$  : esfuerzo por corte Fricción (kPa)

$\sigma_{pp}$  : esfuerzo de compresión por peso propio (kPa)



Figur

a 4.6 Resistencia por corte – fricción (al instante de ocurrir el deslizamiento en juntas horizontales)

### Resistencia al volteo

La resistencia de un muro de tapial frente al volteo se calcula de igual manera que la resistencia de un muro de adobe. El peso del muro se opone a la fuerza de volteo. Así, un muro con un techo pesado tendrá mayor oposición a la fuerza sísmica ortogonal que un muro que soporta un techo ligero.

### Resistencia a flexión

El muro de tapial no presenta resistencia a flexión debido a que está conformado por bloques independientes cuyas juntas sólo transmiten corte fricción entre sus elementos.

## 4.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA QUINCHA

La quincha es un compuesto de varios elementos que forman un muro flexible y liviano. Los paneles de quincha están elaborados en base a armazones de madera rellenos con mallas de caña y enlucidos de barro.

La madera es un material fibroso. Aquellas piezas cortadas en forma paralela a la fibra poseen una considerable resistencia a la flexión. En el sentido de las fibras, admite normalmente a tracción o compresión, esfuerzos de trabajo de 8 a 10 MPa. La madera más utilizada en las construcciones de quincha republicana fue el pino. Esta madera, importada de Centroamérica, pertenece al grupo de maderas estructurales tropicales. De acuerdo con el Manual de Diseño de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC 1984), el pino clasifica dentro del sub grupo A, conformado por las maderas de mayor resistencia.

Las cañas son elementos muy duros y flexibles, se pueden utilizar en tiras o enteras. Las hay de diversos tipos: caña brava, carrizo y la caña de Guayaquil. Este elemento otorga a los paneles mayor flexibilidad.

En nuestro país esta tecnología no cuenta con una norma específica que regule su diseño. Por este motivo los ensayos realizados en paneles de quincha siguen métodos estándar para prueba de paneles consignados en la Norma ASTM E-72 (Kuroiwa 1972).

No se tiene referencia de ensayos en paneles tradicionales de quincha. Sin embargo, se toman como referencia los ensayos realizados por Kuroiwa (1972) sobre paneles prefabricados de 1,20 m de largo por 2,40 m de alto. Estos paneles constan de bastidores de igual escuadría (2" x 2 ½"). Llevan un elemento central de 1" x 3" que sirve de arriostre para reducir la luz de pandeo, también se componen de 2 diagonales de 1" x 3" que hacen indeformable al marco en su plano. Se rellenan con un tejido de caña brava y se revisten con barro. Los paneles son sometidos a ensayos de carga lateral, flexión y compresión.

A continuación se explican los ensayos realizados en paneles prefabricados sometidos a carga lateral por ser la falla a corte la más crítica en los muros de quincha de acuerdo con los ensayos de Kuroiwa (1972).

### Resistencia al corte

La resistencia de un muro de quincha ante fuerzas contenidas en el plano se determina a través del ensayo de carga lateral en paneles prefabricados.

La Figura 4.7 muestra el procedimiento de ensayo. Se fija el panel en condición de apoyado en su base mediante dos pernos a un perfil metálico que transmite los esfuerzos hacia el piso. Para guiar el extremo superior del panel, se colocan perfiles metálicos que evitan desplazamientos fuera del plano.

Se aplica la carga horizontal ( $P$ ) progresivamente a nivel del extremo superior mediante una gata hidráulica y se miden las deformaciones en el extremo superior. Este procedimiento de ensayo se realiza en por lo menos cuatro paneles y luego se obtienen datos promedio que cuantifiquen las características de estos elementos: esfuerzos y deformaciones (Kuroiwa 1972).

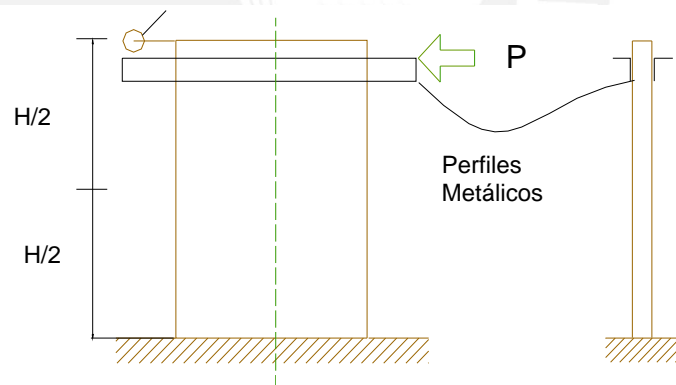


Figura 4.7 Ensayo a carga lateral en panel prefabricado de quincha. (Kuroiwa 1972)

Por lo general las fallas se localizan en las diagonales (falla de compresión) o en la unión entre la diagonal y el bastidor (por tracción) tal como lo muestra la Figura 4.8.



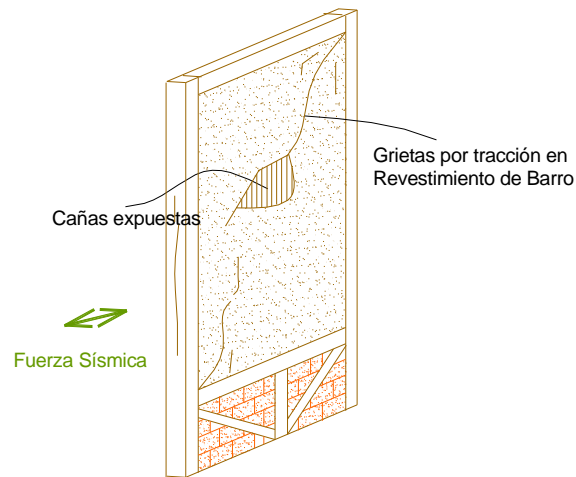


Figura 4.8 Fallas en paneles de quincha

De ensayos a carga lateral realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería (Piqué 1992) para el modelo basado en la unión de dos paneles de quincha revestidos con una membrana de caña entrelazada y enlucido de barro sin riostras, se obtuvo el gráfico de fuerza – desplazamiento que se muestra en la Figura 4.9, en donde el valor de carga máxima lateral es de 16,5 kN. El esfuerzo correspondiente se calcula con la ecuación 4.5:

$$\tau_{\max} = V_{\max} / (L \times t) \quad (4.5)$$

$\tau_{\max}$  : esfuerzo cortante máximo (kPa)

$V_{\max}$  : carga máxima al corte por ensayo (kN)

t : ancho del muro (m)

L : longitud del muro en la dirección de análisis (m)

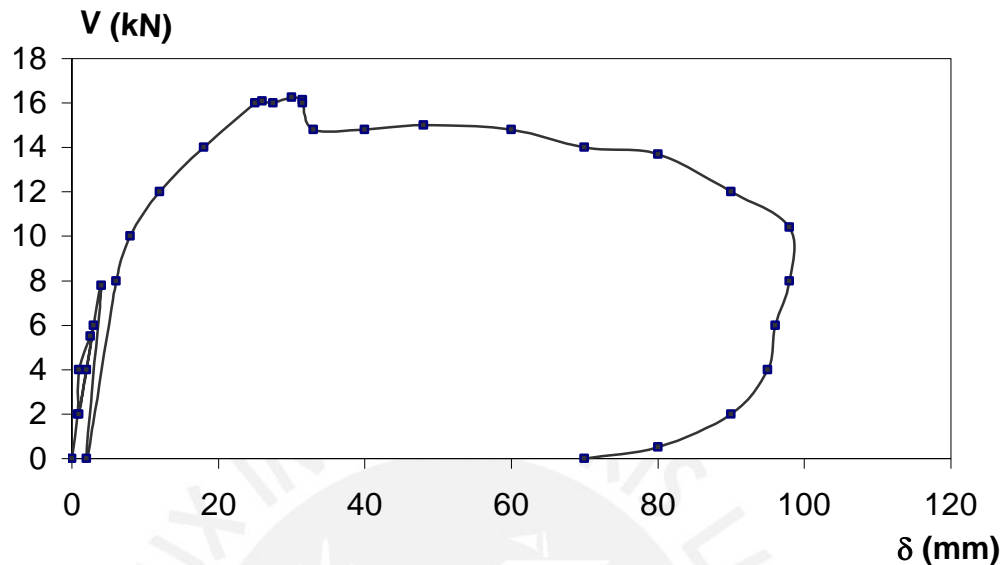


Figura 4.9 Gráfico fuerza desplazamiento para el ensayo de un panel de quincha con revestimiento y sin riosstras (Piqué 1992)

Se observa un comportamiento inicialmente elástico para luego volverse inelástico y alcanzar la carga máxima de 16 kN. Es importante destacar la gran capacidad de deformación que es capaz de soportar el panel ensayado. Esto evidencia una gran ductilidad.

Los resultados mostrados en la Figura 4.9 son similares a los obtenidos en el ensayo sobre mesa vibradora de un módulo de vivienda de quincha similar a la tradicional realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú (Blondet et al. 1986).

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE TIERRA

#### 5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolla la metodología de análisis que permite calcular los esfuerzos en estructuras de tierra por acción de fuerzas sísmicas. Para ello, primero se estima la acción sísmica, luego se determina su distribución a través de la estructura, y finalmente se calculan los esfuerzos actuantes sobre cada vivienda analizada.

El comportamiento estructural de las construcciones de tierra y el análisis de su vulnerabilidad presentan una gran incertidumbre. Por ello se ha optado por desarrollar un análisis elástico sobre modelos simples, que permite estudiar la tendencia del comportamiento general de las estructuras bajo solicitaciones sísmicas y evaluar los resultados.

#### La acción sísmica

El sismo de análisis o nivel de amenaza sísmica se define en función de la probabilidad de excedencia durante diferentes años de exposición. La Tabla 5.1 muestra los periodos de retorno medio, las probabilidades de excedencia en diversos años de exposición para los sismos, y las aceleraciones asociadas a estos sismos en la Costa del Perú (Muñoz 2001), a partir de las recomendaciones del SEAOC (1995) que aparecen en el capítulo 2 del presente documento.

Tabla 5.1 Niveles de sismicidad en la Costa peruana para la evaluación de vulnerabilidad (Muñoz 2001)

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

Para obtener los valores de aceleración para el análisis de vulnerabilidad se deben considerar las características de la estratigrafía y topografía local. Sin embargo, es posible obtener un valor referencial de aceleración pico en una ciudad, a partir de mapas de isoaceleraciones como el mostrado en la Figura 5.1.

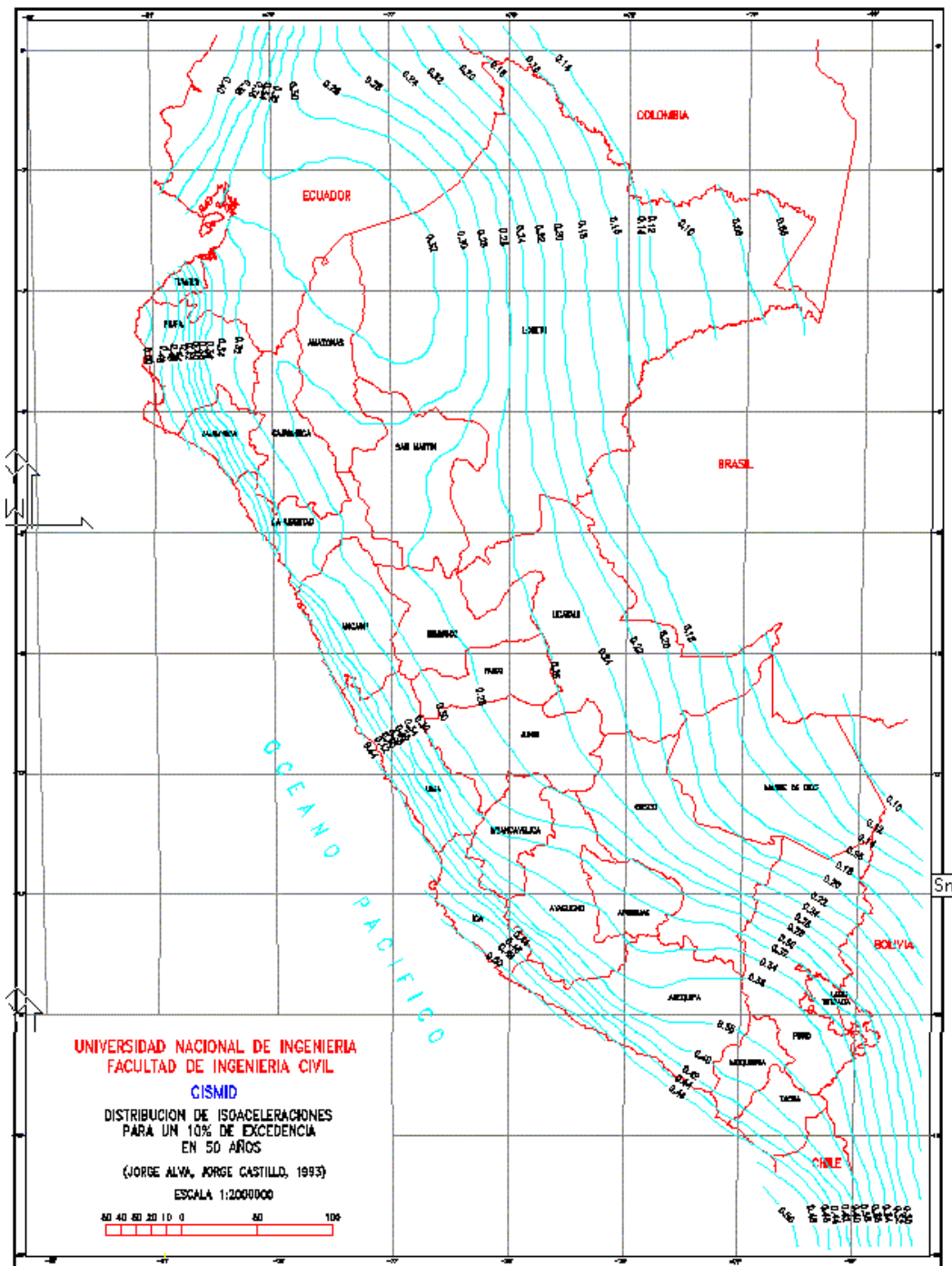


Figura 5.1 Mapa de isoaceleraciones en el Perú. Considerando 10% de excedencia y 50 años de exposición (Castillo y Alva 1993)

El mapa de isoaceleraciones mostrado en la figura anterior contiene curvas que representan un valor de aceleración determinado, denominadas curvas de isoaceleración. A cada ubicación geográfica le corresponde un valor de aceleración representado por un punto de la curva de isoaceleración que coincide con dicha ubicación.

Los mapas de isoaceleraciones se generan para diversas probabilidades de ocurrencia y años de exposición, y permiten estimar la aceleración esperada en diferentes ciudades.

El valor de aceleración en el suelo ( $Z$ ), obtenido de los mapas de isoaceleraciones correspondientes a cada sismo de análisis, permite determinar las fuerzas cortantes que actúan en la base de la estructura estudiada. Las fuerzas cortantes se estiman mediante la siguiente ecuación sugerida por la Norma Técnica Peruana NTE-E.030 (MVCS 2003):

$$V = S \times U \times C \times Z \times P / R \quad (5.1)$$

$V$  : Fuerza cortante basal en la estructura (kN)

$S$  : Factor de suelo

$U$  : Factor de uso

$C$  : Coeficiente de amplificación. Depende del periodo ( $T$ )

$$C = 2.5 \times (T_p/T); \quad C \leq 2.5 \quad (5.2)$$

$T_p$  : período que determina el fin de la plataforma de aceleración constante en el espectro de aceleraciones (Ver Figura 5.2)

$Z$  : Aceleración del suelo (g)

$P$  : Peso que carga la estructura (Carga muerta + 50% Carga Viva) (kN)

$R$  : Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas



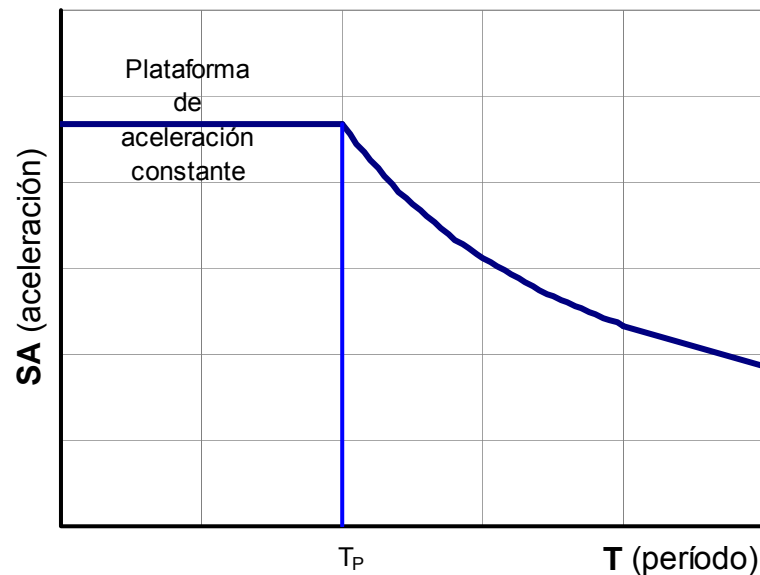


Figura 5.2 Espectro de aceleraciones

La norma especifica valores de los parámetros indicados, de acuerdo a las condiciones de la vivienda. Dado que se busca comparar la vulnerabilidad sísmica de las cuatro tecnologías constructivas, se considera que las viviendas se encuentran bajo iguales condiciones geográficas y geológicas. De esta manera, en el análisis realizado se utilizaron los siguientes valores:

- $S = 1,2$  (suelo intermedio o blando)
- $U = 1,0$  (vivienda)
- $C = 2,5$  por tratarse de estructuras rígidas, los períodos fundamentales recaen sobre la plataforma del espectro de aceleraciones (Ver Figura 5.2).
- $Z$  aceleración sísmica de la costa (Zona 1), de acuerdo con El nivel de sismicidad estudiado (ver Tabla 5.1)
- $R = 1,0$  la sollicitación sísmica será aplicada sin ser reducida, pues se quiere determinar para fines de análisis la fuerza cortante basal que impondría un sismo.

### Distribución de fuerza sísmica

Los diafragmas de entrepiso son los elementos que determinan la distribución de la carga sísmica en una estructura. El diafragma transmite las cargas de inercia inducidas sísmicamente desde cada nivel de entrepiso, hacia los elementos verticales portantes.

Cuando las viviendas tienen diafragmas que no son rígidos, se debe considerar los efectos de un diafragma flexible en la distribución de cargas sísmicas (FEMA 2004). En construcciones con diafragmas flexibles, los elementos verticales pueden analizarse independientemente, con fuerzas sísmicas proporcionales al área tributaria que corresponde a cada muro. La fuerza cortante basal estimada con la ecuación 5.1 se distribuye en cada muro de manera proporcional a la carga que soporta.

Las Figuras 5.3a y 5.3b muestran la diferencia entre la distribución de fuerzas cuando la vivienda tiene un diafragma rígido (Figura 5.3a) y cuando tiene un diafragma flexible (Figura 5.3b). En el caso de tener diafragma rígido, la carga sísmica ( $W$ ) se distribuye en razón a la rigidez de los muros; si el diafragma es flexible, la distribución se hace en base a la carga que soporta cada muro.

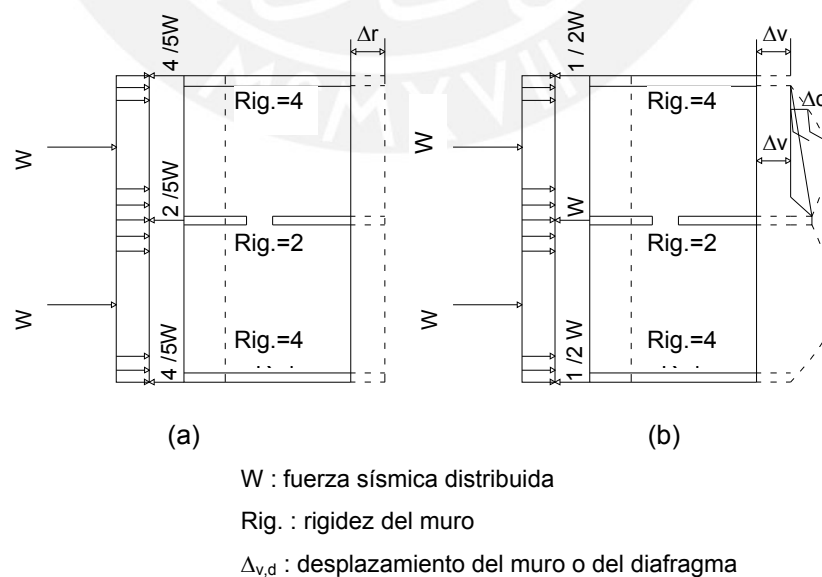


Figura 5.3 Distribución de fuerza sísmica a los muros de corte desde un diafragma: (a) flexible o (b) rígido

La distribución vertical de la fuerza sísmica puede ser rectangular o triangular invertida, de acuerdo con las características dinámicas de la estructura. Para construcciones de uno o de dos pisos, que por lo general tienen periodos cortos, el primer modo de respuesta es el que controla el movimiento. La distribución de carga que más se aproxima a la respuesta de un muro es la distribución triangular invertida (Tejada 2001), que se muestra en la Figura 5.4.

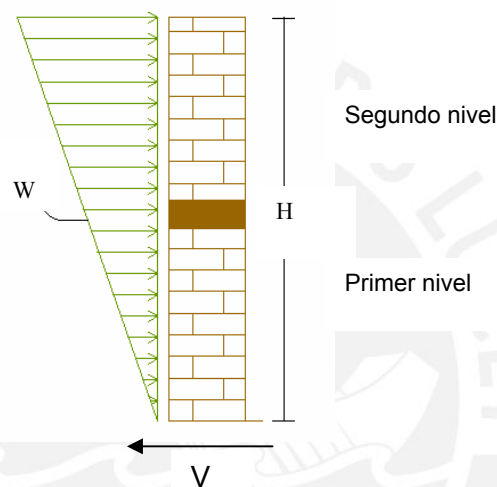


Figura 5.4 Solicitación a flexión bajo carga sísmica triangular invertida

La carga sísmica triangular ( $W$ ) se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W = 2V / H \quad (5.2)$$

$V$  : cortante basal según el sismo de análisis

$H$  : altura total

Determinada la sollicitación sísmica y su distribución se procede al análisis de las estructuras.

## 5.2 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE ADOBE

Las mayoría de las viviendas de adobe no presentan refuerzos horizontales ni verticales que conecten los techos con los muros que los soportan, por lo que el techo

y el entrepiso son considerados diafragmas flexibles. En consecuencia, se asume que los muros actúan independientemente.

Existen diversos factores que influyen en el análisis de muros de adobe, como la condición de la base del muro, la longitud libre del muro, la calidad de mano de obra, la calidad del mortero, el estado de conservación del muro y las condiciones de la cimentación. Con el fin de simplificar el análisis, se considera que estas condiciones son óptimas y se han estudiado viviendas que no presentan deficiencias anteriores que alteren los resultados.

La esbeltez es el parámetro inicial de análisis. La Figura 5.5 muestra las dimensiones de un muro típico: la altura del entrepiso  $h$ , el espesor  $t$  y la longitud  $L$ .

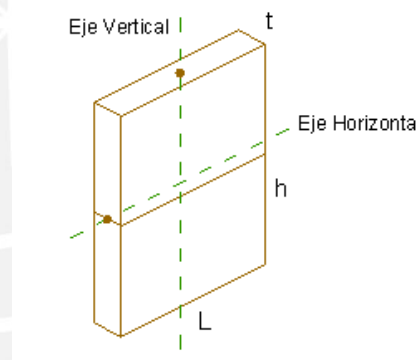


Figura 5.5 Dimensiones de un muro de adobe

La esbeltez de un muro ( $\lambda$ ) es la relación entre su altura ( $h$ ) y su espesor ( $t$ ). Los muros se clasifican en gruesos ( $\lambda < 6$ ), intermedios ( $6 < \lambda < 8$ ) y delgados ( $\lambda > 8$ ) de acuerdo con su esbeltez. Las paredes delgadas de adobe pueden resultar inestables tan pronto como se formen fisuras a través de ellas, producidas por esfuerzos internos debidos a sismos. Una pared gruesa de adobe está lejos de perder estabilidad después que la primera fisura se desarrolla. Se puede entonces concluir que los muros gruesos tienen mayor posibilidad de supervivencia frente a los sismos que los muros delgados (Torrealva 2003).

El análisis sísmico se realiza para los efectos de flexión, volteo y corte. Se verifican los esfuerzos actuantes que se dan en cada muro (Meli et al. 1978 y Vargas et

al.1978). Los efectos de flexión y volteo corresponden a la reacción de los muros al ser sometidos a fuerzas fuera de su plano, mientras que el efecto de corte corresponde a la reacción del muro al ser sometido a fuerzas dentro del plano.

### Análisis por flexión

Los momentos flectores internos en los muros pueden describirse por sus componentes vertical y horizontal. Fallas registradas en sismos anteriores indican que las grietas en las esquinas de los muros son las primeras en originarse al alcanzarse la resistencia de tracción en el adobe. (Meli et al. 1978).

Las fuerzas sísmicas generan en los encuentros de los muros transversales y las esquinas superiores grandes esfuerzos de tracción que forman, en principio, grietas en las partes superiores y posteriormente, la separación de dichos muros. Este tipo de falla se presenta ya que el adobe tiene poca resistencia a la tracción (Figuras 5.6a y 5.6b).

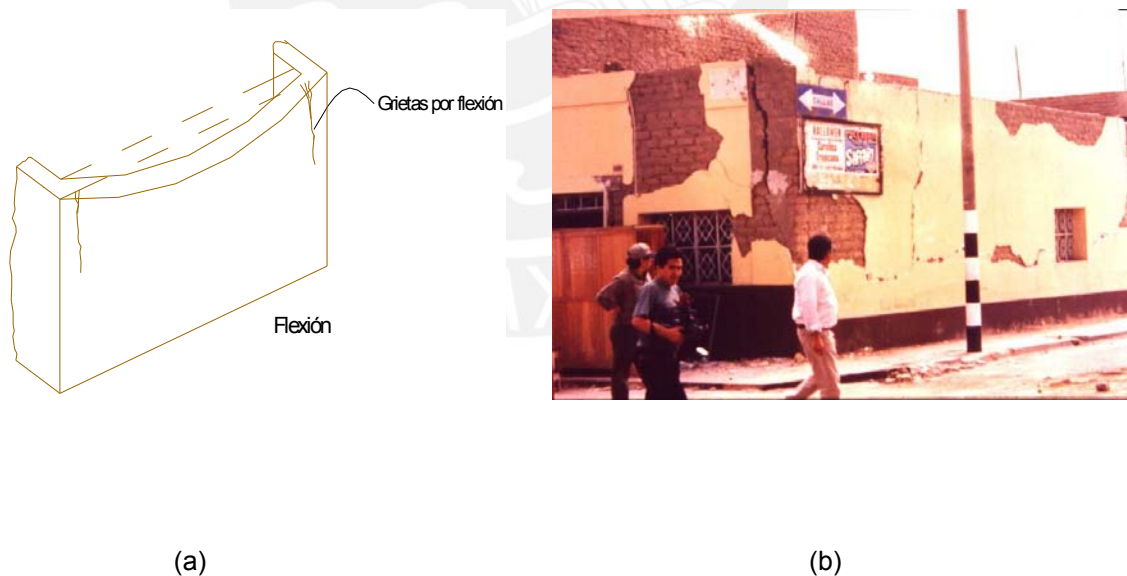


Figura 5.6 (a) Falla de tracción por flexión en las esquinas. (b) Vivienda con fallas de flexión en esquinas previo al volteo (San Bartolomé 2002)

Estudios realizados en modelos a escala sometidos a ensayos dinámicos, demuestran que los muros que no son portantes son más vulnerables a fallar por flexión que los



muros sobre los cuales se apoyan las vigas del techo. Estas vigas sirven de arriostre lateral a los muros mientras no se exceda la fuerza de fricción (Torrealva 2003).

Si la luz del muro es corta éste se comportará como un elemento empotrado a los muros transversales (Figura 5.7a). Si la luz es muy grande, la parte central se apoyará directamente en el suelo, mientras que la parte restante actuará como un voladizo empotrado al muro transversal respectivo (Figura 5.7b) (Meli 1978).

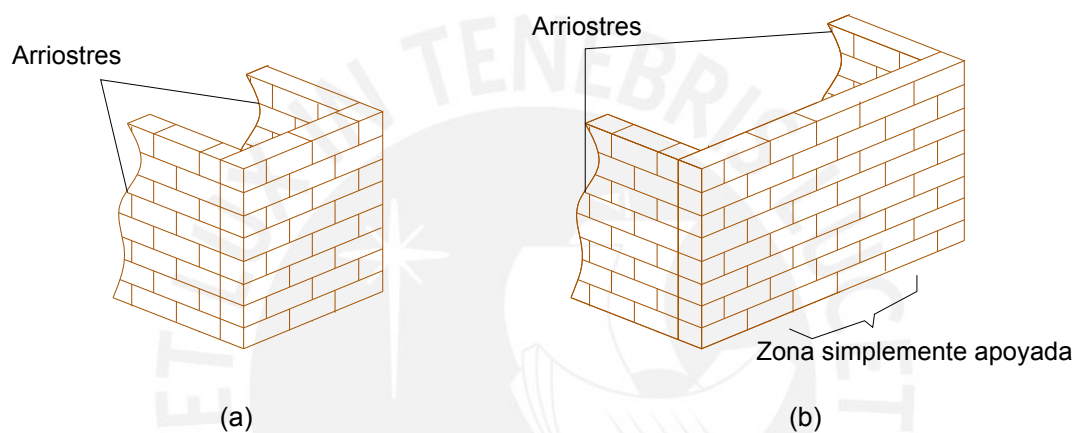


Figura 5.7 Condiciones iniciales de borde para cada muro: (a).Muro de luz corta y (b) muro de luz larga

Para el análisis por flexión se considera que los muros trabajan como losas sometidas a una carga distribuida, que corresponde a la fuerza sísmica (Tejada 2001). Las ecuaciones 5.3 y 4.4 permiten calcular el momento actuante y el momento resistente en los extremos del muro:

$$M_{act} = \beta \times W \times a^2 \quad (5.3)$$

$$M_{res} = f_t \times t^2 / 6 \quad (4.4)$$

$M_{act}$  : Momento de flexión actuante (N-m/m)

$M_{res}$  : Momento resistente a flexión del muro (N-m/m)

$W$  : carga sísmica distribuida (N/m)

$a$  : Menor longitud del muro (m)

$\beta$  : Coeficiente de distribución

$f_t$  : esfuerzo a tracción por flexión último (kPa)

$t$  : espesor del muro (m)

El coeficiente  $\beta$  depende del tipo de apoyo que presente el muro en sus bordes, del tipo de carga distribuida – distribución triangular o rectangular - y de la relación entre las mayores dimensiones de los muros, es decir entre la longitud ( $b$ ) y altura ( $a$ ), que se muestran en la Figura 5.8 (Timoshenko 1970).

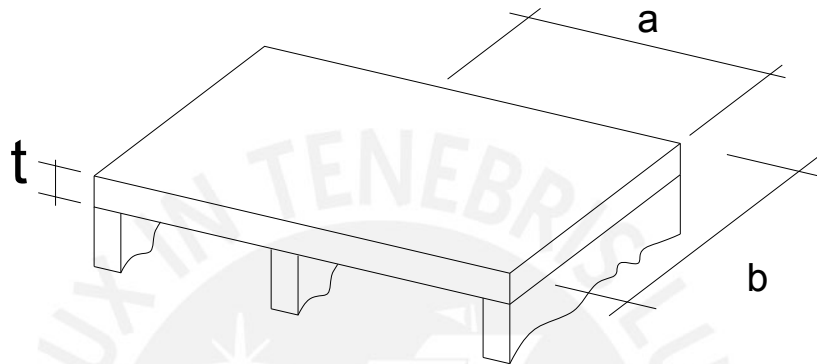


Figura 5.8 Condiciones de análisis de muros y losas

### Análisis por volteo

Los muros longitudinales, sometidos a cargas sísmicas distribuidas, se agrietan desde las esquinas superiores al alcanzarse la resistencia a tracción del adobe y se separan de los muros transversales. Al producirse esta separación, los muros longitudinales pierden los arriostres en sus extremos y se comportan como elementos en voladizo independientes, sometidos a fuerzas sísmicas que generan flexión y producen, en la mayoría de casos, el volteo de los muros.

La Figura 5.9a muestra un esquema de la falla por volteo en un muro y la Figura 5.9b muestra una vivienda cuyos muros de adobe han colapsado por volteo.



Figura 5.9 (a) Falla por volteo en un muro. (b) Colapso de muros por volteo.

El volteo también puede producirse posteriormente a una falla por corte en un muro. Luego de fallar por corte, el muro se encuentra separado en fracciones y por acción de las fuerzas sísmicas se produce el volteo del muro.

La Figura 5.10 muestra el diagrama de cuerpo libre de un muro sometido a la acción de fuerzas de volteo. Cada muro es un sólido rígido que gira en torno a un punto (O). Los momentos actuantes son contrarrestados por el momento resistente generado por el peso de los muros. Si se logra vencer al momento resistente del sólido entonces se concluye que el muro volcará o colapsará (Vargas et al. 1978). El muro se desploma, provocando el colapso del techo, causa principal de pérdidas humanas y materiales.

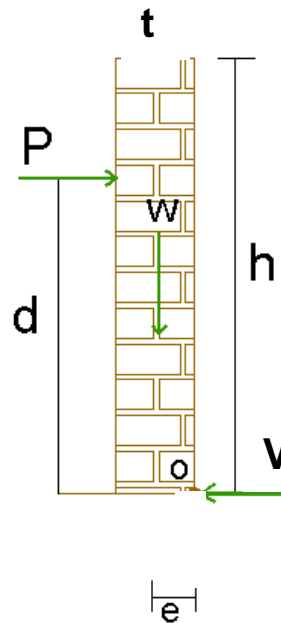


Figura 5.10 Fuerzas de volteo sobre un muro

$$M_{act} = V \times d / L \quad (5.4)$$

$$M_{res} = \gamma \times t^2 \times h / 2 \quad (5.5)$$

$M_{Act}$  : Momento actuante debido a la fuerza sísmica

$M_{Res}$  : Momento resistente del muro

$\gamma$  : Peso específico del adobe

$d$  : Altura sobre la que actúa la fuerza sísmica resultante (centroide de la carga distribuida)

$V$  : Cortante basal según el sismo de análisis

$P$  : Fuerza sísmica, es igual al cortante basal

En el caso de viviendas de adobe de dos pisos se considera que la fuerza sísmica se distribuye en toda la altura de la vivienda. Por lo tanto, cada piso será analizado por separado sometido a su correspondiente fuerza sísmica, tal como lo muestra la Figura 5.11. Cada piso se analiza como un sólido rígido que gira alrededor de un punto en su base.

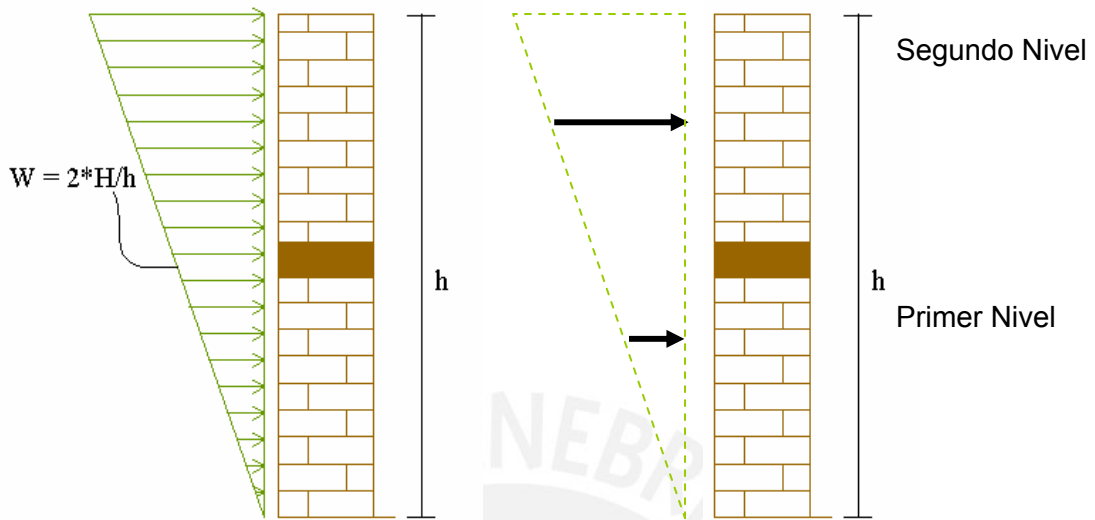
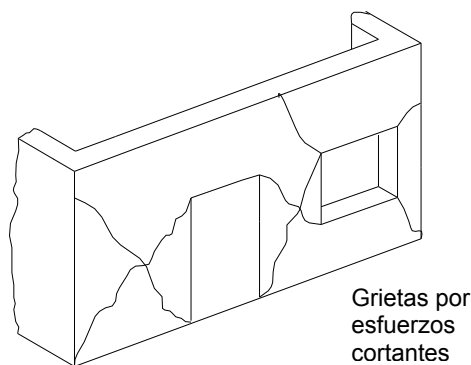


Figura 5.11 Fuerza sísmica en cada nivel de los muros de adobe

### Análisis por corte

Las grietas que se originan por fuerzas cortantes en el plano del muro, generalmente presentan una orientación diagonal siguiendo las juntas verticales y horizontales de los adobes (falla escalonada). Esta falla está directamente relacionada con la resistencia de la mampostería a la fuerza cortante. La falla se da en las juntas ya que, el mortero posee poca resistencia a esfuerzos de corte. (Ver Figuras 5.12a y 5.12b)



(a)



(b)

Figura 5.12 (a) Falla por corte – tracción diagonal y (b) daño registrado en una vivienda (San Bartolomé 2002)



La falla suele iniciarse donde el esfuerzo actuante es mayor, como en la base o a la altura de los vanos, donde el área transversal se ve disminuida por la presencia de dichas aberturas. El esfuerzo cortante promedio ( $\tau_{prom}$ ) debido a la acción sísmica se calcula mediante la ecuación 5.6

$$\tau_{prom} = V / (t \times L) \quad (5.6)$$

t : ancho del muro

L : longitud del muro descontando los vanos

V : cortante basal según el sismo de análisis para cada muro. La fuerza sísmica total P es repartida de manera

Para que el muro no falle por corte debe cumplirse la siguiente condición:

$$\tau_{res} \geq \tau_{act}$$

$\tau_{res}$  : esfuerzo resistente (kPa). Se calcula con la ecuación 4.3a presentada en la sección 4.2:

$$\tau_{res} = 8.82 + 0.55\sigma \quad (\text{kPa})$$

El esfuerzo cortante promedio se desarrollará hasta que se alcance el esfuerzo resistente del material. Este esfuerzo resistente depende de las propiedades geométricas del muro, de la calidad del suelo seleccionado y de la calidad del procedimiento constructivo.

### 5.3 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE TAPIAL

Las viviendas de tapial presentan techos y entrepisos similares a los de las viviendas de adobe, por lo que el análisis considera una distribución de fuerzas sobre muros que actúan independientemente.

La mayoría de las estructuras de tapial presentan un pobre comportamiento frente a eventos sísmicos. Producto de los ensayos realizados en la PUCP, se considera que el procedimiento constructivo de estas viviendas, que presentan juntas secas y bloques macizos pesados, genera zonas con mucha probabilidad de falla por fricción en las juntas horizontales entre bloques, seguidas de volteo por fuerzas perpendiculares a los planos de los muros (ININVI 1989).

### Análisis por corte

La falla se produce cuando el deslizamiento a lo largo de las juntas horizontales produce una grieta. A diferencia de las fallas de corte por tracción diagonal presentes en las viviendas de adobe, en las viviendas de tapial se presentan deslizamientos por las juntas, lo cual produce la desintegración del muro de tapial en bloques (Ver Figuras 5.13a y 5.13b). Generalmente se presentan grandes grietas en los encuentros y en la zona central superior de muros (ININVI 1989).

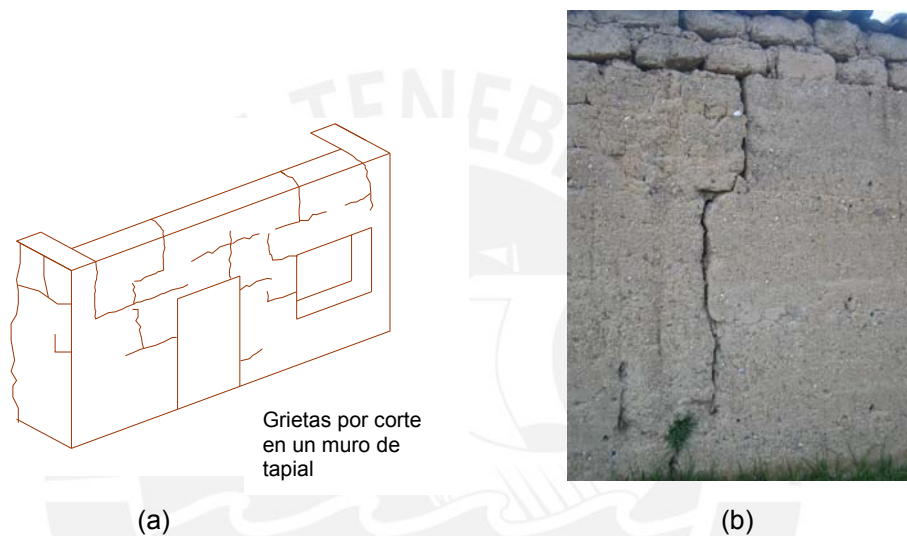


Figura 5.13 (a) Falla por corte – fricción y (b) falla en un muro de tapial

Para determinar el esfuerzo promedio actuante se empleó la misma ecuación utilizada en el caso del adobe (Ecuación 5.6). El esfuerzo resistente se tomó como el esfuerzo cortante máximo determinado en ensayos de laboratorio (Sección 4.3).

### Análisis por volteo

Generadas las grietas por esfuerzos cortantes de fricción, las fuerzas sísmicas perpendiculares a los planos de los muros hacen que los bloques de tapial se balanceen sobre la hilada adyacente hasta que se produce una falla por compresión sobre la hilada inferior, produciendo el volteo y por tanto el colapso (ININVI 1989), o de otra manera se produce el volteo inmediato al balanceo de los bloques. El cálculo de los momentos actuantes y resistentes es el mismo al del análisis por volteo en el adobe (Ecuaciones 5.4 y 5.5). Se considerará que el colapso de los muros se producirá por volteo de los bloques.

#### 5.4 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE QUINCHA

Las viviendas de quincha están conformadas por techos que se apoyan directamente sobre un travesaño que une los paneles de quincha. Sin embargo, las uniones no garantizan que la fuerza sísmica se distribuya uniformemente, por lo que no se puede afirmar que se trate de diafragmas rígidos. La situación real está entre diafragmas rígidos y flexibles, pero tratándose de estructuras de madera utilizadas para viviendas se considera el caso en que los diafragmas no tienen rigidez (JUNAC 1984). Por tanto, se asume que los muros actúan independientemente, tomando la carga respectiva de los techos, al ser sometidos a la acción de la fuerza sísmica.

Es común que el revestimiento de los paneles no se considere resistente frente a cargas verticales. Sin embargo, el revestimiento es el elemento resistente más importante frente a cargas horizontales o laterales provenientes de sismo o viento (ININVI 1989). El bastidor de madera por sí solo no proporcionaría la misma rigidez al conjunto si se compara con aquella obtenida al adicionar el entramado de caña y revoque de barro (Piqué 1992). Los elementos de unión (clavos) entre el revestimiento y el entramado transmiten las fuerzas cortantes que son resistidas principalmente por el revestimiento. El revestimiento con entramados de caña y enlucido de yeso hace que los muros se comporten como una sola unidad al ser sometidos a carga lateral (JUNAC 1984).

En la Figura 5.14 se observa la distribución de carga sísmica sobre paneles de quincha.

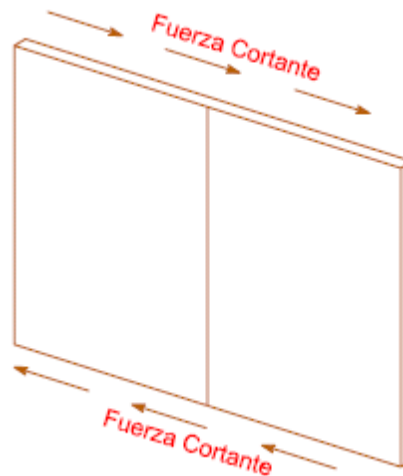


Figura 5.14 Distribución de carga sísmica sobre paneles de quincha

Los ensayos realizados por la UNI (Piqué 1992) y la PUCP (Blondet et al. 1986), indican que los paneles de quincha presentan un comportamiento esencialmente elástico. Esto se ha evidenciado en la mayoría de viviendas de quincha que han logrado soportar satisfactoriamente los sismos pasados. De lo observado en sismos anteriores, se puede deducir que estas construcciones sufren esencialmente fallas por corte.

### Análisis por corte

Por lo general los bastidores de las construcciones de quincha resisten grandes esfuerzos de corte debido a que los elementos longitudinales, de fibras paralelas a la longitud más larga, presentan gran resistencia al corte. Las fallas por corte se presentan en el revestimiento por tracción diagonal, tal como se muestra en la Figura 5.15.

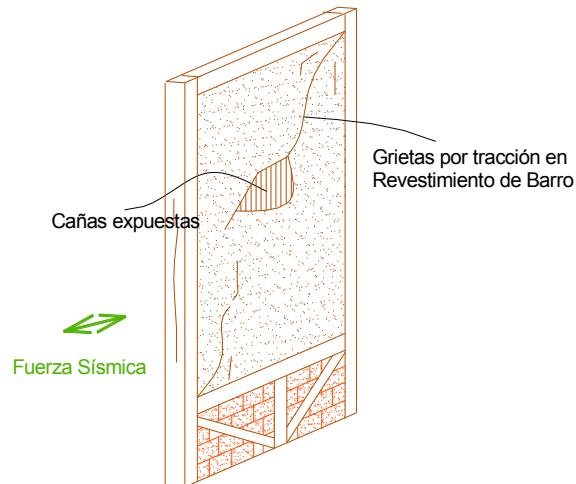


Figura 5.15 Falla por corte en un muro de quincha

El comportamiento de muros de quincha ante cargas sísmicas paralelas a sus planos varía con el tipo de revestimiento. Los muros entramados, cuyo revestimiento es de enlucidos o revoques aplicados sobre cañas clavadas al muro, se comportan como una sola unidad al ser sometidos a carga lateral. Es decir, como si fuera un tablero con la dimensión de todo el muro (JUNAC 1984).

El esfuerzo cortante se determina de acuerdo a la ecuación 5.6. Debido a la carga sísmica el panel puede sufrir grandes esfuerzos hasta llegar al esfuerzo máximo donde el revestimiento se agrieta. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del ensayo realizado por la UNI (Piqué 1992), el panel desarrolla dos etapas de comportamiento: primero una etapa elástica hasta un nivel de esfuerzo máximo y luego una etapa inelástica en la que el panel puede llegar a desarrollar desplazamientos de hasta 10 cm. En la etapa inelástica el panel es capaz de disipar energía de deformación, lo que disminuye el daño y la probabilidad de colapso.

## 5.5 ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURA REPUBLICANA

Las viviendas republicanas están conformadas de un sistema estructural mixto de adobe y quincha, por lo que se podría inferir que el análisis para estructuras con esta tecnología constructiva se basa en los análisis de quincha y adobe realizados previamente.



Es necesario tomar en cuenta en el análisis que estas viviendas cuentan con un collar de madera en el entrepiso. Esta estructura evita la pronta formación de grietas en las esquinas. Sin embargo, este collar de madera no garantiza la rigidez del entrepiso. Entonces, se considera que el diafragma es flexible, donde cada muro de adobe trabaja independientemente. Es decir, los muros de quincha tiene la misión de resistir las cargas de las cubiertas planas y las correspondientes sobrecargas, y transmitir las a los muros de adobe sobre los cuales se apoyan (ININVI 1989). Por tanto, el segundo piso de quincha se analiza de la misma manera que una vivienda de quincha (Sección 5.4), mientras que los muros de adobe se analizan por corte.

### **Análisis por corte**

En el caso de las viviendas republicanas, la falla por flexión fuera del plano está controlada por la zona de transición que produce un amarre al nivel superior de los muros de adobe. Una vez que se forman grietas, el muro queda dividido en grandes bloques los cuales pueden disipar energía por fricción, producto de la combinación de carga vertical y fuerza horizontal.

Las grietas se presentan usualmente en las esquinas superiores o inferiores de las aberturas de puertas y ventanas extendiéndose en forma diagonal hacia la parte superior o inferior del muro, respectivamente. Estas grietas se deben a la concentración de esfuerzos en las esquinas de las aberturas y a la incompatibilidad de las propiedades mecánicas del adobe y el material de los dinteles (Torrealva 2003).

La Figura 5.16a muestra el patrón de falla por corte en un muro y la Figura 5.16b muestra la falla por corte diagonal en el encuentro de muros y vanos.

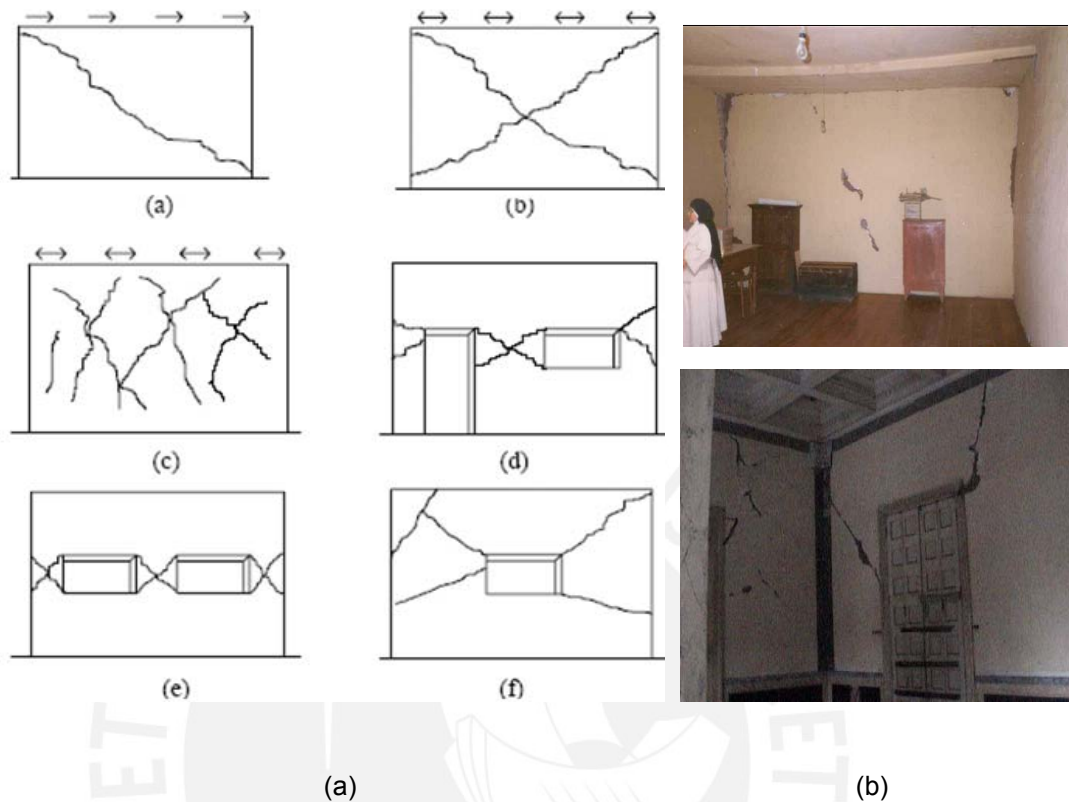


Figura 5.15. (a) Patrón de falla por corte y (b) fotos de falla por corte diagonal en muro y encuentro con vanos (Torrealva 2003)

El cálculo de los esfuerzos cortantes actuantes y resistentes se realiza con las ecuaciones 5.6 y 4.3a respectivamente. En el análisis se considera un colapso parcial generado cuando uno o más de los muros independientes se torna inestable, debido a que el esfuerzo de corte actuante sobrepasa al esfuerzo resistente. El colapso es parcial, ya que ensayos realizados a escala natural demuestran que los muros gruesos, cuya esbeltez es menor a 6, pueden mantener su estabilidad aún después de agrietarse completamente.

## CAPÍTULO 7

### AVANCES EN LAS TECNOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE TIERRA

#### 7.1 INTRODUCCIÓN

La alta vulnerabilidad sísmica de las construcciones de tierra como las viviendas de adobe ha ocasionado que este tipo de vivienda cobre el mayor número de víctimas causadas por terremotos (Kuroiwa 2002). Esta problemática social compromete a las instituciones profesionales a proponer soluciones tecnológicas.

La bibliografía disponible sobre las construcciones de tierra muestra que, entre las diversas instituciones, la Pontificia Universidad Católica del Perú se ha consolidado como la principal entidad educativa en proponer y promover el avance tecnológico del adobe, tapial y quincha en el Perú.

#### 7.2 AVANCE TECNOLÓGICO EN EL ADOBE Y EL TAPIAL

A continuación se explican brevemente las técnicas de reforzamiento que han demostrado ser las más eficientes. Estas técnicas están orientadas a reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de tierra y permitir a los habitantes evacuarlas antes de que se produzca el derrumbe de las viviendas.

##### **Reforzamiento con cañas verticales y viga solera**

Este tipo de refuerzo es recomendado por la norma técnica peruana de diseño sismorresistente del adobe NTE-0.80 (MTC 2000), la cual señala el uso obligatorio de los siguientes elementos:

- a) Vigas soleras
- b) Refuerzos interiores en los muros
- c) Refuerzos que garanticen la conexión de los muros en encuentros y esquinas.

Se usan como refuerzo la caña madura y seca o el eucalipto recto y seco u otro material similar en tiras, colocadas horizontalmente cada cierto número de juntas (máximo cada 4 hiladas) en todos los muros unidos entre sí mediante amarres en los

encuentros y esquinas. También se colocan refuerzos verticales ya sea entre los adobes o en los alvéolos con un mínimo de 5 cm de diámetro (Ver Figuras 7.1 y 7.2a y 7.2b) Los adobes deberán estar anclados a la cimentación y fijados a la solera superior. La distancia máxima entre refuerzos verticales es de 60 cm (MTC 2000).

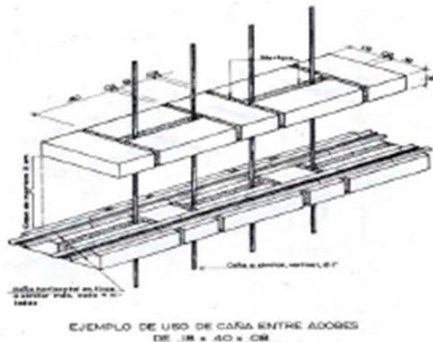


Figura 7.1 Refuerzo con cañas verticales (Vargas et al 1978)



Figura 7.2 (a) Módulo de adobe reforzado y (b) después de ensayo sísmico (Ottazzi et al. 1989)

Para el reforzamiento de las viviendas de tapial es recomendable no usar el refuerzo horizontal en exceso (es suficiente colocarlo cada 2 hiladas), ya que una congestión de refuerzo produce dificultad en la compactación y disminuye la resistencia del adobe. Por tanto, el refuerzo deberá ser en lo posible delgado y recto (ININVI 1989) (Ver Figuras 7.3a y 7.3b)



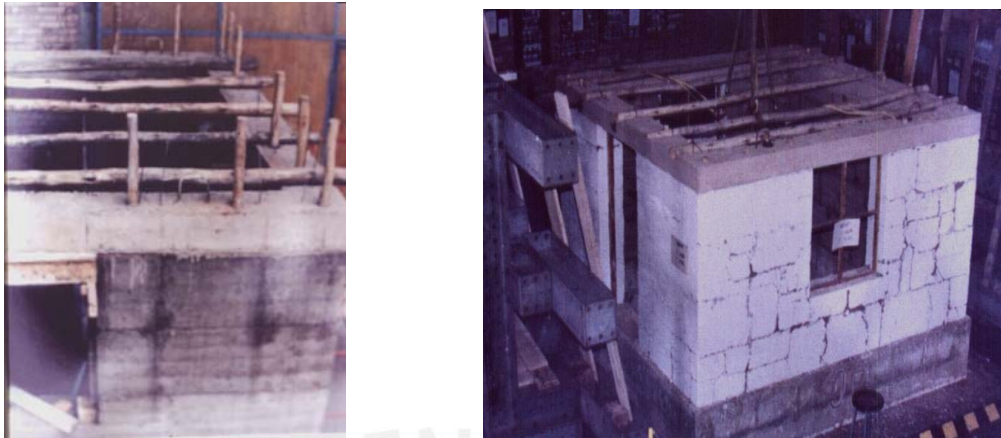


Figura 7.3 (a) Modulo de Tapial reforzado y (b) después de ensayo sísmico (ININVI 1989)

### Reforzamiento de Viviendas Existentes con mallas electrosoldadas

En la investigación "Estabilización de las Construcciones Existentes de Adobe en los Países Andinos" Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP (Zegarra et al. 2001) se reforzaron 20 viviendas de adobe, de las cuales 5 se ubicaban en las ciudades de Tacna y Moquegua. Tras el terremoto del 23 de Junio del 2001 se comprobó que el sistema de reforzamiento era eficaz ya que las viviendas de adobe reforzadas se comportaron elásticamente y no presentaron daños como en las casa de las casas vecinas no reforzadas.

Para reforzar la vivienda primero se debe retirar el revestimiento existente en las zonas por enmallar. Luego se perfora el muro para instalar conectores (alambres No.16 de 0,90 m). Los conectores se ubican horizontalmente a 0,20 m de las esquinas y aproximadamente cada 0,50 m de altura. Las perforaciones se rellenan con mortero de cemento. Después se instalan las mallas electrosoldadas (1 mm de diámetro con recuadros de  $\frac{3}{4}$ " ) que se engrapan al muro con chapas, clavos de  $2\frac{1}{2}$ " y conectores. Finalmente se tarrajea el muro con mortero de arena fina 1:4. En el caso de una vivienda de dos pisos, se enmallaría totalmente el primer piso, mientras que, en el segundo piso se enmallarían sólo los encuentros de los muros (Ver Figuras 7.4a, 7.4b, 7.5a y 7.5b).

Para evitar la falla a la altura de los tímpanos se colocan tablas verticales de 2" de ancho por  $\frac{1}{2}$ " de espesor conectadas con alambre No. 8. Posteriormente se cubren



las tablas con mallas electrosoldadas y se revisten los tímpanos con mortero (Ver Figura 7.6). También se pueden usar solamente mallas electrosoldadas sobre los tímpanos.

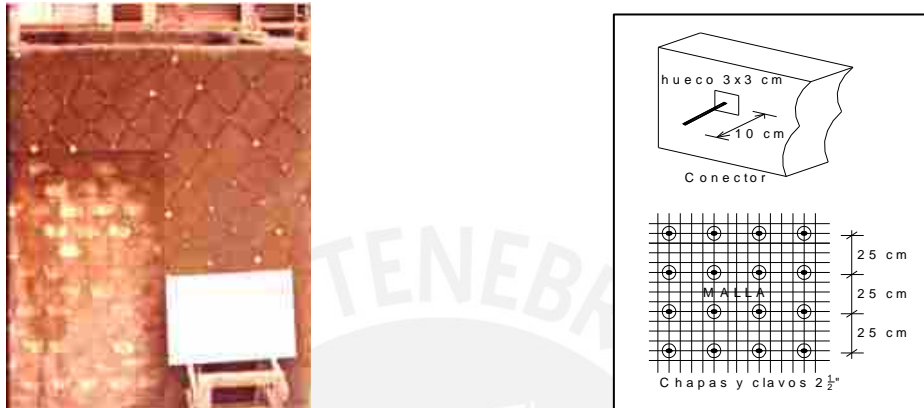


Figura 7.4 (a) Alambre #16 trenzado en clavos con chapas (b) Conector y engrapado de malla (San Bartolomé 2002)



Figura 7.5 (a) Inicio del reforzamiento: retiro del tartajeo (b) Fin del reforzamiento: tarrajeo de las franjas (San Bartolomé 2002)

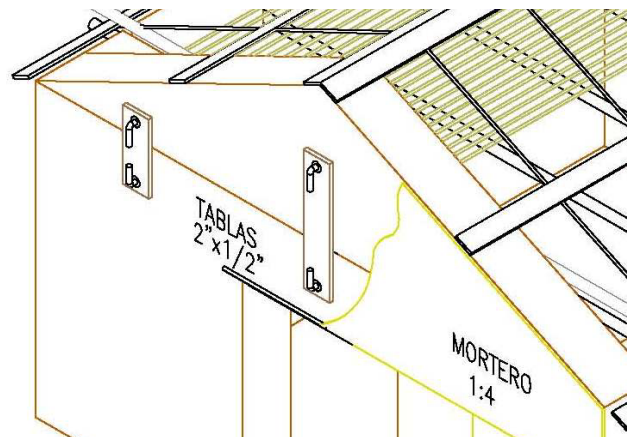


Figura 7.6 Reforzamiento de tímpanos

Para que este sistema de reforzamiento pueda aplicarse, pueden ser necesarios otros reforzamientos adicionales (Zegarra et al. 2001):

- Si los muros son muy largos, de más de 7,00 m, y no tienen paredes transversales intermedias, se debe añadir una o dos columnetas de arrostramiento en la zona intermedia del muro.
- Si la edificación no tiene sobrecimientos, pero si cimentación, en la parte inferior de la vivienda se colocará una malla horizontal electrosoldada de aproximadamente 0,50 m de alto por los dos lados: exterior e interior. Sobre la malla se aplicará un mortero de cemento-arena en la proporción 1:4.
- En cada dirección se debe verificar que el área transversal de los muros con relación al área techada (densidad de muros) sea mayor a  $0,07 \text{ m}^2/\text{m}^2$ . Si la relación es menor, en la dirección de análisis se deben construir nuevos muros que estén debidamente confinados. El área transversal de los muros se obtiene de la suma de la longitud de los muros en la dirección de análisis multiplicada por el espesor.

En el caso de las viviendas de tapial se propone una técnica de reforzamiento similar, que puede ser tema de investigaciones futuras. A diferencia del reforzamiento con mallas electrosoldadas sobre muros de adobe, las mallas que refuercen los muros de tapial deben garantizar una mayor resistencia que soporte el mayor peso de los tapias a comparación de los bloques de adobe

### Reforzamiento con mallas y viga collar de concreto

Posteriormente al sismo del 23 de Junio del 2001 en la zona sur del Perú, se propuso una tecnología constructiva con mayor capacidad de resistencia a movimientos sísmicos. Esta tecnología propuesta por la Pontificia Universidad Católica del Perú y SENCICO consiste en muros con mallas electrosoldadas y una viga collar de concreto que amarre a los muros en el extremo superior.

A diferencia del reforzamiento de una vivienda existente, en las nuevas construcciones se puede replantear la ubicación de la vivienda, mejorar la fabricación de los adobes, construir cimientos y sobrecimientos adecuados, y levantar los muros con el uso de amarres y las herramientas necesarias, siguiendo las recomendaciones de la norma.

Como se muestra en la figura 7.7, las mallas electrosoldadas amarran los encuentros de los muros en franjas verticales de 0,45 a 0,90 m de ancho y 1,30 a 1,70 m de altura. Las dimensiones de cada malla dependen de su posición, ya sea en esquinas exteriores, esquinas interiores o en los encuentros en T. Las mallas son conectadas al muro con clavos, chapas y conectores ubicados en el interior del muro.

Luego de que el muro es levantado, se construye la viga collar que amarrará todos los muros. La viga collar tiene una altura de 0,10 m y un espesor igual al de los muros. La viga está compuesta por una armadura de fierro de  $\frac{3}{8}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", estribos de  $\frac{1}{4}$ ", y mechas que conectarán la viga collar con el techo y con los muros (Ver Figuras 7.7 y 7.8).

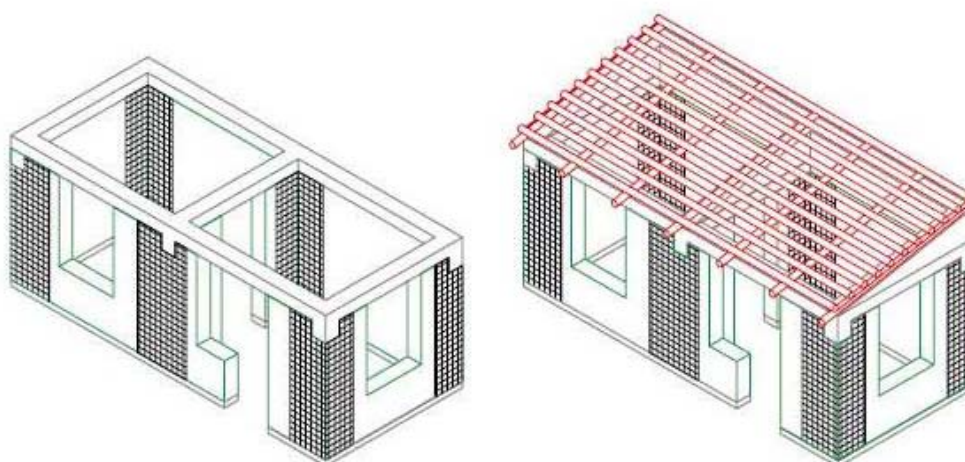


Figura 7.7 Reforzamiento de viviendas nuevas con mallas electrosoldadas





Figura 7.8 Viviendas de adobe reforzadas con mallas electrosoldadas y viga collar

El comportamiento de las viviendas construidas con este sistema frente a sismos no ha sido comprobado. Sin embargo, estas viviendas son semejantes a las viviendas existentes que han sido reforzadas y que mostraron un comportamiento adecuado, en el sismo del 23 de Junio del 2001.

#### Reforzamiento con geomalla

Se ha desarrollado recientemente en la PUCP un proyecto de investigación preliminar, con el objetivo de estudiar la viabilidad técnica y económica de utilizar productos industriales para el refuerzo sísmico de viviendas de adobe (Madueño 2005). Se emplearon como materiales de refuerzo: tubos de PVC, malla plástica, caña, malla electrosoldada y geomalla.



Figura 7.9 Muro reforzado con geomalla luego del ensayo sísmico (Madueño 2005)



Seis muros de adobe a escala natural, con y sin refuerzo, fueron ensayados bajo carga cíclica lateral y se comparó su comportamiento, de acuerdo al material empleado como reforzamiento. La conclusión más resaltante de la investigación fue que el muro reforzado externamente con geomalla (Ver Figura 7.9) tuvo un comportamiento muy satisfactorio, incluso mejor que el del muro reforzado con malla electrosoldada.

El muro con malla electrosoldada alcanzó un mayor resistencia que el muro con geomalla, pero falló súbitamente con poca deformación, luego de haber llegado a su carga máxima. La configuración de fisuración del muro mostró grandes pedazos independientes y un comportamiento post-elástico con características de resistencia y rigidez degradante. Esto indica que ante un terremoto fuerte, una vivienda reforzada con malla electrosoldada podría colapsar en forma frágil y súbita. El muro reforzado con geomalla externa, aunque tuvo menor resistencia que el muro con malla electrosoldada, demostró un comportamiento sísmico estable, con gran capacidad de deformación y sin pérdida significativa de resistencia (Blondet et al. 2004).

### 7.3 AVANCE TECNOLÓGICO EN LA QUINCHA

Las edificaciones de madera, caña, o la combinación de ambas, son construcciones flexibles y de poco peso, por lo que el efecto sísmico y los daños que ocurren sobre ellas son muchos menores que en el caso de las pesadas y débiles construcciones de adobe (Kuroiwa 2002). Estos edificios, actualmente muy deteriorados, han soportado muchos sismos severos, lo cual es un indicador del buen comportamiento estructural de la quincha (Tejada 2001).

Actualmente, el volumen de construcción con quincha en Lima ha disminuido notoriamente debido a la desaparición de la caña del Rímac, a raíz de la urbanización por la aparición de asentamientos humanos en ambas márgenes del río, del alto costo de la madera y de la marcada preferencia que se le da a los materiales industriales de construcción (Tejada 2000). Los siguientes avances tecnológicos tienen el objetivo de implementar un sistema constructivo con las propiedades sísmicas de la quincha, pero que a su vez sea una alternativa económica de acceso a habitantes de bajos recursos.



### Quincha Prefabricada

La diferencia principal entre la quincha tradicional y la quincha prefabricada es el procedimiento constructivo. En la quincha tradicional la membrana de caña se coloca in situ, cuando el armazón de madera ya está armado, formando la estructura de los muros. En cambio, la quincha prefabricada usa paneles armados previamente, que se interconectan formando los muros.

Cada panel de quincha prefabricada consiste de un bastidor de madera relleno con cañas entrelazadas, que se colocan a lo largo del panel. Las cañas enteras y secas quedan fijas al panel. Las dimensiones de cada panel son de 2,40 m de largo y 1,20 m de ancho. El panel se conforma de 2 pies derechos, 4 travesaños y 4 semi diagonales con escuadrías de 1 ½" x 3". El panel puede sufrir variaciones en su forma dependiendo del uso, ya sea panel típico, panel para ventana o panel para puerta (Ver Figuras 7.10a y 7.10b).

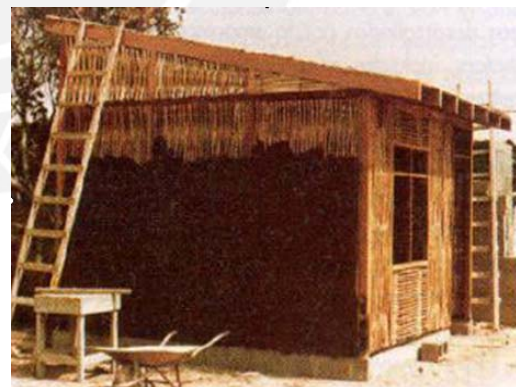
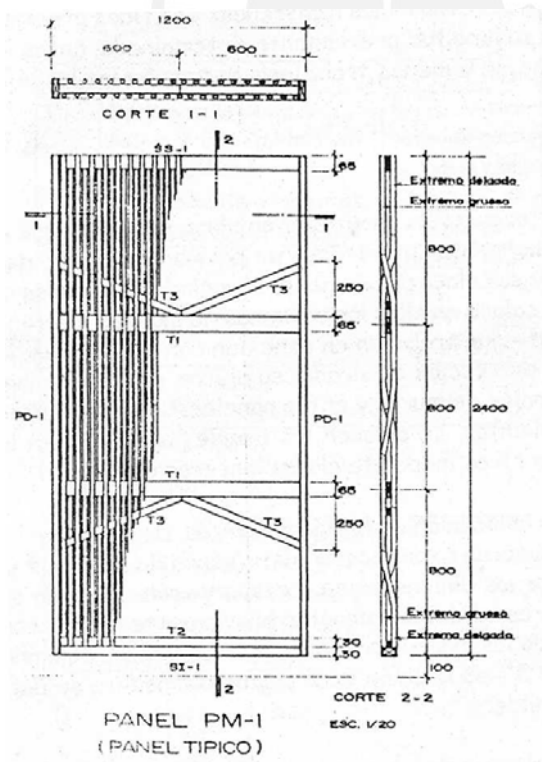


Figura 7.10 (a) Esquema de panel de quincha prefabricada (Tejada 2001) y (b) Vivienda con paneles de quincha prefabricada (Kuroiwa 2002)

Los paneles son colocados sobre una base de concreto pobre. Dentro de la base se dejan alambres para anclar columnas. Los paneles se amarran lateralmente a través de columnas, y en la parte superior mediante una viga collar de madera, para así integrarlos en una sola estructura.

Por último se procede al revestimiento. Se pueden utilizar varios tipos de revoques, entre los cuales están los de barro y paja o suelo cemento.

### **Quincha Mejorada**

Este avance tecnológico es resultado de un proyecto desarrollado por la Universidad Técnica de Nueva Escocia de Canadá y la Pontificia Universidad Católica del Perú (Bariola). Esta tecnología se aplicó en varios sectores de nuestro país: Arequipa (Castilla, 294 módulos), Lima (Villa El Salvador, 3 módulos) y Alto Mayo (500 viviendas). Así mismo, instituciones como ITDG y PREDES han incentivado proyectos de viviendas económicas en la costa, con el uso de la quincha mejorada como solución a la escasez de vivienda. Esta tecnología se caracteriza por ser sólida, ligera de peso, y con buena cimentación. Es apropiada para suelos de poca capacidad portante. Además es una tecnología de bajo costo, fácil construcción y que utiliza recursos propios de la zona.

Las diferencias principales entre esta tecnología y la quincha tradicional son el uso de esteras en vez de cañas como membranas de relleno y la estructuración de los paneles de madera. La estructura consiste básicamente de madera (aserrada o rolliza) empotrada en una cimentación de concreto simple (en ciertos casos, concreto armado), revestida con esteras y enlucida con barro y mortero. El techo es ligero, ya sea de calamina, de esteras y barro, recubierto de concreto o de tejas. El conjunto estructural posee gran solidez y a la vez flexibilidad inigualable para absorber la fuerza sísmica (Ver Figura 7.11).

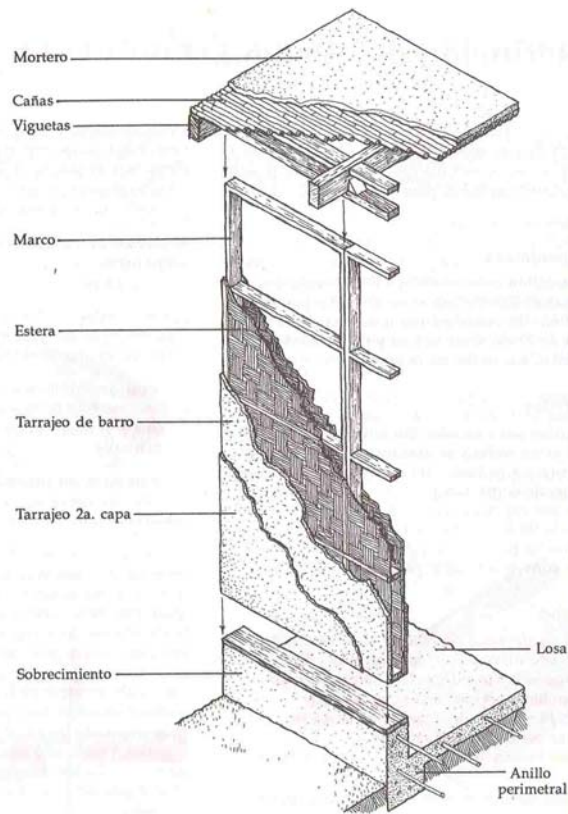


Figura 7.11 Elementos del Panel de quincha mejorada (Bariola)

La cimentación se elabora en base a concreto pobre. Los cimientos son corridos a lo largo de los muros y tienen una profundidad de 0,40 m. Las columnas se elaboran de madera tornillo de sección cuadrada de 4" x 4" y van incrustadas en los cimientos. Por encima del sobrecimiento se coloca una viga solera o collar de madera tornillo de 4" x 3" rodeando todo el perímetro de la vivienda. Sobre esta viga se conectan las columnas y los parantes de los paneles de quincha (Ver Figura 7.12).

Los muros están formados por esteras (cañas tejidas) colocadas sobre el bastidor conformado por parantes, columnas, viga solera y travesaños. Los muros son cubiertos con barro en primer lugar y un enlucido final de cemento desde el sobrecimiento hasta la parte superior.

El techo es de barro y concreto y descansa sobre viguetas de caña que se apoyan en la viga collar. Todas las uniones de los elementos de madera se hacen con clavos de

4" y de 6" de longitud. Para fijar las vigas y cañas a los techos y travesaños se utilizan clavos de 2 ½" de longitud.

Como refuerzo para las uniones con clavos se utiliza amarres de alambre #16. Igualmente los muros de quincha mejorada se refuerzan con el uso de mallas de alambre # 16 colocadas luego de la capa de barro, para así asegurar que el enlucido final de cemento-arena no se desprenda (Bariola).

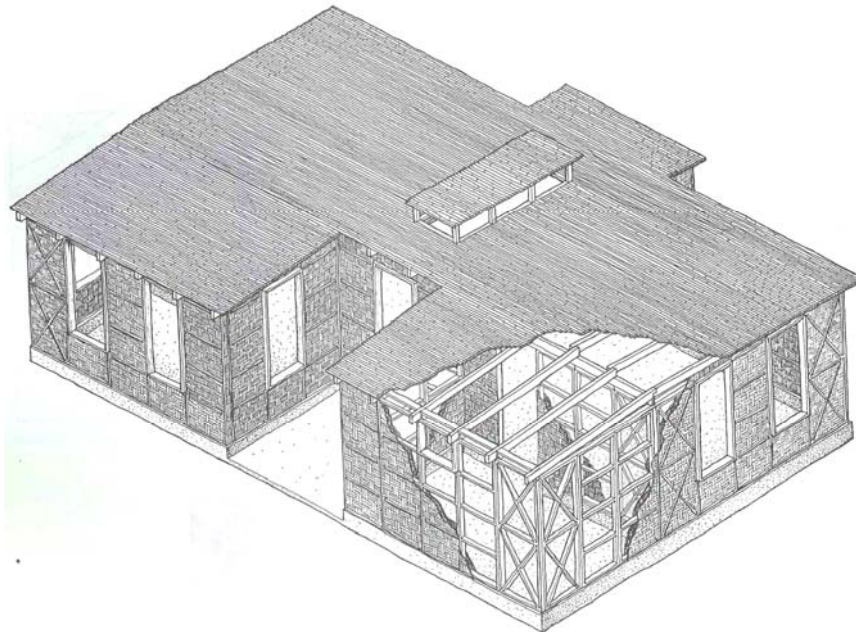


Figura 7.12 Módulo de elaborado con quincha mejorada (Bariola)



## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES

Frente a las solicitaciones sísmicas establecidas, se comprueba que las viviendas de tapial y adobe son las más vulnerables. Por otro lado, las viviendas de quincha presentan un comportamiento aceptable. En el caso de las viviendas republicanas, a pesar de conformarse de muros de adobe, éstas presentan un comportamiento aceptable frente las solicitaciones sísmicas debido al aporte de los muros de quincha del segundo piso.

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 solicitud, mientras que las viviendas republicanas en buen estado mantendrán su estabilidad. En el caso de un sismo muy raro, de 0,5g se espera que todas las viviendas estudiadas colapsen.

Los resultados muestran el comportamiento de las viviendas seleccionadas ante los sismos de análisis. El hecho de ser construcciones representativas permite mostrar que un gran número de viviendas de características similares presentan las mismas tendencias.

Los resultados muestran parámetros que evalúan tendencias y el comportamiento general de las estructuras analizadas. Cálculos más refinados permitirían evaluar mejor su comportamiento. Asimismo la evaluación de un mayor número de viviendas complementaría esta investigación.

Se recomienda que en un siguiente paso del proyecto se realicen ensayos de las tecnologías tradicionales de tierra, con lo cual se podría realizar un análisis más detallado de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas.



## REFERENCIAS

- BARIOLA, J. *“Diseño y Construcción en Quincha”*. Proyecto Pontificia Universidad Católica del Perú – Universidad Técnica de Nueva Escocia de Canadá. Lima, Perú.
- BLONDET, M., ZEGARRA, L., PERLA, M. 1986. *“Comportamiento sísmico de las estructuras de quincha”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- BLONDET, M., MAYES, R., VILLABLANCA, R., KLINGNER, R. 1989. *“Performance of Engineered Masonry in the Chilean Earthquake of March 3, 1985”*. Computech Engineering Services Inc. Estados Unidos.
- BLONDET, M., VARGAS, J., TARQUE, N. 2004. *“Reflexiones sobre la normatividad para la construcción sismorresistente de edificaciones de adobe”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- CARAZAS, W. 2001. *“Vivienda urbana popular de adobe en el Cusco Perú”*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, Francia.
- CASTILLO, J., ALVA, J. 1993. *“Peligro Sísmico en el Perú”* Memorias del VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Lima, Perú.
- EERI. 2000. Página Web: <http://www.world-housing.net/>
- GRÜNTAL. 1998. *“Escala Macrosísmica Europea EMS-98”*. Cuadernos del Centro Europeo de Geodinámica y Geología. Luxemburgo.
- GTZ. 2002. *“Terremoto?... Mi casa si resiste – Manual de Construcción para Viviendas Sismo Resistentes en Adobe”*. Arequipa, Perú.
- GUTIERREZ, L., MANCO, T., 2005. *“Informe Final: Caracterización de las construcciones de viviendas en el Perú – información para la enciclopedia mundial de las construcciones de vivienda en áreas sísmicas, segunda etapa”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- FEMA. 2004. Página Web: [www.fema.gov/pdf/hazards/351ch3.pdf](http://www.fema.gov/pdf/hazards/351ch3.pdf)
- IAEE. 2004. *“Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction”*. IAEE-NICEE, Estados Unidos.
- INEI. 1993. *“Resultados Definitivos de los Censos Nacionales: IX de Población y IV de Vivienda”*. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Lima, Perú.
- ININVI. 1989. *“Antecedentes históricos de la quincha”*. Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI). Lima, Perú.
- ININVI. 1989. *“Construcción con Tapial”*. Convenio ININVI – PUCP. Lima, Perú.



- JUNAC. 1984. *“Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”*. Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). Lima, Perú.
- KUROIWA, J. 1972. *“Quincha como material de construcción”*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- KUROIWA, J. 2002. *“Reducción de desastres: viviendo en armonía con la naturaleza”*. Ediciones del PNUD. Lima, Perú.
- LOAIZA, C. 2002. *“Caracterización de las construcciones de vivienda en el Perú – Información para la Enciclopedia Mundial de las Construcciones de Vivienda en Áreas Sísmicas”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- MADUEÑO, I. 2005. *“Reforzamiento de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- MELI, R., BAZÁN, E., PADILLA, M. 1978. *“Seguridad ante sismos de casas de adobe”*. Memorias del V Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Guadalajara, México.
- MUÑOZ, A. 2001. *“Ingeniería Sismorresistente”*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- MTC. 1997. *“Norma de Diseño y Construcción con Madera NTE-102”*. Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). Lima, Perú.
- MTC. 2000. *“Reglamento Nacional de Construcciones. Adobe: Norma Técnica de Edificación E-080”*. Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). Lima, Perú.
- MVCS. 2003. *“Norma peruana de diseño sismorresistente NTE.0.30”*. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Lima, Perú.
- OPS. 1993. *“Decenio Internacional para la Reducción de Desastres Naturales”*. Organización Panamericana de Salud. Estados Unidos.
- OTTAZZI, G., MELI, R. 1981. *“Investigación Comparativa sobre la Resistencia del Adobe”*. IV Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Chiclayo. Perú y México.
- OTTAZZI, G., YEP, J., BLONDET, M., VILLA GARCIA, G., GINOCCHIO, F. 1989. *“Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe”*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- OTTAZZI, G. 1995. *“Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento”*. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Red HABITERRA, La Paz, Bolivia

- PIQUÉ, J. 1992. *“Comportamiento de muros de quincha y su metodología de diseño”*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- SAN BARTOLOMÉ, A. 2002. *“Curso de Albañilería Estructural”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- SEAOC. 1995. *“Vision 2000 – A Framework for Performance-based Design”*. Structural Engineers Association of California. Estados Unidos.
- SOTELO, J. 1999. *“Análisis estadístico de la respuesta inelástica de estructuras sometidas a sismos peruanos”*. Lima, Perú.
- TEJADA, U. 2001. *“Buena Tierra: apuntes para el diseño y construcción con adobe: consideraciones sismorresistentes”*. Editorial: CIDAP. Lima, Perú.
- TIMOSHENKO, S. 1970. *“Teoría de placas y láminas”*. Editorial Urmo. Bilbao, España.
- TORREALVA, D. 2003. *“Caracterización de daños en construcciones de Adobe – Borrador”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- VARGAS, J., BLONDET, M. 1978. *“Vivienda Rural”*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- VARGAS, J., BARIOLA, J., BLONDET, M. 1984. *“Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe”*. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Tacna, Perú.
- VILDOSO, A., MONZÓN, F. 1984. *“Seguir construyendo con tierra: realidad socio-económica de la construcción con tierra en zona andina - Valle del Río Mantaro – Perú”*. Centro de Investigación y Aplicación – Tierra. Huancayo, Perú.
- VOLKER, H. 1981. *“Técnicas de Construcciones Autóctonas del Perú”*. Editorial AID. Universidad de Carnegie - Mellon. Pittsburgh Pennsylvania. Estados Unidos.
- ZEGARRA, L., SAN BARTOLOMÉ, A., QUIJUN, D., GIESECKE, A. 2001. *“Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica”*. Etapa 3 Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP. Lima, Perú.

# 1 General Information

## 1.1 Country:

Peru

## 1.2 Form ID Number:

LEAVE THIS QUESTION BLANK. COMPUTER WILL ASSIGN ID NUMBER LATER.

## 1.3 Housing Type:

Contemporary two floors adobe house building



## 1.4 Summary:

The adobe contemporary houses represent the most common housing construction practice found throughout the Peruvian Andes. The majority of houses have two stories, their walls are composed of adobe bricks a natural dried mix of sand, straw and water, laid with mud mortar. The roof structure is composed of timber beams and planks covered with mud and clay tiles.

The thermic properties and low cost make adobe houses the best solution for the inhabitants of this region of poor economic level. The dwelling typically is built by the owner. As it usually scarces of architectural or engineering professional direction, it is generally considered to be nonengineered construction. It is a high vulnerable structure under earthquakes.

## 1.5 Typical Period of Practice for Buildings of This Construction Type (to check any box, doubleclick, and then select "checked")

How long has this construction type been practiced?	Select one
< 25 years	<input type="checkbox"/>
< 50 years	<input checked="" type="checkbox"/>
< 75 years	<input type="checkbox"/>
< 100 years	<input type="checkbox"/>
< 200 years	<input type="checkbox"/>
> 200 years	<input type="checkbox"/>

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type still being practiced?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: The contemporary adobe house building results from the influence over adobe technique since pre-hispanic times until these days.

## 1.6 Region(s) Where Used

This type of construction is widespread on the peruvian andes, specially over the cities of: Cusco, Ancash, Ayacucho, Cajamarca and Puno. They represent 45% of all region houses.



Where is this construction type commonly found?	Select one
In urban areas	<input type="checkbox"/>
In rural areas	<input type="checkbox"/>
In suburban areas	<input type="checkbox"/>
Both in rural and urban areas	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable



Adobe house building on Cusco hills



## 2 Architectural Features

### 2.1 Openings

Window openings are 0,80x0,65 m<sup>2</sup> approximately, while the doors openings are 0,80x1,80 m<sup>2</sup>. Each floor has two sets of windows and doors, symmetrical distributed on the facade. These represents 25 to 30% of the overall wall surface area.

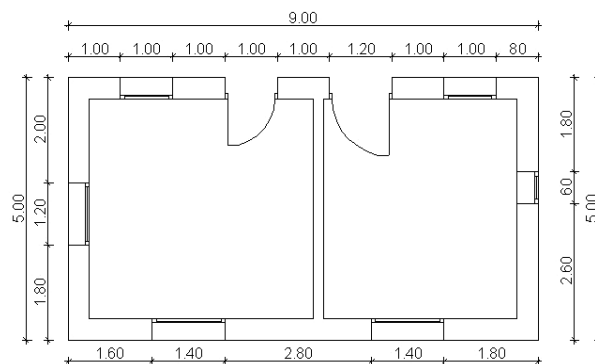
### 2.2 Sitting

	YES	NO
Is this type of construction typically found on a flat terrain?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this type of construction typically found on a sloped terrain (hilly areas)?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is it typical for the buildings of this type to have common walls with adjacent buildings?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

What is a typical separation distance between buildings: 0.04 meters

### 2.3 Building Configuration

The typical shape of a building plan is rectangular. They can also be L and C-shaped.



Plan of typical building

### 2.4 Building Function

What is the main function for buildings of this construction type?	Select one
Single family house	<input checked="" type="checkbox"/>
Multiple housing units	<input type="checkbox"/>
Mixed use (commercial ground floor, residential above)	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Some buildings has mixed use, they have groceries on the first floor and dwellings on the second floor.

## 2.5 Means of Escape

Besides the principal entrance, sometimes is required and auxiliary door to accede the garden. There are not auxiliary or emergency stairs.

## 2.6 Modification of Buildings

Many houses present extensions to buildings with clay or concrete masonry.



Means of escape: each room has its own door.



Adobe house building with shed roof.



Mixed use of adobe house and grocery building



### 3 Socio-Economic Issues

#### 3.1 Patterns of Occupancy:

Typically only one family inhabits the house.

#### 3.2 Number of Housing Units in a Building (estimate a number)

1 unit in each building.

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.3 Average Number of Inhabitants in a Building:

How many inhabitants reside in a typical building of this construction type?	During the day / business hours	In the evening/night
	Select all that apply	Select all that apply
< 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 to 10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10-20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other (provide numbers)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.4 Number of Bathrooms or Latrines per Housing Unit (if shared by more than one unit, number per Building—please indicate which):

1 bathroom and 1 latrine per housing unit.

Additional comments: The bathroom is not connected to the house. It is built on the corner, inside of the property.

#### 3.5 Economic Level of Inhabitants<sup>1</sup>

Economic Status	Select all that apply	House Price/Annual Income (ratio)
Very poor	<input type="checkbox"/>	/
Poor	<input checked="" type="checkbox"/>	2500 / 1700
Middle Class	<input type="checkbox"/>	/
Rich	<input type="checkbox"/>	/

Additional comments: Describe (% of population) the different economic status categories

#### 3.6 Typical Sources of Financing

What is a typical source of financing for	Select all that apply
---	-----------------------

<sup>1</sup> . Below are the general guidelines related to the economic status of the inhabitants:

Very Poor= lowest 10% of the population (per GDP)

Poor= lowest 30% of the population

Middle Class= from the lowest 30% up to the top 20% of the population

Rich= top 20% of the population

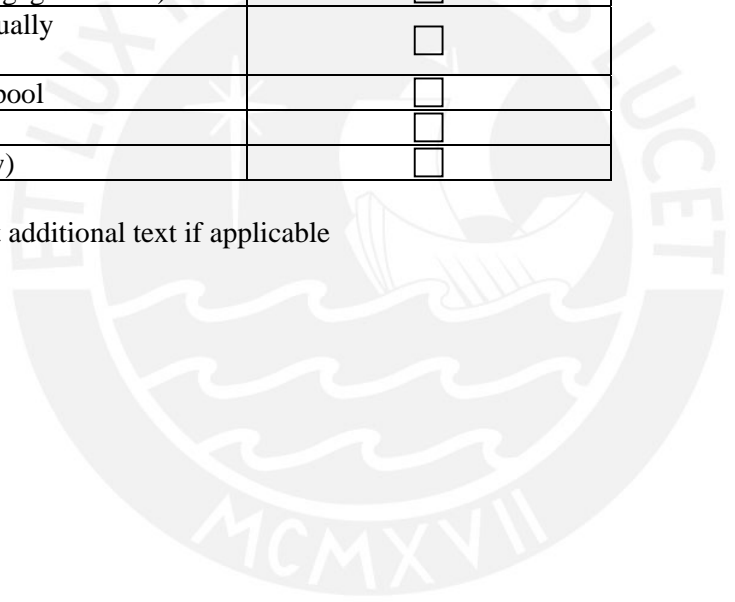
buildings of this type?	
Owner financed	<input checked="" type="checkbox"/>
Personal savings	<input checked="" type="checkbox"/>
Informal network: friends and relatives	<input checked="" type="checkbox"/>
Small lending institutions / micro-finance institutions	<input type="checkbox"/>
Commercial banks/mortgages	<input type="checkbox"/>
Investment pools	<input type="checkbox"/>
Combination (explain)	<input type="checkbox"/>
Government-owned housing	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 3.7 Ownership / Occupancy

Type of Ownership / Occupancy	Select all that apply
Rent	<input type="checkbox"/>
Own outright	<input checked="" type="checkbox"/>
Own with debt (mortgage or other)	<input type="checkbox"/>
Units owned individually (condominium)	<input type="checkbox"/>
Owned by group or pool	<input type="checkbox"/>
Long-term lease	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable





## 4 Structural Features

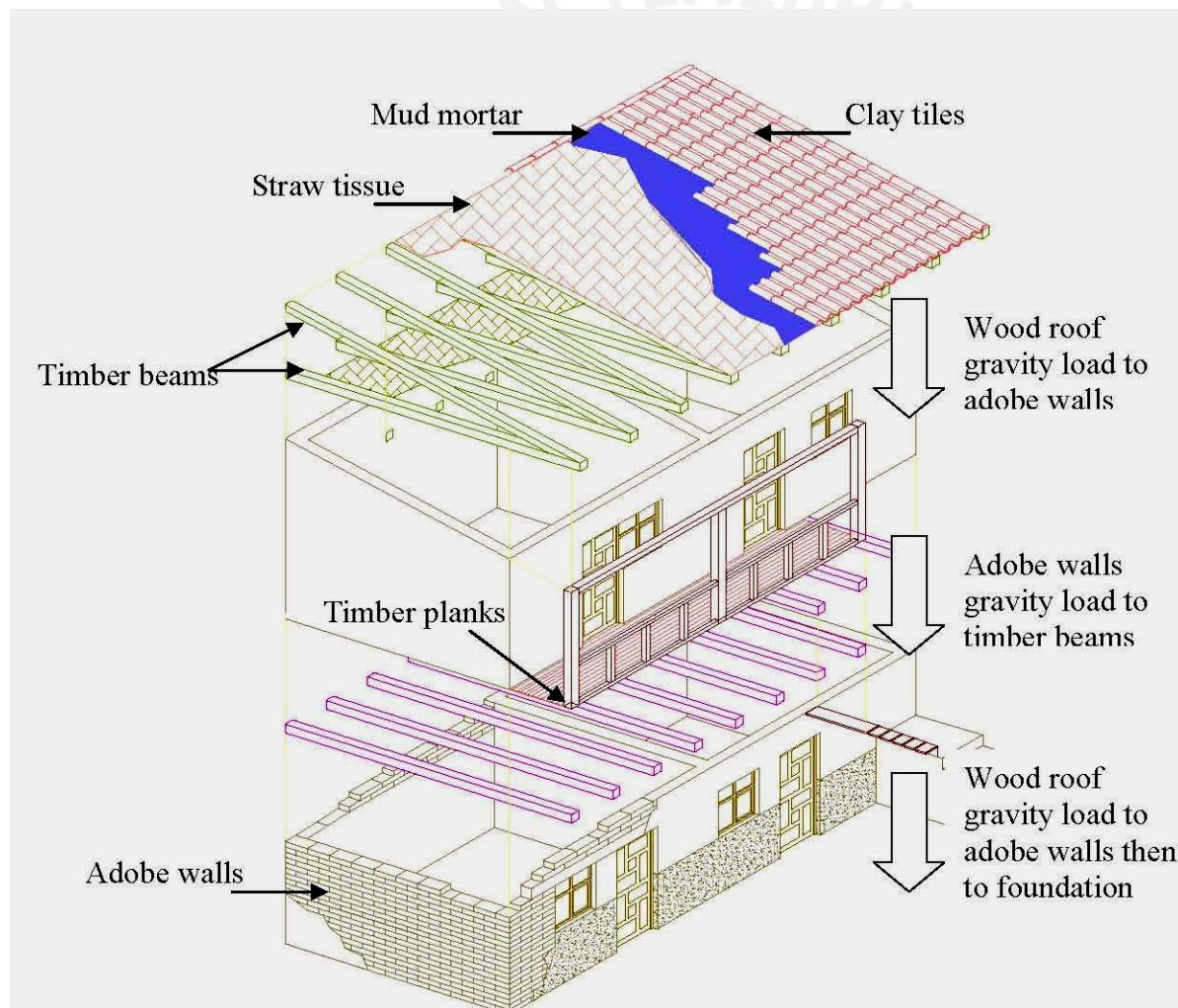
### 4.1 Lateral Load-Resisting System:

Wood roof structure usually performs as a flexible diaphragm. Also, as the building is not strengthened and there is not a properly mechanical connection between walls, the corners are a sensible part of the structure under lateral forces. As a consequence, these forces are not proportionally distributed. So, each adobe wall resists the seismic force related to its mass.

The high mass of the first floor walls added to the second floor walls increases seismic action. Meanwhile, openings decrease lateral resisting area. The intersection of high shear forces and low lateral resistance determines a vulnerability area to analyze. Spandrel walls are vulnerable areas too, usually considerable seismic forces overturn them.

### 4.2 Gravity Load-Bearing Structure:

Each roof turns their gravity load to the walls that supported them. The walls distribute the accumulated gravity load directly to foundation. Walls that do not support roofs, only distribute their own weight to the foundation.



Key load-bearing elements: adobe walls and wood roofs

Material	Type of Load-Bearing Structure	#	Subtypes	Select the most appropriate type
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	<input type="checkbox"/>
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)	<input type="checkbox"/>
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	<input type="checkbox"/>
		4	Mud walls with horizontal wood elements	<input type="checkbox"/>
		5	Adobe block walls	<input checked="" type="checkbox"/>
		6	Rammed earth/Pise construction	<input type="checkbox"/>
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	<input type="checkbox"/>
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts	<input type="checkbox"/>
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs	<input type="checkbox"/>
	Clay/concrete	10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams	<input type="checkbox"/>
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
			13	Large concrete block walls with concrete floors and roofs
Structural concrete	Moment resisting frame	14	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	<input type="checkbox"/>
		15	Designed with seismic features (various ages)	<input type="checkbox"/>
		16	Frame with unreinforced masonry infill walls	<input type="checkbox"/>
		17	Flat slab structure	<input type="checkbox"/>
		18	Precast frame structure	<input type="checkbox"/>
		19	Frame with concrete shear walls-dual system	<input type="checkbox"/>
	Shear wall structure	20	Precast prestressed frame with shear walls	<input type="checkbox"/>
		21	Walls cast in-situ	<input type="checkbox"/>
		22	Precast wall panel structure	<input type="checkbox"/>
		23	With brick masonry partitions	<input type="checkbox"/>
Steel	Moment-resisting frame	24	With cast in-situ concrete walls	<input type="checkbox"/>
		25	With lightweight partitions	<input type="checkbox"/>
		26	Concentric	<input type="checkbox"/>
	Braced frame	27	Eccentric	<input type="checkbox"/>
		28	Thatch	<input type="checkbox"/>
Wooden structures	Load-bearing timber frame	29	Post and beam frame	<input type="checkbox"/>
		30	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)	<input type="checkbox"/>
		31	Frame with (stone/brick) masonry infill	<input type="checkbox"/>
		32	Stud wall frame with plywood/gypsum board sheathing	<input type="checkbox"/>
		33	Wooden panel walls	<input type="checkbox"/>
			Other	34
	Other	35		<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.3 Type of Foundation

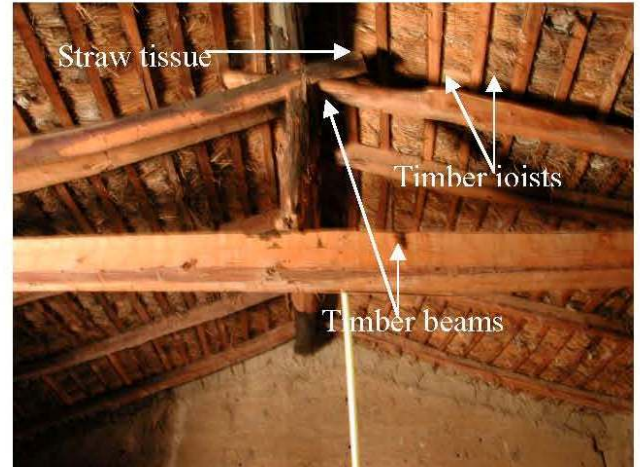
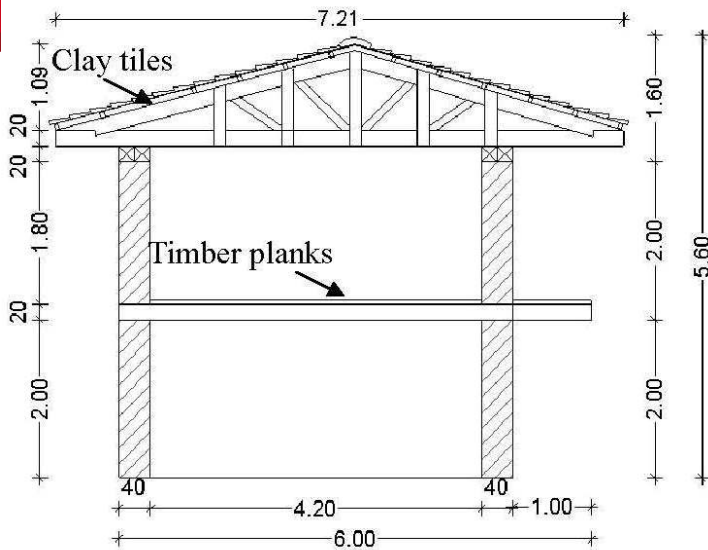
Type	Description	Select the most appropriate type
Shallow foundation	Wall or column embedded in soil, without footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone strip footing	<input checked="" type="checkbox"/>
	Reinforced concrete isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete strip footing	<input type="checkbox"/>
	Mat foundation	<input type="checkbox"/>
	No foundation	<input type="checkbox"/>
Deep foundation	Reinforced concrete bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Steel bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Wood piles	<input type="checkbox"/>
	Steel skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Cast in place concrete piers	<input type="checkbox"/>
	Caissons	<input type="checkbox"/>
Other		<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.4 Type of Floor/Roof System

Material	Description of floor/roof system	Floor (Select one)	Roof (Select one)
Masonry	Vaulted	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Composite masonry and concrete joist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Cast in place solid slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place waffle slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place flat slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast joist system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast planks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast beams with concrete topping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Post-tensioned slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steel	Composite steel deck with concrete slab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Timber	Rammed earth with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Thatched roof supported on wood purlins	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood shingle roof	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support clay tiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support slate, metal, asbestos-cement or plastic corrugated sheets or tiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood plank, plywood or manufactured wood panels on joists supported by beams or walls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other	Compacted earth and timber planks	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Wood roof diaphragm is considered flexible.



Typical gable floor structure

#### 4.5 Typical Plan Dimensions:

Length: 8 - 10 meters  
Width: 4 - 6 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.6 Typical Number of Stories:

2

#### 4.7 Typical Story Height:

2.40 - 3.20 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.8 Typical Span:

3 - 6 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.9 Typical Wall Density:

Wall Density in each principal direction varies from 25% to 40% for each floor, is not associated to plan shape: rectangular, L or C shaped.

#### 4.10 General Applicability of Answers to Questions in Section 4

The answers are based on recopilated information from bibliography and site exploration of 4 cities: Cusco, Huancayo, Ayacucho and Huaraz. It is considered that this information clearly represents typical contemporary two floors adobe building with a variation range of +/- 5%



## 5 Evaluation of Seismic Performance and Seismic Vulnerability

### 5.1 Structural and Architectural Features: Seismic Resistance<sup>1</sup>

Structural/ Architectural Feature	Statement <sup>2</sup>	Select one (X)		
		True <sup>3</sup>	False <sup>4</sup>	N/A
<b>Lateral load path</b>	The structure contains a complete load path for seismic force effects from any horizontal direction that serves to transfer inertial forces from the building to the foundation.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Building Configuration</b>	The building is regular with regards to both the plan and the elevation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Roof construction</b>	The roof diaphragm is considered to be rigid and it is expected that the roof structure will maintain its integrity, i.e. shape and form, during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Floor construction</b>	The floor diaphragm(s) are considered to be rigid and it is expected that the floor structure(s) will maintain its integrity during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation performance</b>	There is no evidence of excessive foundation movement (e.g. settlement) that would affect the integrity or performance of the structure in an earthquake.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Wall and frame structures-redundancy</b>	The number of lines of walls or frames in each principal direction is greater than or equal to 2.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall proportions</b>	Height-to-thickness ratio of the shear walls at each floor level is: Less than 25 (concrete walls); Less than 30 (reinforced masonry walls); Less than 13 (unreinforced masonry walls);	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation-wall connection</b>	Vertical load-bearing elements (columns, walls) are attached to the foundations; concrete columns and walls are doweled into the foundation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Wall-roof connections</b>	Exterior walls are anchored for out-of-plane seismic effects at each diaphragm level with metal anchors or straps	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall openings</b>	The total width of door and window openings in a wall is: For brick masonry construction in cement mortar : less than 1/2 of the distance between the adjacent cross walls; For adobe masonry, stone masonry and brick masonry in mud mortar: less than 1/3 of the distance between the adjacent cross walls; For precast concrete wall structures: less than 3/4 of the length of a perimeter wall.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of building materials</b>	Quality of building materials is considered to be adequate per the requirements of national codes and standards (an estimate).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of workmanship</b>	Quality of workmanship (based on visual inspection of few typical buildings) is considered to be good (per local construction standards).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Maintenance</b>	Buildings of this type are generally well maintained and there are no visible signs of deterioration of building elements (concrete, steel, timber)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Other</b>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Buildings can settle on a low quality soil that could affect their seismic performance. Walls and foundation do not have an adequate joint.

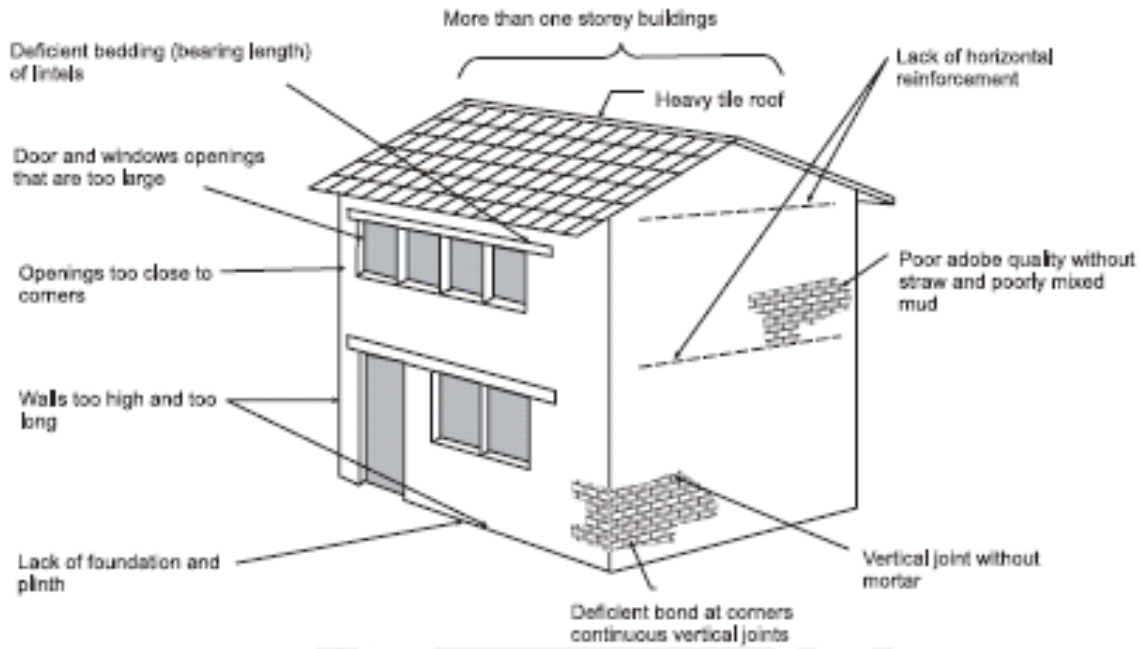
<sup>1</sup> This table should be filled out based on educated judgment — no design checks or calculations need to be performed.

<sup>2</sup> The main reference publication used in developing the statements used in this table is FEMA310 “Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard”, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1998.

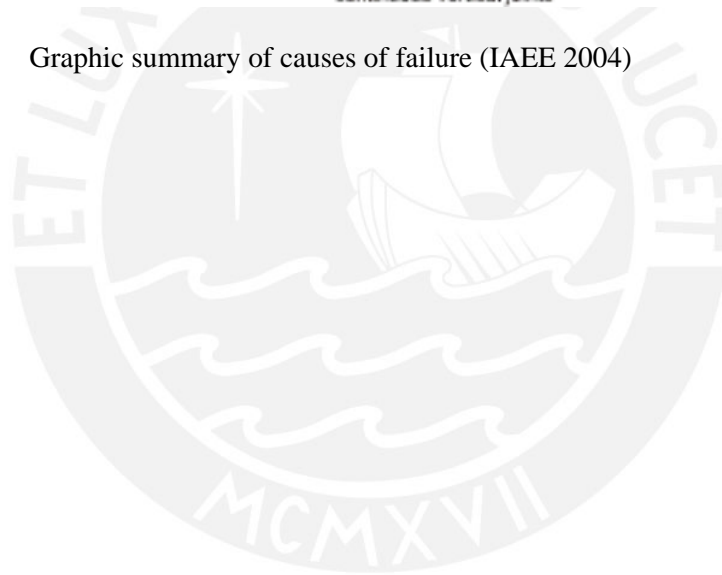
<sup>3</sup> Indicates good seismic resistance.

<sup>4</sup> Indicates poor seismic resistance.





Graphic summary of causes of failure (IAEE 2004)



5.2 Seismic Features

Structural Element <sup>1</sup>	Seismic Deficiency <sup>2</sup>	Earthquake Resilient Features <sup>3</sup>	Earthquake Damage Patterns <sup>4</sup>
<b>Wall</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heavy walls that absorb high seismic seismic forces increases damage</li> <li>- Adobe block walls have poor tensile and shear resistance</li> <li>- Lack of anchorage between walls.</li>   <li>Wall corners are pretty vulnerable</li> <li>- Walls have low resistance to out-of-plane seismic forces</li> <li>- Steel mesh keeps walls working as a unit.</li> <li>- Wooden beams act as lintels</li>   <li>Wall shear cracking</li> <li>- Absence of properly mortar adherence, do not guarantee the integrity of adobe bricks to structure</li> </ul>		<p>Out of plane forces:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Traction - flecional strenght causes cracks on wall corners</li> <li>- Collapse of the construction by tumble effects caused by the lose of base resistance</li>   <li>Plane forces:</li> <li>- Traction strenght casuse cracks on wall openings and joints</li> </ul>
<b>Roof and floors</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wood roof is flexible, forces are not distributed propotionaly to walls</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexible diaphragm avoid torsional forces</li> </ul>	
<b>Spandrel Wall</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lack of anchorage to adobe wall and floor makes it highly vulnerable under seismic forces</li> </ul>		
<b>Plan</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regular plans avoid torsional forces</li> </ul>	

Additional comments: This buildings are not strengthened.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate.

<sup>2</sup> Please describe in a few words.

<sup>3</sup> Describe positive structural features that contribute to the good seismic performance.

<sup>4</sup> Damage patterns observed in past earthquakes for this construction type.

### 5.3 Seismic Vulnerability Rating:

Prior to filling out the information required in the table below, please read the Guidelines in the Appendix, and the accompanying table

(Select one- use symbols listed in the Notes below the table)

Vulnerability						
High (Very Poor Seismic Performance)		Medium				Low (Excellent Seismic Performance)
A	B	C	D	E	F	
Seismic Vulnerability Class	O					

Notes:

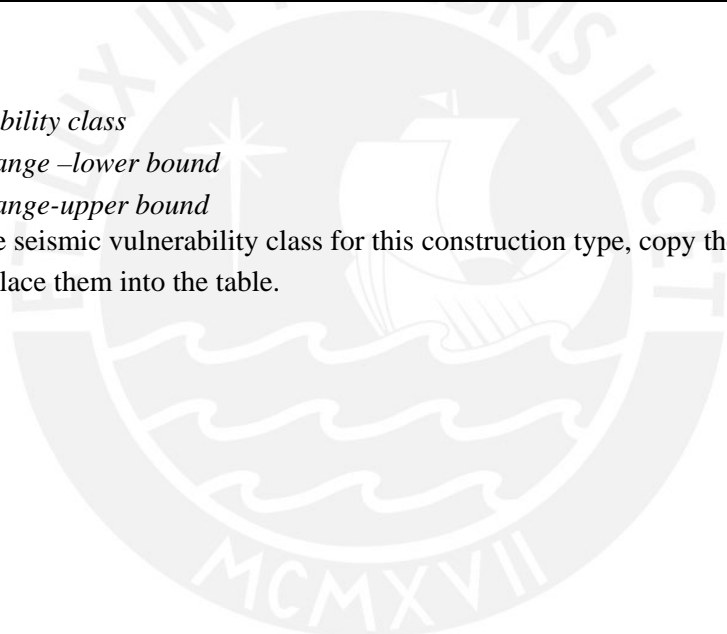
**O** = *Expected seismic vulnerability class*

**<** = *Probable vulnerability range –lower bound*

**>** = *Probable vulnerability range-upper bound*

Once you have determined the seismic vulnerability class for this construction type, copy the above symbols: **O**,

**<**, and **>** as appropriate and place them into the table.



## 6 Earthquake Damage Patterns<sup>1</sup>

### 6.1 List of reported past earthquakes in the country which affected buildings of this type

Year	Earthquake Epicenter	Richter magnitude (M)	Maximum Intensity ( <i>Indicate scale e.g. MMI, MSK</i> )
1970	Ancash	7.8	MMI= VIII
1960	Arequipa	7.5	MMI= VIII
1950	Cusco	6.0	MMI= VIII
1946	Ancash	7.3	MMI= XI

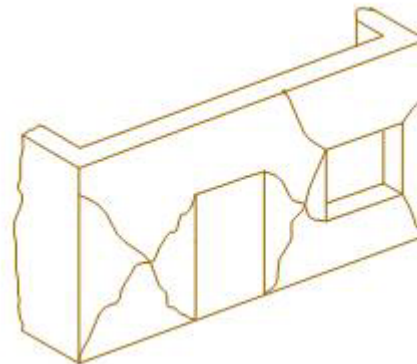
Additional comments: The expected seismic performance of adobe housing was studied at the University Pontificia Universidad Católica del Perú. After several seismic events that results on the total collapse of buildings. Based on laboratory vibratory table simulations on natural scale one floor houses and making a comparison with building seismic damage, it could be assured that these constructions can present three important damage patterns: 1. Wall upper corner cracking caused by traction-flectional strength. 2. Opening corners cracking caused by diagonal traction strength and 3. Tumble collapsing caused by out of plane strengths.



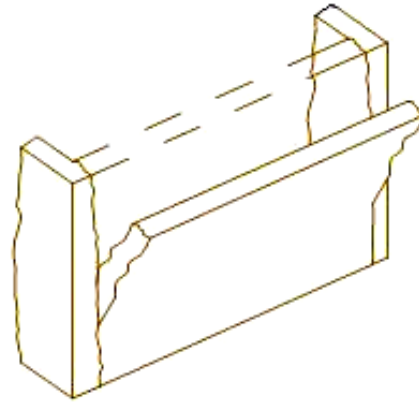
Damage on corners by Traction – flectional strength (photograph by San Bartolomé 2002)



Damage by diagonal traction strength (photograph by San Bartolomé 2002)



<sup>1</sup> As reported in the past earthquakes in the country - if applicable



Collapse by tumble effects (photograph by Quiun 2002)



Huaraz city: 100% adobe buildings destroyed during 1970's earthquake (Kuroiwa 2002)





## 7 Building Materials and Construction Process

### 7.1 Description of Building Materials

Structural element <sup>1</sup>	Building material(s)	Characteristic strength (see Note 1)	Mix Proportion/ Dimensions (see Note 2)	Comments
Walls	Adobe piles	Compression: 2MPa Shear: 50-100KPa Traction-flection: 40KPa	Masonry mortar mix: 1:8 (straw:soil) Bed mortar: 1:3 (straw:soil) Masonry brick dimensions: 10mm x 200mm x 400mm	Adobe wall resistance varies considerable according to mortar mix that depends on the kind of soil and its components
Foundations	Rubble stone	-		
Frame				
Roof and floors	Wood	Tension (paralell): 14MPa Compression (perpendicular): 4MPa Shear: 1.5MPa		
Other				
Other				

Notes:

1. Tension/compression/shear strength (e.g. concrete compression strength, steel yield strength, masonry compressive/shear strength)
2. Explain mix of different materials used in the construction e.g. masonry mortar mix (1:6 cement/sand mortar or 1:3 lime/sand mortar); concrete mix 1:2:4 (cement:sand:aggregate) ; dimensions of masonry units e.g. brick size 228mm(9")x 114mm(4.5")x 76 (3")

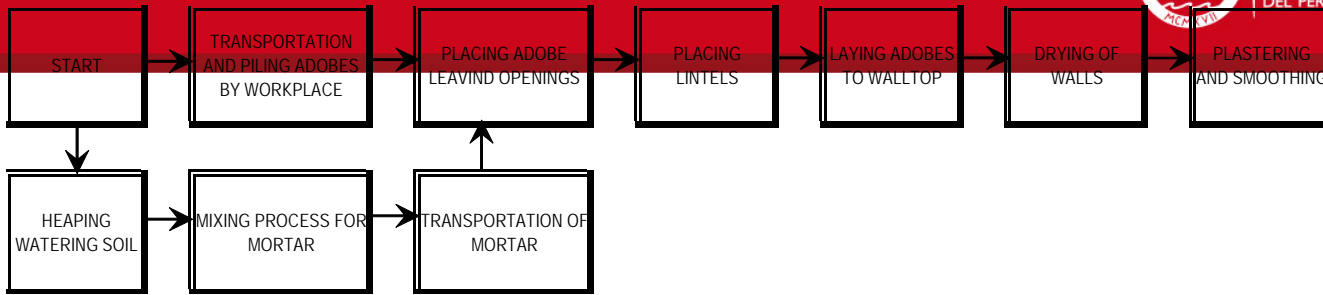
### 7.2 Does the builder typically live in this construction type, or is it more typically built by developers or for speculation?

Builders typically live in these house. Sometimes, a master builder constructs them.

### 7.3 Construction Process

Normally house owner constructs the building. First, the mix is prepared with mud and straw and is left to rest by two days. Then, adobe blocks are prepared using wood molds and left to dry for two weeks. The foundation trench is caved with a minimum depth of 0.40 meters. The foundation is composed of mud and stones. Adobe blocks are piled on the foundation with a bed mortar of mud and straw until achieve the highness required. Roof or floor wood beams are settle on adobe walls. The roof is a wood structure with a coberture of canes, mud and clay tiles. Finally, walls can be covered with a mud or gypsum layer.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate



Flow chart of adobe walls construction (Volker, 1981)

#### 7.4 Design/Construction Expertise

There are not expert designers. In general, this houses are built by terrain owners without technical advice, or are built by master builders, who did not consider seismic effects.

#### 7.5 Building codes and standards

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type addressed by codes/standards?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

If the answer to the above question is YES:

What is the title of the code or standard? Peruvian Adobe Structure Code (NTE 0.80)

What year was the first code/standard addressing this type of construction issued? 1977

If applicable, please include the national building code, material codes and seismic codes/standards:

Peruvian Building Code 1997

Please indicate when the most recent code/standard addressing this construction type was issued: 2000

#### 7.6 Role of Engineers and Architects:

In general, engineers role in design is scarce. Although, there are investigation for new seismic resistance adobe houses construction or for existing houses strengthening.

#### 7.7 Building Permits and Development Control Rules

	Select one	
	Yes	No
Are building permits required?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this typically informal construction <sup>1</sup> ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this construction typically authorized as per development control rules?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: In urban areas, building permits are required. However, in rural areas, usually the construction is informal and permits are not necessary.

#### 7.8 Phasing of Construction

Select one
------------

<sup>1</sup> Without permits, plans, inspection? – please give explanation

	Yes	No
Is it likely that construction of this type takes place over time? (incrementally)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Are the buildings originally designed for its final constructed size?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: The construction development is by phases. It depends on the owner's economic resources.

**7.9 Building Maintenance**

Who typically maintains buildings of this type?	Select all that apply
Builder	<input type="checkbox"/>
Owner (s)	<input checked="" type="checkbox"/>
Renter (s)	<input type="checkbox"/>
No one	<input checked="" type="checkbox"/>
Other (explain)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

**7.10 Process for Building Code Enforcement**

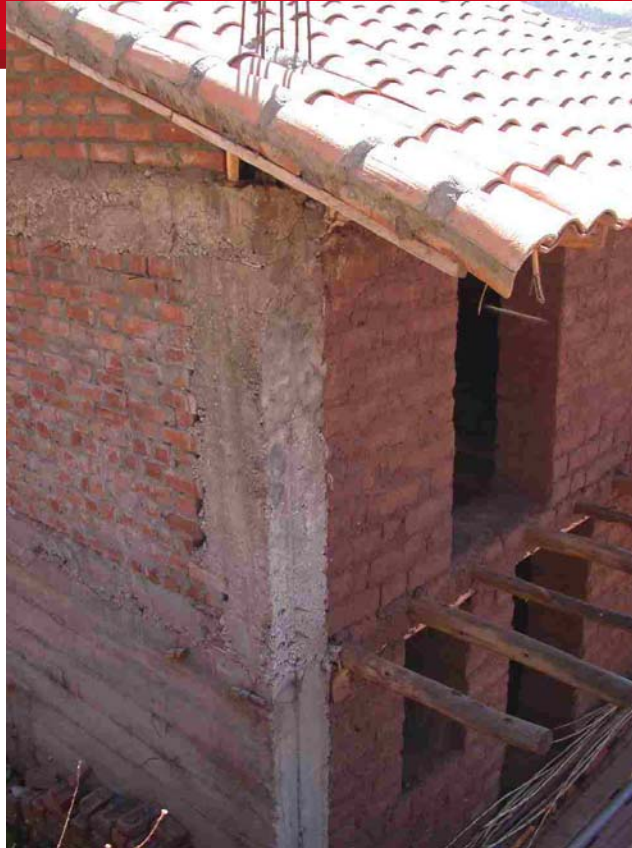
There is no supervision for building construction that could assure code recommendations.

**7.11 Typical Problems Associated with this Type of Construction**

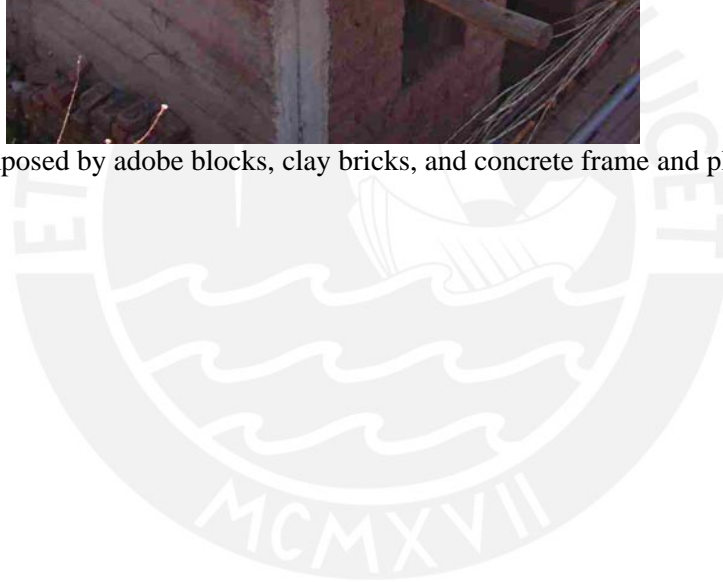
Lack of seismic construction under national codes. Absence of technical supervision to assure seismic resistance. The building materials are erosionable and can not bring seismic resistance without strengthening. Builders usually are not specialized neither qualified and sometimes decrease seismic resistance, ie: larger openings, more number of stories or adobe walls mixed with masonry.



Large openings



Walls composed by adobe blocks, clay bricks, and concrete frame and plate.



## 8 Construction Economics

### 8.1 Explain unit construction cost<sup>1</sup>

The average cost per m<sup>2</sup> for a two story building depends on workmanship:

- Qualified workmanship: \$ 65/m<sup>2</sup>
- Autoconstruction: \$ 50/m<sup>2</sup>

### 8.2 Explain labor requirements

With a squad of three men is possible to finish the construction in two months and three weeks.



<sup>1</sup> When calculating the conversion between local currency and U.S. dollars, please use the market rate if it is different from the official rate.



9.1 Insurance Issues

	Select one	
	Yes	No
Is earthquake insurance for this construction type typically available?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are premium discounts or higher coverage available for seismically strengthened buildings or new buildings built to incorporate seismically resistant features?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional Comments: Usually in the country houses do not have insurance.

9.2 If earthquake insurance is available, what does this insurance typically cover/cost?



## 10 Seismic Strengthening Technologies

### 10.1 Description of Seismic Strengthening Provisions

Type of intervention	Describe Structural Deficiency <sup>1</sup>	Description of seismic strengthening provision used <sup>2</sup>
Retrofit (strengthening)	Lack of anchorage between walls	Strengthening with wire mesh at both wall sides are covered with concrete mortar. On the first floor, all the surface area is overlaid. On the second floor, only wall corners are covered. It is a simple and economic system developed by the university Pontificia Universidad Católica del Perú. Recent researches tested geosynthetic reinforcement replacing wire mesh, tests have proved that it has high effectiveness.
	Low seismic performance of sprandel wall under out-of-plane forces	Reinforcement with timber planks and wire mesh on the sprandel wall base. It is a simple and practical provision.
	Adobe blocks stabilization	Producing stabilized adobe block with asphalt
New Construction	Absence of ductility in adobe walls. Low tensile and shear resistance.	Horizontal and vertical cane reinforcement. Cane provides more ductility to the walls and decreases lateral drifts. Its building is complicated and takes a long time. Also its feasibility depends on material's availability.
	Integrity of the structure	Wood beams at the roof level that connects all walls. It improves seismic forces distribution. Is a practical provision.
	Lack of anchorage between walls	Constuction of adobe columns or walls extensions at the walls corners. Is a economic provision, but is not an effective solution. Construction of concrete frame (beams and columns). It is a high effective solution to provide seismic resistance , but it is not economic. Wire mesh on walls and concrete beams.

Additional Comments: Insert additional text if applicable

### 10.2 Has seismic strengthening described in the above table been performed in design practice, and if so, to what extent?

The practice of these reinforcement systems is scarce. Although, there are projects that diffuse them, as design and construction manuals practiced by researchers.

### 10.3 Was the work done as a mitigation effort on an undamaged building, or as repair following earthquake damage?

The work was done in both cases.

### 10.4 Was the construction inspected in the same manner as new construction?

Yes, the construction was inspected by researchers.

<sup>1</sup> The fields on this table should preferably be the same as the fields used in table in section 5.2.

<sup>2</sup> Describe how it needs to be constructed, building materials used, its expected effectiveness, and the level of complexity in terms of construction

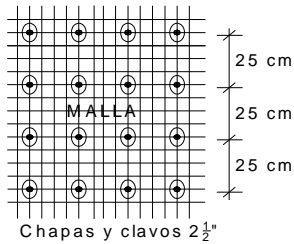
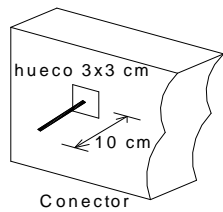
**10.5 Who performed the construction: a contractor, or owner/user? Was an architect or engineer involved?**

The owners constructs led by a civil engineer or researcher

**10.6 What has been the performance of retrofitted buildings of this type in subsequent earthquakes?**

The use of wire meshes is an excellent solution. On the research "Stabilization of existing adobe houses in Andean countries" (GTZ, CERESIS and PUCP project) twenty houses were reinforced; after the earthquake of the 23th June of 2001 (VII MMI intensity) reinforced buildings had an elastic performance. Then, the houses did not present damage as their collapsed neighbour's houses.

**FIGURE : Illustration of Seismic Strengthening Techniques**

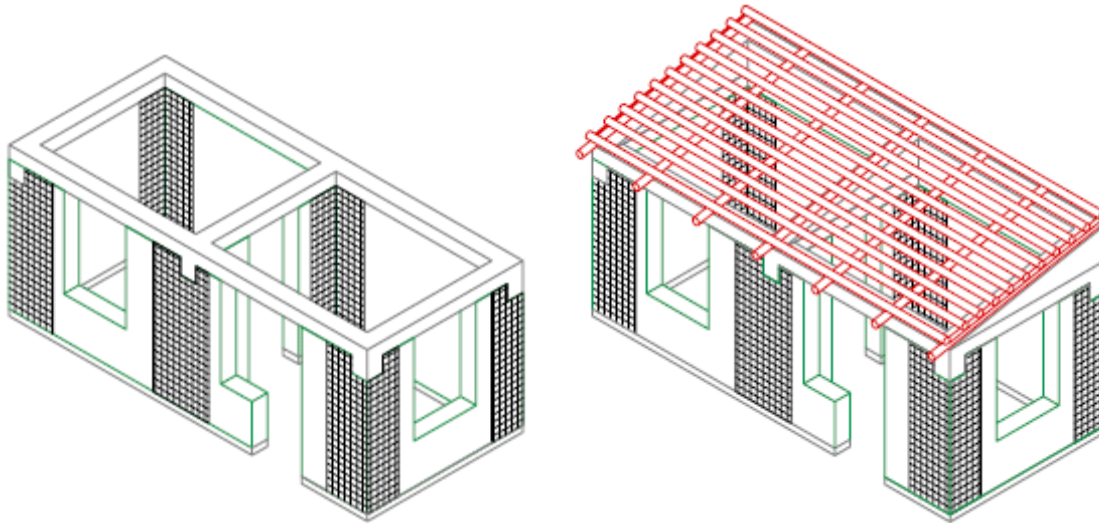


Seismic strengthening technologies: Retrofit with wire mesh. Retrofit of adobe contemporary house (photograph by San Bartolomé 2002)



House retrofitted with wire mesh after an earthquake without damage, neighbor's house collapsed (photograph by San Bartolomé 2002)

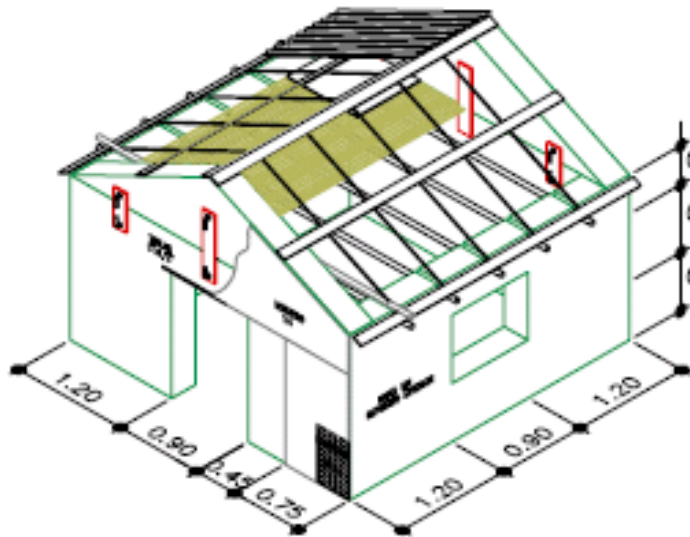




Seismic strengthening of new construction: provides anchorage and integrity of the structure by concrete beams, columns and wire meshes (GTZ 2002)

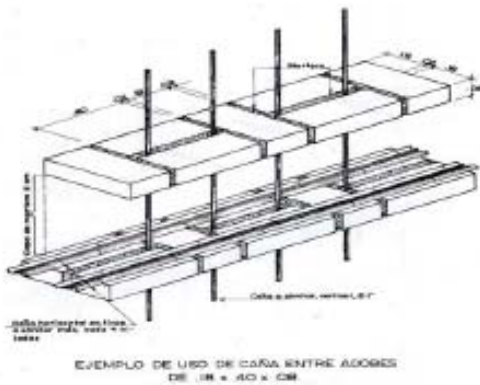


New house construction with wire mesh and concrete beam



Seismic strengthening of new construction: Spandrel wall retrofitted with timber planks (left).

Seismic strengthening of new construction: Integrity of the construction with concrete frame (right) (San Bartolome 2002)



Seismic strengthening of new construction: wall Reinforcement with canes (MTC 2000)

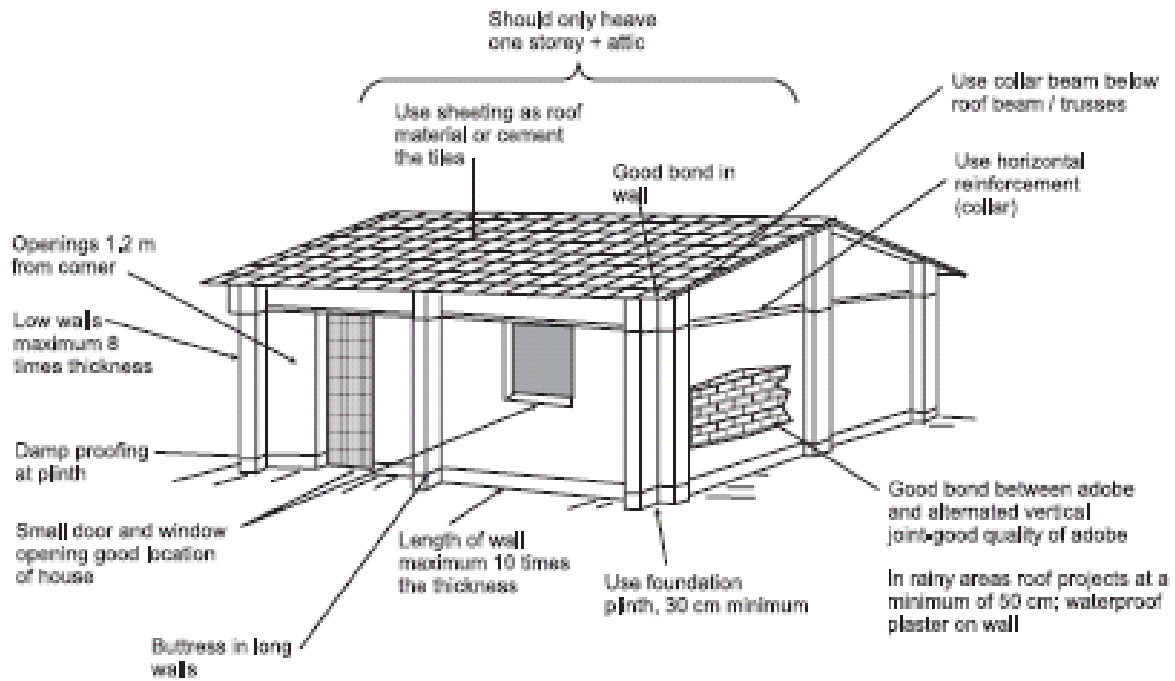




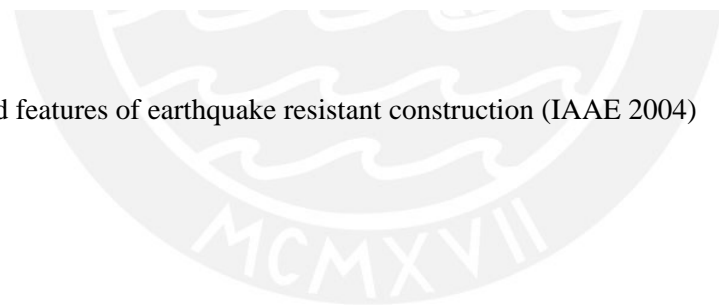
Seismic strengthening of new construction: provides anchorage by extensions to adobe walls



Adobe wall reinforced with geosynthetic after seismic test (Madueño 2005)



Good features of earthquake resistant construction (IAAE 2004)



CARAZAS, W. (2001), "Vivienda urbana popular de adobe en el Cusco Perú", Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, Francia.

GTZ (2002), "Terremoto?... Mi casa si resiste", Arequipa.

IAEE, NICEE (2004), "Guidelines for earthquake construction for non-engineered construction", International Association for Earthquake Engineering, National Information Center of Earthquake Engineering, India.

KUROIWA, J. (2002), "Reducción de desastres", Lima, 122-133.

MADUEÑO, I. (2005) "Reforzamiento de construcciones de adobe con elementos producidos industrialmente", PUCP, Lima.

MTC (2000), "Reglamento Nacional de Construcciones. Adobe: Norma Técnica de Edificación E-080". Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción - Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), Lima, Perú.

OTAZZI, G., MELI, R. (1981), "Investigación Comparativa sobre la Resistencia del Adobe", Perú y México.

SAN BARTOLOMÉ, A. (2002), "Curso de Albañilería Estructural", Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

TORREALVA, D. (2003), "Caracterización de daños en construcciones de Adobe – Borrador" Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

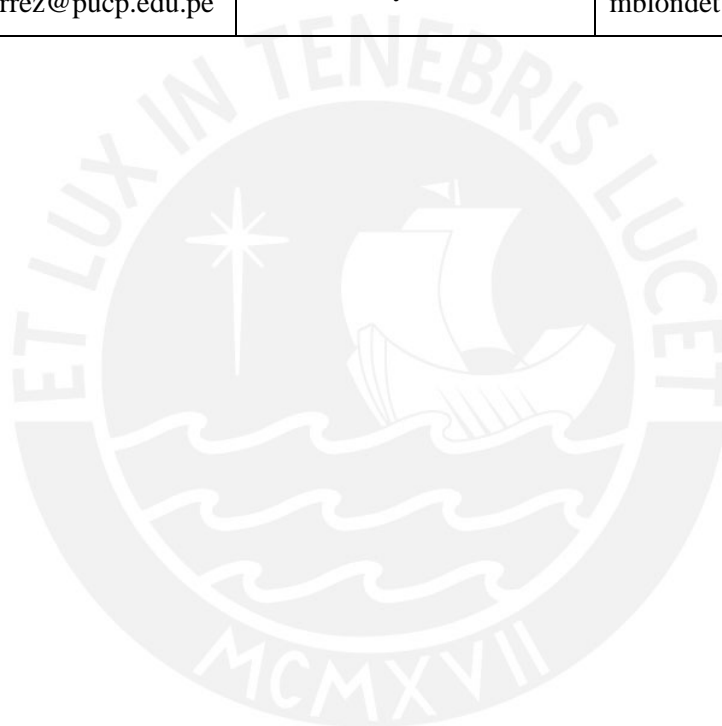
VARGAS, J., BARIOLA, J., BLONDET, M. (1984), "Resistencia Sísmica de la Mampostería de Adobe", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna

VOLKER, H. (1981) "Indigenous building techniques of Peru and their potential for improvement to better withstand earthquakes", Agency for International Development, Washington, D.C.

ZEGARRA, L., SAN BARTOLOMÉ, A., QUIJUN, D., GIESECKE, A. (2001) "Comportamiento ante el terremoto del 23-06-2001 de las viviendas de adobe reforzadas en Moquegua, Tacna y Arica", Etapa 3 Proyecto GTZ-CERESIS-PUCP, Lima

<sup>1</sup> Please list documents/publications referred to in filling out this form.

	<b>Participant #1</b>	<b>Participant#2</b>	<b>Participant#3</b>
Name	Lourdes Gutiérrez	Tatiana Manco	Marcial Blondet
Title/Position	Graduate	Graduate	Professor /Dean
Affiliation	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department/ School of Graduated
Address	Av. Benavides 2050	Av. Los Fresnos Mz G Lote 25	Av. Universitaria cdra. 18
Zip Code	Lima 18	Lima 12	Lima 21
Country	Perú	Perú	Perú
Phone	(511) 4340731	(511) 3654744	(511) 4602870 X 290
Fax	(511) 4340731		(511) 4636181
Email	lmgutierrez@pucp.edu.pe	tatimanco@yahoo.com.mx	mblondet@pucp.edu.pe



<sup>1</sup> Please list the name(s) and affiliation(s) of the project participants who have filled out this form. If more than 3 participants have filled out the form, please copy this table below and provide the required information.

<b>FIGURE 1: Typical Building (photo)</b>	Adobe 1.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 2: Adobe house building on Cusco hills</b>	Adobe 2.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 3: Plan of a Typical Building</b>	Adobe 3.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 4: Means of escape</b>	Adobe 4.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 5: Adobe house building with shed roof</b>	Adobe 5.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 6: Mixed use of adobe house and grocery building</b>	Adobe 6.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 7: Perspective Drawing Showing Key Load-Bearing Elements</b>	Adobe 7.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 8: Typical gable floor structure</b>	Adobe 8.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 9: Graphic summary of causes of failure</b>	Adobe 9.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 10: A Photograph Illustrating Typical Earthquake Damage - traction flection</b>	Adobe 10a.jpg Adobe 10b.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 11: A Photograph Illustrating Typical Earthquake Damage - diagonal traction</b>	Adobe 11a.jpg Adobe 11b.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 12: A Photograph Illustrating Typical Earthquake Damage - tumble effect</b>	Adobe 12a.jpg Adobe 12b.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 13: Huaraz city after 1970 earthquake</b>	Adobe 13.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 14: Flow chart of adobe walls construction</b>	Adobe 14.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 15: Typical problems - large opeinings</b>	Adobe 15.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 16: Typical problems - walls composed by different materials</b>	Adobe 16.jpg	
<b>FIGURE 17: Illustration of Seismic Strengthening Techniques</b>	Adobe 17a.jpg Adobe 17b.jpg Adobe 17c.jpg	
<b>FIGURE 18: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - house retrofited with wire mesh</b>	Adobe 18.jpg	
<b>FIGURE 19: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new construction with wire mesh and concrete beam</b>	Adobe 19.jpg	
<b>FIGURE 20: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new house built with wire mesh and concrete beam</b>	Adobe 20.jpg	
<b>FIGURE 21: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - spandrel wall retrofited and new construction with concrete frame</b>	Adobe 21a.jpg Adobe 21b.jpg	
<b>FIGURE 22: Illustration of Seismic</b>	Adobe 22.jpg	



Strengthening Techniques - new construction with canes		
<b>FIGURE 23:</b> Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new construction with adobe walls extensions	Adobe 23.jpg	
<b>FIGURE 24:</b> Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new construction with geosynthetic mesh	Adobe 24.jpg	
<b>FIGURE 20:</b> Good features of earthquakes resistant construction	Adobe 25.jpg	



## Appendix: Seismic Vulnerability Rating: A Guideline

“The term vulnerability is used in this document to express differences in the way that buildings respond to earthquake shaking. If two groups of buildings are subjected to exactly the same earthquake shaking, and one group performs better than the other, then it can be said that the buildings that were less damaged had lower earthquake vulnerability than the ones that were more damaged, or it can be stated that the buildings that were less damaged are more earthquake-resistant, and vice versa.” (an excerpt from the publication *European Macroseismic Scale 1998 (EMS1998)*, prepared by the European Seismological Commission, Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Vol.15, Luxembourg 1998). Note, therefore, that the use of word vulnerability in this document is not necessarily the same as other uses and definitions of the same word.

Classification of all structural types included in this document into six (6) classes of decreasing vulnerability (A, B, C, D, E, and F) is largely based on a similar classification presented in the EMS1998.

The first three classes A, B, and C, represent the most vulnerable (i.e. least earthquake-resistant) building types; e.g. Class A- adobe masonry (Types 3 and 5 in the table below) or rubble stone masonry (Type 1 in the table below); class B- typical brick masonry building (Type 7); Class C- reinforced concrete frame structure without seismic provisions (Type 13);

Classes D and E are intended to represent building types characterized with the reduced vulnerability (i.e. increased earthquake-resistance) as a result of inherent structural features and also special seismic design provisions; well-built timber, reinforced concrete and steel structures, as well as confined and reinforced masonry structures generally fall into vulnerability classes D and E.

Class F is intended to represent the vulnerability of a structure with a high level of earthquake-resistant design.

Participants should use their judgment in assigning the seismic vulnerability class to their building type. The table below has been prepared as a guide in the selection of a seismic vulnerability class and in the absence of other information can be used by the participant for the appropriate structural type. The vulnerability rating is subjective, and is intended to give a general estimation of the seismic vulnerability of the building type. It should not be used as a basis for statistical loss estimation or for evaluation of an individual building without additional information.

**Guidelines for Seismic Vulnerability of Construction Types**  
(based on European Macroseismic Scale 1998)

Material	Type of Load-Bearing Structure	No	Subtypes	Vulnerability Class						
				A	B	C	D	E	F	
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	λ						
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)		-	λ	-			
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	λ						
		4	Mud walls with horizontal wood elements	-	λ	-				
		5	Adobe block walls	λ						
		6	Rammed earth/Pise construction							
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	-	λ	-				
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts							
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs		-	λ	-			
		10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams			-	λ	-		
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)							
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)			-	λ	-		
Structural concrete	Moment resisting frame	13	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	-	-	λ	-			
		14	Designed with seismic features (various ages)			-	-	λ	-	
		15	Frame with unreinforced masonry infill walls							
		16	Flat slab structure		-	λ	-			
		17	Precast frame structure							
		18	Frame with concrete shear walls-dual system							
	Shear wall structure	19	Walls cast in-situ				-	λ	-	
		20	Precast wall panel structure		-	λ	-			
Steel	Moment-resisting frame	21	With brick masonry partitions							
		22	With cast in-situ concrete walls							
		23	With lightweight partitions							
	Braced frame	24				-	λ	-		
Wooden structures	Load-bearing timber frame	25	Thatch		-	λ	-			
		26	Post and beam frame			-	λ	-		
		27	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)							
		28	Frame with (stone/brick) masonry infill							
		29	Frame with plywood/gypsum board sheathing							
		30	Frame with stud walls				-	λ	-	
	Other	31								
	Other	32								



# 1 General Information

## 1.1 Country:

Peru

## 1.2 Form ID Number:

LEAVE THIS QUESTION BLANK. COMPUTER WILL ASSIGN ID NUMBER LATER.

## 1.3 Housing Type:

Tapial house building



## 1.4 Summary:

The tapial house building is the second in importance to adobe houses found throughout the Peruvian Andes. The tapial technique is based on pouring and compacting earth inside formworks, building up walls layer by layer. Historically, tapial technique has been widely used since pre-Inca times. The technology has no relevant changes and it is still used at present for rural construction. It reflects the Spanish influence of the colonial era on its architecture and materials, as in roofs composed of timber beams and planks covered with mud and clay tiles.

The dwelling typically is built by an expert builder, a traditional builder of the region. In this building construction is usual an absence of architectural or engineering professional direction, therefore it is generally considered to be nonengineered construction.

Because of its heavy weight (compared to clay masonry), its lack of joint between structural elements, and its performance in past earthquakes, tapial houses are considered a high vulnerable structure under earthquakes.

## 1.5 Typical Period of Practice for Buildings of This Construction Type (to check any box, doubleclick, and then select "checked")

How long has this construction type been practiced?	Select one
< 25 years	<input type="checkbox"/>
< 50 years	<input type="checkbox"/>
< 75 years	<input type="checkbox"/>
< 100 years	<input type="checkbox"/>
< 200 years	<input checked="" type="checkbox"/>
> 200 years	<input type="checkbox"/>

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type still being practiced?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: The typical tapial house described here represents houses built from the 1890's to today. In this years the technology has not suffered considerable changes.

## 1.6 Region(s) Where Used

In rural and urban areas settled on highland regions of Peruvian Andes tapial houses accounts for about 25% of total house building constructions. The principal cities where it develops are Huancayo, Ayacucho and Ancash.



Where is this construction type commonly found?	Select one
In urban areas	<input type="checkbox"/>
In rural areas	<input type="checkbox"/>
In suburban areas	<input type="checkbox"/>
Both in rural and urban areas	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable



Tapial house buildings on Mantaro valley



## 2 Architectural Features

### 2.1 Openings

There is not a significant variation in openings as they are limited by frameworks and tapial construction technique. Window openings are 1,50x0,60 m<sup>2</sup> (one tapial unit), while the doors openings are 0.90x1.80 m<sup>2</sup> (three tapial units high). In rural areas doors openings can enlarge if family main function is agriculture or cattle breed, as it is usual to keep animals inside the building. Although, usually openings represents 5 to 15% of the overall wall surface area.

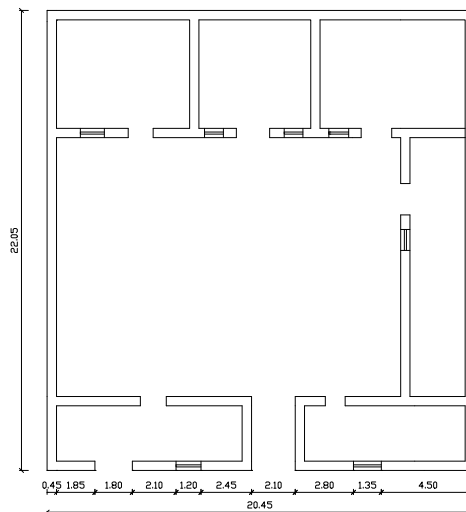
### 2.2 Sitting

	YES	NO
Is this type of construction typically found on a flat terrain?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this type of construction typically found on a sloped terrain (hilly areas)?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is it typical for the buildings of this type to have common walls with adjacent buildings?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

What is a typical separation distance between buildings: 0.04 meters

### 2.3 Building Configuration

The typical shape of a building plan is rectangular. They can also be L and C-shaped. Many of them have a central patio.



Plan of typical building

### 2.4 Building Function

What is the main function for buildings of this construction type?	Select one
Single family house	<input checked="" type="checkbox"/>

Multiple housing units	<input type="checkbox"/>
Mixed use (commercial ground floor, residential above)	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Sometimes many relatives share the house. It could also have a mixed use, as drugueries on the first floor and buildings on the second floor.

### 2.5 Means of Escape

Besides the principal entrance there is a backdoor to access the patio. There is only one main stair.

### 2.6 Modification of Buildings

Many houses present extensions to buildings with clay or concrete masonry.



Tapial house with hip roof



Typical tapial house with gable roof



Typical tapial house



### 3 Socio-Economic Issues

#### 3.1 Patterns of Occupancy:

Typically the house is occupied by one family whose may include three generations. The house owner may rent rooms to other families.

#### 3.2 Number of Housing Units in a Building (estimate a number)

1 unit in each building.

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.3 Average Number of Inhabitants in a Building:

How many inhabitants reside in a typical building of this construction type?	During the day / business hours	In the evening/night
	Select all that apply	Select all that apply
< 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 to 10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10-20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other (provide numbers)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.4 Number of Bathrooms or Latrines per Housing Unit (if shared by more than one unit, number per Building—please indicate which):

1 bathroom and 1 latrine per housing unit.

Additional comments: The bathroom is not connected to the house. It is built on the corner, inside of the property.

#### 3.5 Economic Level of Inhabitants<sup>1</sup>

Economic Status	Select all that apply	House Price/Annual Income (ratio)
Very poor	<input type="checkbox"/>	/
Poor	<input checked="" type="checkbox"/>	3000 / 1700
Middle Class	<input type="checkbox"/>	/
Rich	<input type="checkbox"/>	/

Additional comments: Describe (% of population) the different economic status categories

<sup>1</sup> . Below are the general guidelines related to the economic status of the inhabitants:

Very Poor= lowest 10% of the population (per GDP)

Poor= lowest 30% of the population

Middle Class= from the lowest 30% up to the top 20% of the population

Rich= top 20% of the population



3.6 *Typical Sources of Financing*

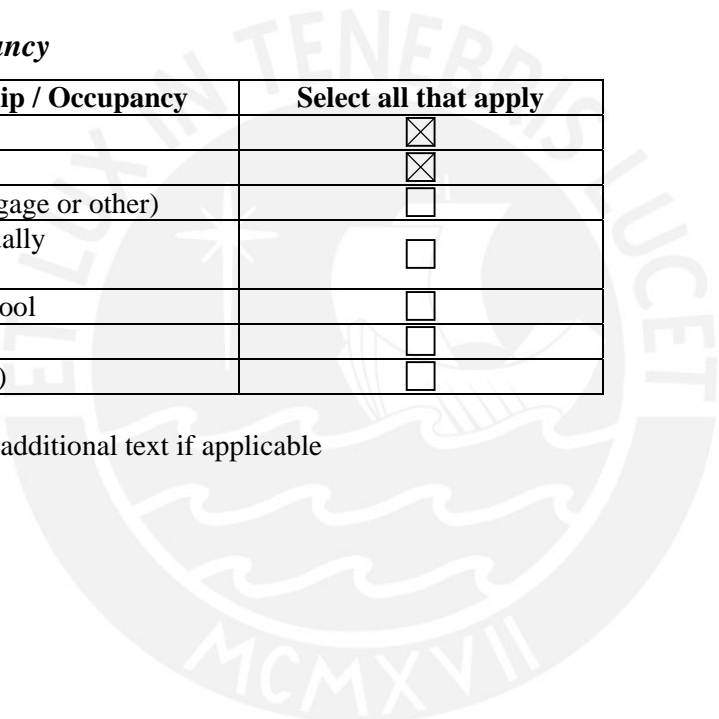
What is a typical source of financing for buildings of this type?	Select all that apply
Owner financed	<input checked="" type="checkbox"/>
Personal savings	<input checked="" type="checkbox"/>
Informal network: friends and relatives	<input checked="" type="checkbox"/>
Small lending institutions / micro-finance institutions	<input type="checkbox"/>
Commercial banks/mortgages	<input type="checkbox"/>
Investment pools	<input type="checkbox"/>
Combination (explain)	<input type="checkbox"/>
Government-owned housing	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

3.7 *Ownership / Occupancy*

Type of Ownership / Occupancy	Select all that apply
Rent	<input checked="" type="checkbox"/>
Own outright	<input checked="" type="checkbox"/>
Own with debt (mortgage or other)	<input type="checkbox"/>
Units owned individually (condominium)	<input type="checkbox"/>
Owned by group or pool	<input type="checkbox"/>
Long-term lease	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable



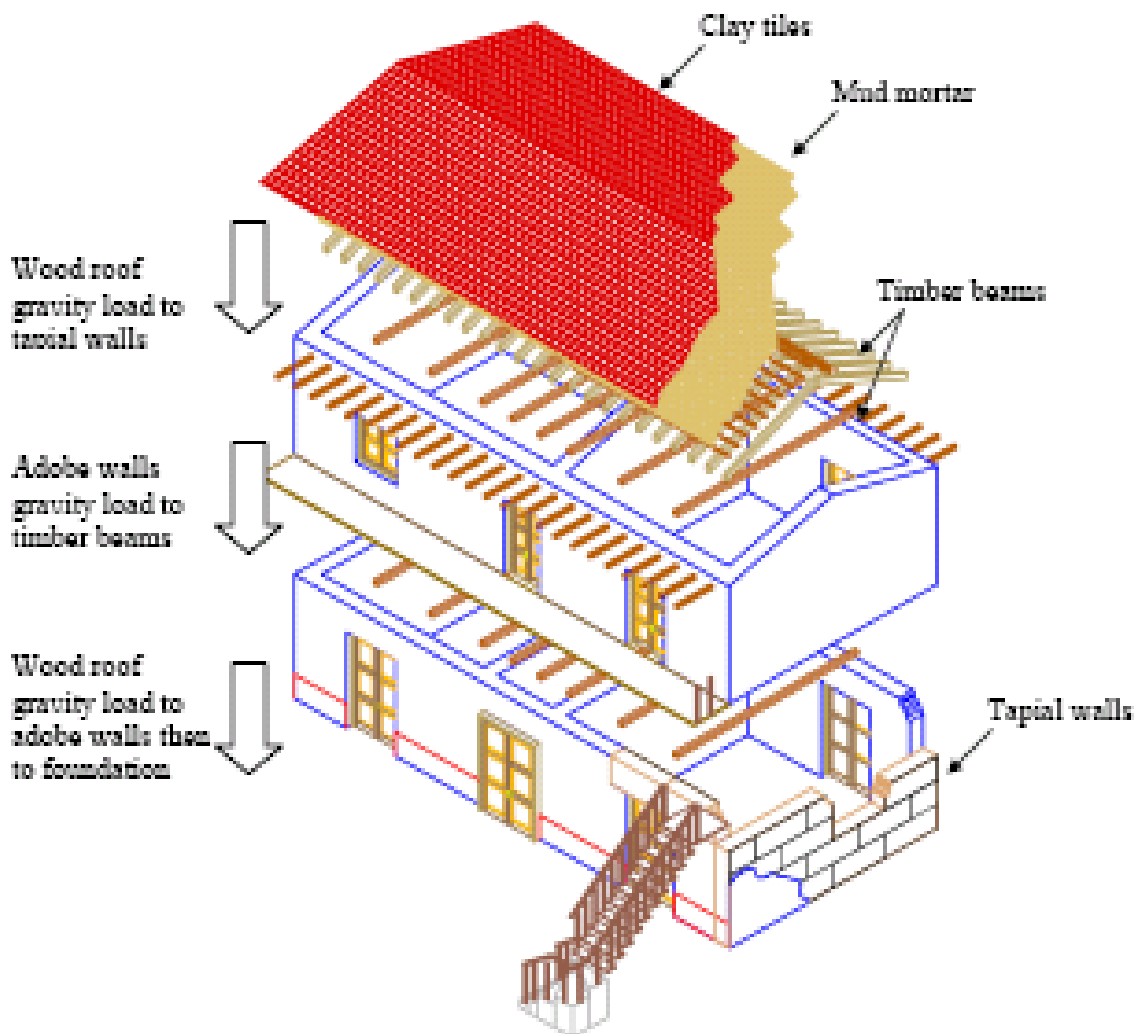
## 4 Structural Features

### 4.1 Lateral Load-Resisting System:

Wood roof structure is a flexible diaphragm, it do not distributes seismic forces to walls proportionally to their rigidity. Also, as walls are not properly mechanical connected, the corners are a vulnerable part of the structure under lateral forces. Therefore, each tapial wall provides lateral resistance proportionally to its mass. If shear resistance area decreases and/or its mass increases, in other words if they have openings and support roof structure, its vulnerability will increase.

### 4.2 Gravity Load-Bearing Structure:

Gravity loads are distributed by wood roof structure to walls that supports it. Then walls acumulate gravity loads, also if there are intermediate floor. Finally walls turns total gravity load directly to foundation. Walls that do not support roofs, only distributes their own weight to the foundation.



Key load-bearing elements: Tapial walls and wood roofs

*Type of Structural System*

Material	Type of Load-Bearing Structure	#	Subtypes	Select the most appropriate type
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	<input type="checkbox"/>
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)	<input type="checkbox"/>
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	<input type="checkbox"/>
		4	Mud walls with horizontal wood elements	<input type="checkbox"/>
		5	Adobe block walls	<input type="checkbox"/>
		6	Rammed earth/Pise construction	<input checked="" type="checkbox"/>
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	<input type="checkbox"/>
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts	<input type="checkbox"/>
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs	<input type="checkbox"/>
	Clay/concrete	10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams	<input type="checkbox"/>
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
			13	Large concrete block walls with concrete floors and roofs
Structural concrete	Moment resisting frame	14	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	<input type="checkbox"/>
		15	Designed with seismic features (various ages)	<input type="checkbox"/>
		16	Frame with unreinforced masonry infill walls	<input type="checkbox"/>
		17	Flat slab structure	<input type="checkbox"/>
		18	Precast frame structure	<input type="checkbox"/>
		19	Frame with concrete shear walls-dual system	<input type="checkbox"/>
		20	Precast prestressed frame with shear walls	<input type="checkbox"/>
	Shear wall structure	21	Walls cast in-situ	<input type="checkbox"/>
		22	Precast wall panel structure	<input type="checkbox"/>
		23	With brick masonry partitions	<input type="checkbox"/>
Steel	Moment-resisting frame	24	With cast in-situ concrete walls	<input type="checkbox"/>
		25	With lightweight partitions	<input type="checkbox"/>
		26	Concentric	<input type="checkbox"/>
	Braced frame	27	Eccentric	<input type="checkbox"/>
		28	Thatch	<input type="checkbox"/>
Wooden structures	Load-bearing timber frame	29	Post and beam frame	<input type="checkbox"/>
		30	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)	<input type="checkbox"/>
		31	Frame with (stone/brick) masonry infill	<input type="checkbox"/>
		32	Stud wall frame with plywood/gypsum board sheathing	<input type="checkbox"/>
		33	Wooden panel walls	<input type="checkbox"/>
			Other	34
	Other	35		<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.3 Type of Foundation

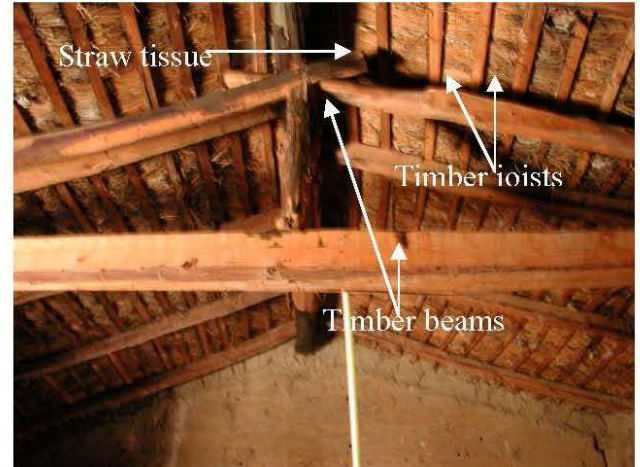
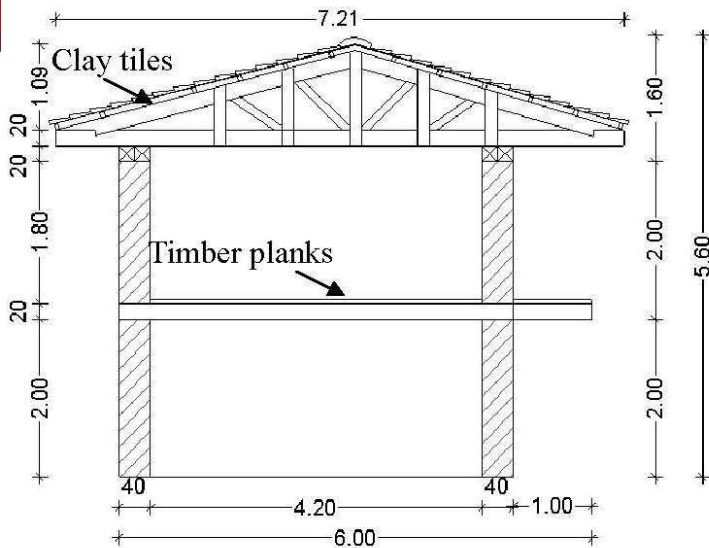
Type	Description	Select the most appropriate type
Shallow foundation	Wall or column embedded in soil, without footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone strip footing	<input checked="" type="checkbox"/>
	Reinforced concrete isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete strip footing	<input type="checkbox"/>
	Mat foundation	<input type="checkbox"/>
	No foundation	<input type="checkbox"/>
Deep foundation	Reinforced concrete bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Steel bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Wood piles	<input type="checkbox"/>
	Steel skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Cast in place concrete piers	<input type="checkbox"/>
	Caissons	<input type="checkbox"/>
Other		<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.4 Type of Floor/Roof System

Material	Description of floor/roof system	Floor (Select one)	Roof (Select one)
Masonry	Vaulted	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Composite masonry and concrete joist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Cast in place solid slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place waffle slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place flat slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast joist system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast planks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast beams with concrete topping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Post-tensioned slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steel	Composite steel deck with concrete slab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Timber	Rammed earth with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Thatched roof supported on wood purlins	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood shingle roof	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support clay tiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support slate, metal, asbestos-cement or plastic corrugated sheets or tiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood plank, plywood or manufactured wood panels on joists supported by beams or walls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other	Compacted earth and timber planks	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Wood roof diaphragms are usually flexible.



Typical roof structure

#### 4.5 Typical Plan Dimensions:

Length: 10 - 15 meters  
 Width: 5 - 10 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.6 Typical Number of Stories:

1 - 2

#### 4.7 Typical Story Height:

2,40 - 3,00 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.8 Typical Span:

5 - 7 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.9 Typical Wall Density:

There is wide variation in wall density, in each principal direction it varies from 25% until 70% for each floor, is not associated to plan shape: rectangular, L or C shaped.

#### 4.10 General Applicability of Answers to Questions in Section 4

The answers are based on recopilated information from bibliography and site exploration of 3 cities: Huancayo, Ayacucho and Huaraz. It is considered that this information clearly represents typical contemporary tapial building with a variation range of +- 5%



## 5 Evaluation of Seismic Performance and Seismic Vulnerability

### 5.1 Structural and Architectural Features: Seismic Resistance<sup>1</sup>

Structural/ Architectural Feature	Statement <sup>2</sup>	Select one (X)		
		True <sup>3</sup>	False <sup>4</sup>	N/A
<b>Lateral load path</b>	The structure contains a complete load path for seismic force effects from any horizontal direction that serves to transfer inertial forces from the building to the foundation.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Building Configuration</b>	The building is regular with regards to both the plan and the elevation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Roof construction</b>	The roof diaphragm is considered to be rigid and it is expected that the roof structure will maintain its integrity, i.e. shape and form, during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Floor construction</b>	The floor diaphragm(s) are considered to be rigid and it is expected that the floor structure(s) will maintain its integrity during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation performance</b>	There is no evidence of excessive foundation movement (e.g. settlement) that would affect the integrity or performance of the structure in an earthquake.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Wall and frame structures-redundancy</b>	The number of lines of walls or frames in each principal direction is greater than or equal to 2.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall proportions</b>	Height-to-thickness ratio of the shear walls at each floor level is: Less than 25 (concrete walls); Less than 30 (reinforced masonry walls); Less than 13 (unreinforced masonry walls);	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation-wall connection</b>	Vertical load-bearing elements (columns, walls) are attached to the foundations; concrete columns and walls are doweled into the foundation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Wall-roof connections</b>	Exterior walls are anchored for out-of-plane seismic effects at each diaphragm level with metal anchors or straps	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall openings</b>	The total width of door and window openings in a wall is: For brick masonry construction in cement mortar : less than 1/2 of the distance between the adjacent cross walls; For adobe masonry, stone masonry and brick masonry in mud mortar: less than 1/3 of the distance between the adjacent cross walls; For precast concrete wall structures: less than 3/4 of the length of a perimeter wall.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of building materials</b>	Quality of building materials is considered to be adequate per the requirements of national codes and standards (an estimate).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of workmanship</b>	Quality of workmanship (based on visual inspection of few typical buildings) is considered to be good (per local construction standards).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Maintenance</b>	Buildings of this type are generally well maintained and there are no visible signs of deterioration of building elements (concrete, steel, timber)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Other</b>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<sup>1</sup> This table should be filled out based on educated judgment — no design checks or calculations need to be performed.

<sup>2</sup> The main reference publication used in developing the statements used in this table is FEMA310 “Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard”, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1998.

<sup>3</sup> Indicates good seismic resistance.

<sup>4</sup> Indicates poor seismic resistance.

Additional comments: Building foundation can be poor on low capacity soils. Also, the lack of anchorage between foundation and walls can affects its seismic performance.



5.2 Seismic Features

Structural Element <sup>1</sup>	Seismic Deficiency <sup>2</sup>	Earthquake Resilient Features <sup>3</sup>	Earthquake Damage Patterns <sup>4</sup>
<b>Wall</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Heavy walls that muffle high seismic seismic forces causes more damage</li> <li>-Adobe block walls have poor tensile and shear resistance</li> <li>-Lack of anchorage between walls. Wall corners are pretty vulnerable</li> <li>-Walls have low resistance to out-of-plane seismic forces</li> <li>- Absence of mortar between blocks (dry joint), each block can have and individual performance that do not guarantee the integrity of the wall.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Horizontal cracks caused by shear-friction strenght over joints (dry joints).</li> <li>- Collapse of the construction by tumble effects caused by the lose of anchorage between blocks and the lose of base resistance</li> </ul>
<b>Roof and floors</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wood roof is flexible, forces are not distributed propotionaly to walls</li> </ul>		
<b>Spandrel Wall</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lack of anchorage between tapial wall and floor makes walls highly vulnerable under seismic forces</li> </ul>		
<b>Plan</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regular plans avoid torsion forces</li> </ul>	

Additional comments: This buildings are not strengthened.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate.

<sup>2</sup> Please describe in a few words.

<sup>3</sup> Describe positive structural features that contribute to the good seismic performance.

<sup>4</sup> Damage patterns observed in past earthquakes for this construction type.

### 5.3 Seismic Vulnerability Rating:

Prior to filling out the information required in the table below, please read the Guidelines in the Appendix, and the accompanying table

(Select one- use symbols listed in the Notes below the table)

Vulnerability						
High (Very Poor Seismic Performance)		Medium				Low (Excellent Seismic Performance)
A	B	C	D	E	F	
Seismic Vulnerability Class	O					

Notes:

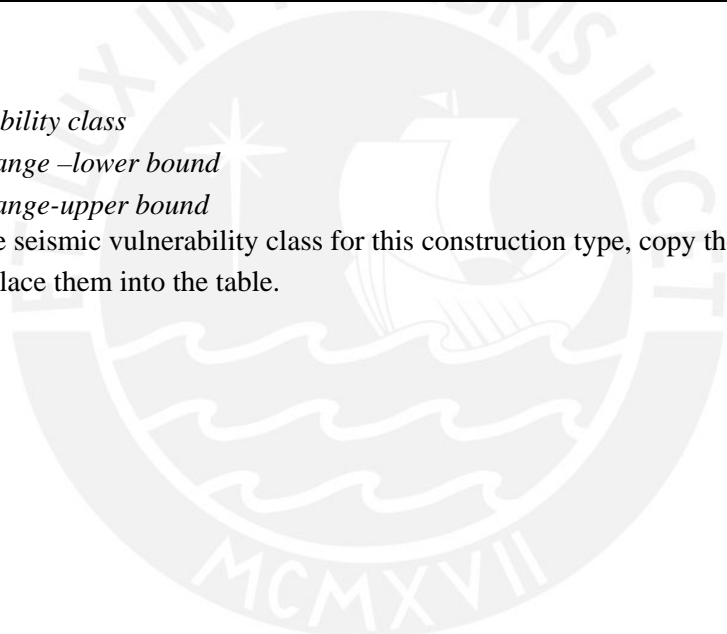
**O** = *Expected seismic vulnerability class*

**<** = *Probable vulnerability range –lower bound*

**>** = *Probable vulnerability range-upper bound*

Once you have determined the seismic vulnerability class for this construction type, copy the above symbols: **O**,

**<**, and **>** as appropriate and place them into the table.

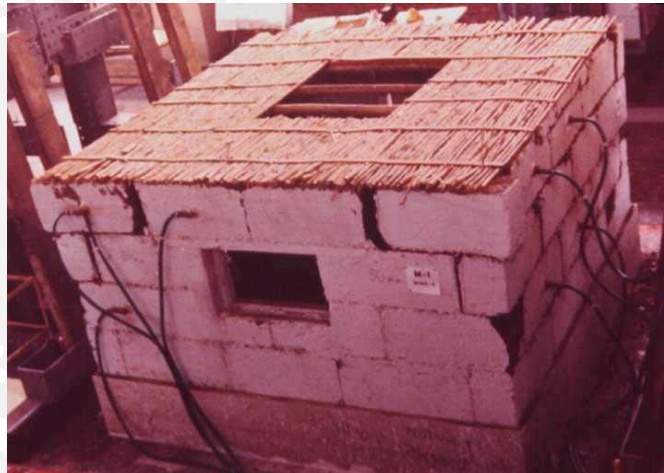
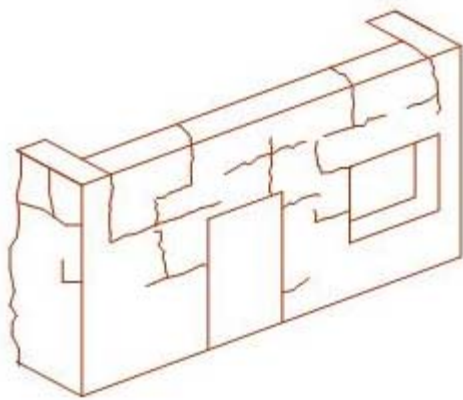


# 6 Earthquake Damage Patterns<sup>1</sup>

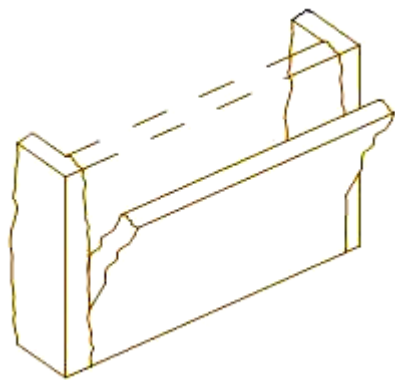
## 6.1 List of reported past earthquakes in the country which affected buildings of this type

Year	Earthquake Epicenter	Richter magnitude (M)	Maximum Intensity (Indicate scale e.g. MMI, MSK)
1946	Ancash	7,3 Ms	MMI= XI
1970	Ancash	7,8 Ms	MMI= VIII
1981	Ayacucho	5,5 mb	MMI= VII
2001	Apurímac	5,0 mb	MMI= IV - V

Additional comments: The performance of tapial housing was studied at the Univeristy Pontificia Universidad Católica del Perú in Lima. Laboratory lateral static essays on natural scale tapial walls and damage registered after eartquakes show that tapial houses can present two important damage patterns: 1. Displacement along horizontal joint caused by shear-friction strenght and 2. Tumble collapsing caused by out of plane strenghts.



Damage by displacement along horizontal joint (photograph by San Bartolome)



Collapse by tumble effects (photograph by San Bartolome)

<sup>1</sup> As reported in the past earthquakes in the country - if applicable



## 7 Building Materials and Construction Process

### 7.1 Description of Building Materials

Structural element <sup>1</sup>	Building material(s)	Characteristic strength (see Note 1)	Mix Proportion/ Dimensions (see Note 2)	Comments
Walls	Tapia blocks	Compression: 2MPa Shear: 50-100KPa	Masonry mortar mix: 1:8 (straw:soil) Bed mortar: 1:3 (straw:soil) Tapia block dimensions: 40mm x 60mm x 150mm	Tapial wall resistance varies considerable according to mortar mix that depends on the kind of soil and its components
Foundations	Rubble stone	-		
Frame				
Roof and floors	Wood	Tension (paralell): 14MPa Compression (perpendicular): 4MPa Shear: 1.5MPa		
Other				
Other				

Notes:

1. Tension/compression/shear strength (e.g. concrete compression strength, steel yield strength, masonry compressive/shear strength)
2. Explain mix of different materials used in the construction e.g. masonry mortar mix (1:6 cement/sand mortar or 1:3 lime/sand mortar); concrete mix 1:2:4 (cement:sand:aggregate) ; dimensions of masonry units e.g. brick size 228mm(9")x 114mm(4.5")x 76 (3")

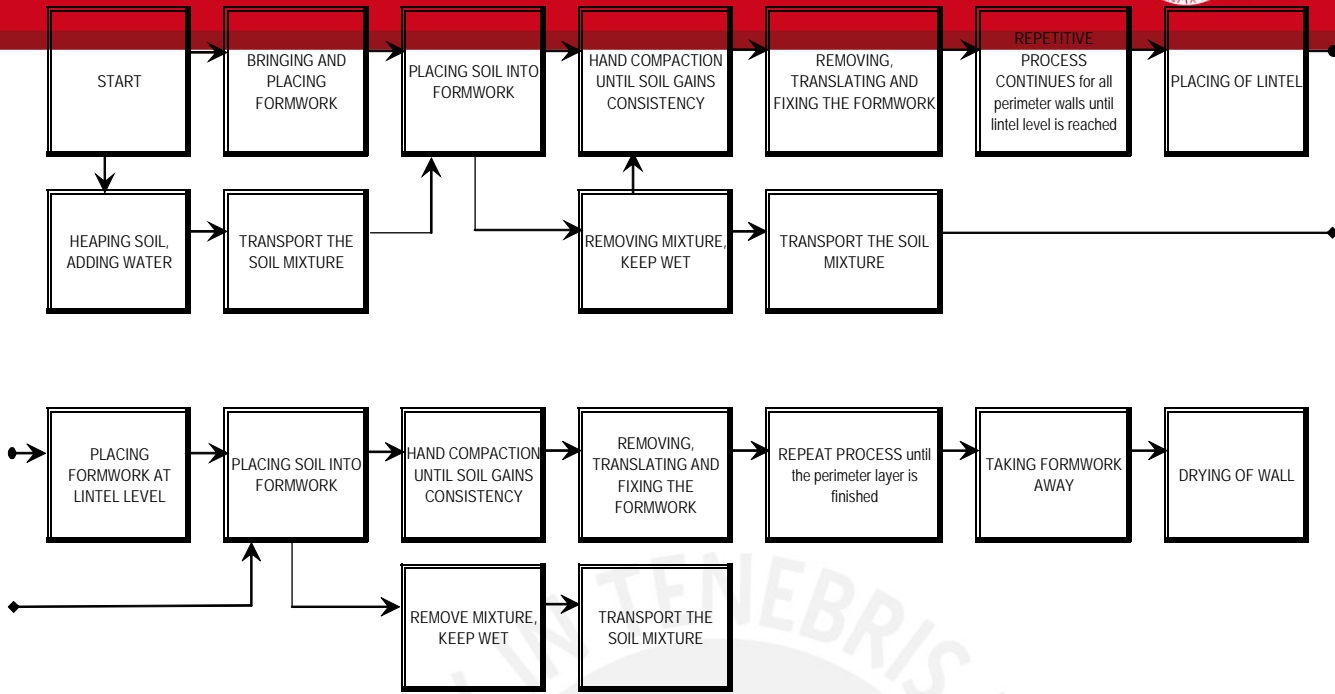
### 7.2 Does the builder typically live in this construction type, or is it more typically built by developers or for speculation?

This technologie needs expertise labor, master builders typically construct houses. Sometimes, are built by the house owner.

### 7.3 Construction Process

First, the foundation trench is caved with a minimum deep of 0.40 meters, the infill is a mix of mud and stones. Then, wood molds are placed over foundation to be filled with the mix of mud, straw and water. The mix is compacted with a rammer, this is the reason that this technologie is also called rammed earth construction. The forms are placed and filled by rows after the last row has dried, achiving the high required. Roof or floor wood beams are settle on tapia walls. The roof is a wood structure with a coberture of canes, mud, and clay tiles. Finally, walls can be covered with a mud or gypsum layer.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate



Flow chart of tapial wall construction (Volker 1981)



Tapial wall construction

### 7.4 Design/Construction Expertise

There are not expert designers but there are master builder expertises on tapial construction, although usually they do not consider seismic effects.

### 7.5 Building codes and standards

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type addressed by codes/standards?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

If the answer to the above question is YES:

What is the title of the code or standard? Peruvian Adobe Structure Code (NTE 0.80)

What year was the first code/standard addressing this type of construction issued? 1977

If applicable, please include the national building code, material codes and seismic codes/standards:

Peruvian Building Code 1997

Please indicate when the most recent code/standard addressing this construction type was issued: 2000

### 7.6 Role of Engineers and Architects:

There is not design made by engineers or architects. Although, some investigations to increase seismic resistance by reinforcement of new tapial constructions have been made.

### 7.7 Building Permits and Development Control Rules

	Select one	
	Yes	No
Are building permits required?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this typically informal construction <sup>1</sup> ?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this construction typically authorized as per development control rules?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: In urban areas, building permits are required. However, in rural areas, usually the construction is informal and permits are not necessary.

### 7.8 Phasing of Construction

	Select one	
	Yes	No
Is it likely that construction of this type takes place over time? (incrementally)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Are the buildings originally designed for its final constructed size?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Depending on the owner's economic resources, the construction could be developed by phases.

### 7.9 Building Maintenance

Who typically maintains	Select all that apply
-------------------------	-----------------------

<sup>1</sup> Without permits, plans, inspection? – please give explanation

buildings of this type?	
Builder	<input type="checkbox"/>
Owner (s)	<input checked="" type="checkbox"/>
Renter (s)	<input type="checkbox"/>
No one	<input checked="" type="checkbox"/>
Other (explain)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

**7.10 Process for Building Code Enforcement**

There is no supervision for building construction that could assure code recommendations.

**7.11 Typical Problems Associated with this Type of Construction**

Absence of construction and supervision under national codes. The building materials are highly erosionable that can not bring seismic resistance without strengthening. The wrong practice (poor soil mixture) made tapial more vulnerable.



Left: Wrong construction practice (mixture of soil with gravel and without straw). Right: Well construction practice (mixture of soil and straw, uniform compactation)

## 8 Construction Economics

### 8.1 Explain unit construction cost<sup>1</sup>

The average cost per m<sup>2</sup> for a two story building is \$ 40/m<sup>2</sup>

### 8.2 Explain labor requirements

With a squad of three men is possible to finish the construction of one floor in one month, and two story building in two and half months.



---

<sup>1</sup> When calculating the conversion between local currency and U.S. dollars, please use the market rate if it is different from the official rate.



9.1 Insurance Issues

	Select one	
	Yes	No
Is earthquake insurance for this construction type typically available?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are premium discounts or higher coverage available for seismically strengthened buildings or new buildings built to incorporate seismically resistant features?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional Comments: Usually in the country houses does not have insurance.

9.2 If earthquake insurance is available, what does this insurance typically cover/cost?



## 10 Seismic Strengthening Technologies

### 10.1 Description of Seismic Strengthening Provisions

Type of intervention	Describe Structural Deficiency <sup>1</sup>	Description of seismic strengthening provision used <sup>2</sup>
Retrofit (strengthening)	Lack of anchorage between walls	The same strengthening used for adobe walls developed by the university Pontificia Universidad Católica del Perú: wire mesh at both wall sides covered with concrete mortar. It has high effectiveness.
	Low seismic performance of sprandel wall under out-of-plane forces	Reinforcement with timber planks and wire mesh on the sprandel wall base. It is a simple and practical provision.
New Construction	Absence of ductility in tapial walls. Low tensile and shear resistance.	Horizontal and vertical cane reinforcement. Cane provides more ductility to the walls and decreases lateral drifts. Also it is used to improve anchorage between orthogonal walls.
	Integrity of the structure	Walls connected at the roof level by concrete beam. It improves seismic forces distribution. It is a practical provision.
	Horizontal displacement on dry joints	Use of cane inside joints or wet joints. They provide more shear resistance. The use of mortar or gravel is not recommended they decrease shear resistance.

Additional Comments: Insert additional text if applicable

### 10.2 Has seismic strengthening described in the above table been performed in design practice, and if so, to what extent?

They have not been performance in design. Although, there are projects that diffuse them, as design and construction manuals put into practice by researchers.

### 10.3 Was the work done as a mitigation effort on an undamaged building, or as repair following earthquake damage?

The work was done over new buildings

### 10.4 Was the construction inspected in the same manner as new construction?

### 10.5 Who performed the construction: a contractor, or owner/user? Was an architect or engineer involved?

The owner with a master builder led by an engineer researcher

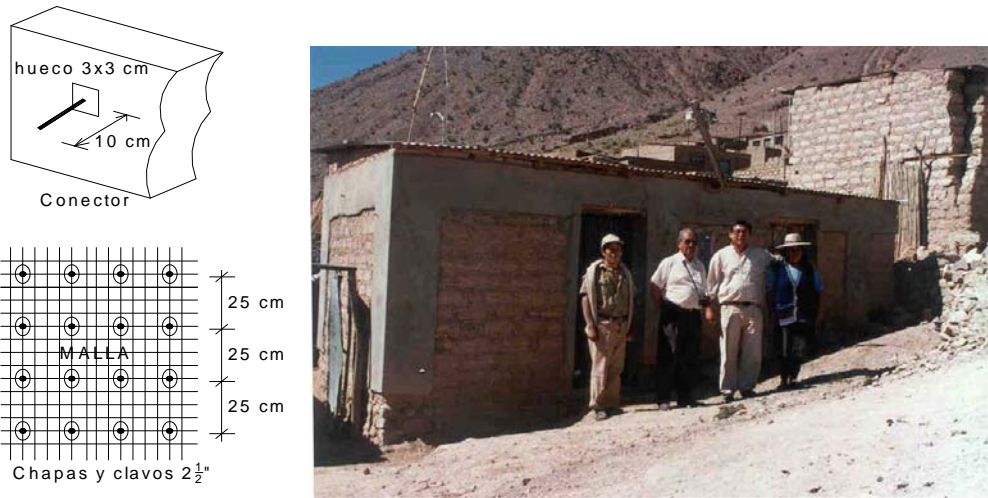
<sup>1</sup> The fields on this table should preferably be the same as the fields used in table in section 5.2.

<sup>2</sup> Describe how it needs to be constructed, building materials used, its expected effectiveness, and the level of complexity in terms of construction

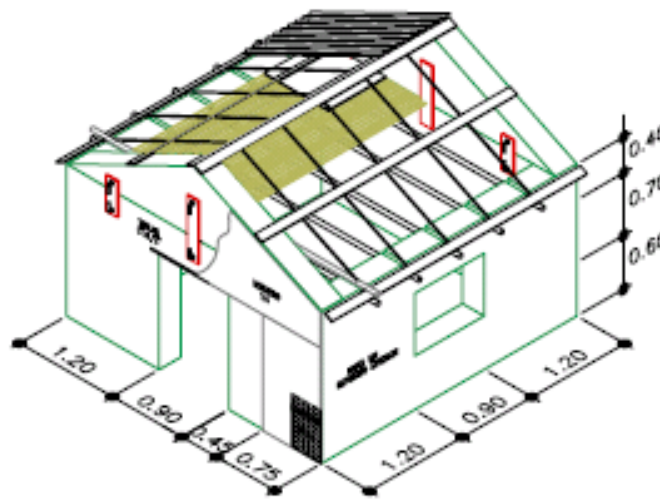
10.6 What has been the performance of retrofitted buildings of this type in subsequent earthquakes?

N/A

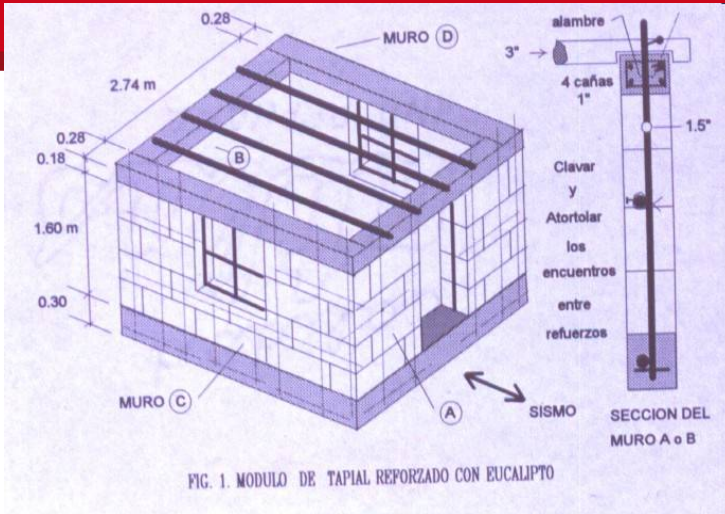
FIGURE : Illustration of Seismic Strengthening Techniques



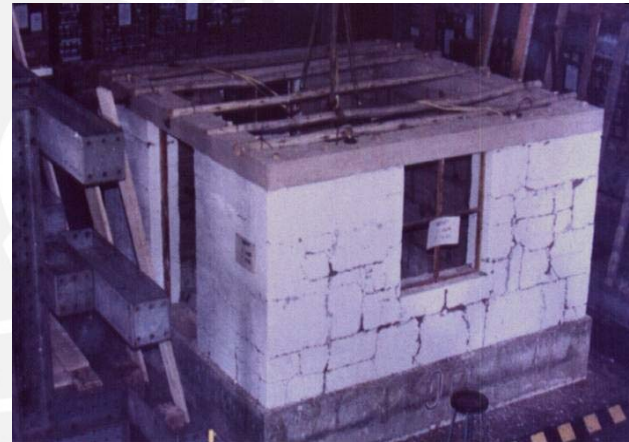
Retrofit with wire mesh. Retrofit of adobe contemporary house (photograph by San Bartolomé 2002)



Retrofit of spandrel wall with timber planks.



New Construction of Tapial Walls with vertical and horizontal canes. Walls joined by a concrete beam.  
(photograph by San Bartolomé 2002)



New construction with canes and concrete beam before seismic test (left) and after seismic test (right)  
(photograph by San Bartolomé 2002)

## 11 References<sup>1</sup>

ININVI (1989), “Construcción con Tapial”, Convenio ININVI – PUCP, Lima.

OTAZZI, G. (1995), “Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento” Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Red HABITERRA, La Paz, Bolivia.

VOLKER, H. (1981), “Técnicas de Construcciones Autóctonas del Perú”.

TEJADA, U. (2000), “Buena Tierra”, Lima.



<sup>1</sup> Please list documents/publications referred to in filling out this form.



	<b>Participant #1</b>	<b>Participant#2</b>	<b>Participant#3</b>
Name	Lourdes Gutiérrez	Tatiana Manco	Marcial Blondet
Title/Position	Bachelor	Bachelor	Professor
Affiliation	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department
Address	Av. Benavides 2050	Av. Los Fresnos Mz G Lote 35	Av. Universitaria cdra. 18
Zip Code	Lima 18	Lima 12	Lima 21
Country	Perú	Perú	Perú
Phone	(511) 4340731	(511) 4570577	(511) 4602870 X 290
Fax	(511) 4340731		(511) 4636181
Email	lmgutierrez@pucp.edu.pe	tatimanco@yahoo.com.mx	mblondet@pucp.edu.pe



<sup>1</sup> Please list the name(s) and affiliation(s) of the project participants who have filled out this form. If more than 3 participants have filled out the form, please copy this table below and provide the required information.

<b>FIGURE 1: Typical Building (photo)</b>	Tapial 1.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 2: Tapial house buildings on Mantaro valley</b>	Tapial 2.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 3: Plan of a Typical Building</b>	Tapial 3.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 4: Tapial house with hip roof</b>	Tapial 4.jpg	
<b>FIGURE 5: Typical tapial house with gable roof</b>	Tapial 5.jpg	
<b>FIGURE 6: Typical tapial house</b>	Tapial 6.jpg	
<b>FIGURE 7: Perspective Drawing Showing Key Load-Bearing Elements</b>	Tapial 7.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 8: Typical roof structure</b>	Tapial 8.jpg	
<b>FIGURE 9: Illustration of typical earthquake damage - cracks by displacement</b>	Tapial 9.jpg	
<b>FIGURE 10: Illustration of typical earthquake damage - tumble effect</b>	Tapial 10.jpg	
<b>FIGURE 11: Flow chart of tapial wall construction</b>	Tapial 11.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 12: Tapial wall construction</b>	Tapial 12.jpg	
<b>FIGURE 13: Typical problems - well and wrong construction practice</b>	Tapial 13a.jpg Tapial 13b.jpg	
<b>FIGURE 14: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - wire mesh</b>	Tapial 14a.jpg Tapial 14b.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 15: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - retrofit of spandrel wall</b>	Tapial 15.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 16: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new construction with canes and concrete beam</b>	Tapial 16a.jpg Tapial 16b.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 17: Illustration of Seismic Strengthening Techniques - new construction with canes and concrete beam before and after seismic test</b>	Tapial 17a.jpg Tapial 17b.jpg	Date Submitted / Revised

## Appendix: Seismic Vulnerability Rating: A Guideline

“The term vulnerability is used in this document to express differences in the way that buildings respond to earthquake shaking. If two groups of buildings are subjected to exactly the same earthquake shaking, and one group performs better than the other, then it can be said that the buildings that were less damaged had lower earthquake vulnerability than the ones that were more damaged, or it can be stated that the buildings that were less damaged are more earthquake-resistant, and vice versa.” (an excerpt from the publication *European Macroseismic Scale 1998 (EMS1998)*, prepared by the European Seismological Commission, Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Vol.15, Luxembourg 1998). Note, therefore, that the use of word vulnerability in this document is not necessarily the same as other uses and definitions of the same word.

Classification of all structural types included in this document into six (6) classes of decreasing vulnerability (A, B, C, D, E, and F) is largely based on a similar classification presented in the EMS1998.

The first three classes A, B, and C, represent the most vulnerable (i.e. least earthquake-resistant) building types; e.g. Class A- adobe masonry (Types 3 and 5 in the table below) or rubble stone masonry (Type 1 in the table below); class B- typical brick masonry building (Type 7); Class C- reinforced concrete frame structure without seismic provisions (Type 13);

Classes D and E are intended to represent building types characterized with the reduced vulnerability (i.e. increased earthquake-resistance) as a result of inherent structural features and also special seismic design provisions; well-built timber, reinforced concrete and steel structures, as well as confined and reinforced masonry structures generally fall into vulnerability classes D and E.

Class F is intended to represent the vulnerability of a structure with a high level of earthquake-resistant design.

Participants should use their judgment in assigning the seismic vulnerability class to their building type. The table below has been prepared as a guide in the selection of a seismic vulnerability class and in the absence of other information can be used by the participant for the appropriate structural type. The vulnerability rating is subjective, and is intended to give a general estimation of the seismic vulnerability of the building type. It should not be used as a basis for statistical loss estimation or for evaluation of an individual building without additional information.

**Guidelines for Seismic Vulnerability of Construction Types**  
(based on European Macroseismic Scale 1998)

Material	Type of Load-Bearing Structure	No	Subtypes	Vulnerability Class						
				A	B	C	D	E	F	
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	λ						
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)		-	λ	-			
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	λ						
		4	Mud walls with horizontal wood elements	-	λ	-				
		5	Adobe block walls	λ						
		6	Rammed earth/Pise construction							
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	-	λ	-				
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts							
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs		-	λ	-			
		10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams			-	λ	-		
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)							
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)			-	λ	-		
Structural concrete	Moment resisting frame	13	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	-	-	λ	-			
		14	Designed with seismic features (various ages)			-	-	λ	-	
		15	Frame with unreinforced masonry infill walls							
		16	Flat slab structure		-	λ	-			
		17	Precast frame structure							
		18	Frame with concrete shear walls-dual system							
	Shear wall structure	19	Walls cast in-situ				-	λ	-	
		20	Precast wall panel structure		-	λ	-			
Steel	Moment-resisting frame	21	With brick masonry partitions							
		22	With cast in-situ concrete walls							
		23	With lightweight partitions							
Braced frame	24					-	λ	-		
	Wooden structures	Load-bearing timber frame	25	Thatch		-	λ	-		
26			Post and beam frame			-	λ	-		
27			Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)							
28			Frame with (stone/brick) masonry infill							
29			Frame with plywood/gypsum board sheathing							
30			Frame with stud walls				-	λ	-	
	Other	31								
	Other	32								





# 1 General Information

## 1.1 Country:

Peru

## 1.2 Form ID Number:

LEAVE THIS QUESTION BLANK. COMPUTER WILL ASS

## 1.3 Housing Type:

Traditional quincha house building



## 1.4 Summary:

This type of construction has been practiced for over 200 years. Most quincha houses are located in urban areas along the Peruvian coast and few can be found in the mountains (Sierra). Quincha walls are composed of wood structures filled with lathing of cane covered with mud and gypsum plastering. Roof structure is made out of beams and wood planks covered with mud and clay roofing tiles. These dwellings were built by woodmen under professional engineering or architectural direction. Therefore, quincha houses had registered acceptable performances against earthquakes. As a result, this technology is still used with some modifications (improvements).

## 1.5 Typical Period of Practice for Buildings of This Construction Type (to check any box, doubleclick, and then select "checked")

How long has this type of construction been practiced?	Select one
< 25 years	<input type="checkbox"/>
< 50 years	<input type="checkbox"/>
< 75 years	<input type="checkbox"/>
< 100 years	<input type="checkbox"/>
< 200 years	<input type="checkbox"/>
> 200 years	<input checked="" type="checkbox"/>

	Select one	
	Yes	No
Is this type of construction still being practiced?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: Quincha technology has been improved in different stages of history: Pre-hispanic, Colonial and Republican. This format refers to the Republican housing.

## 1.6 Region(s) Where Used

This type of construction is widespread on the Peruvian coast, especially in northern cities such as Tumbes, Piura, Lambayeque and La Libertad. La Libertad has 47% of all quincha houses. A lower percentage of quincha houses can be found in Los Andes (Sierra region).

Where is this type of construction commonly found?	Select one
In urban areas	<input checked="" type="checkbox"/>
In rural areas	<input type="checkbox"/>
In suburban areas	<input type="checkbox"/>
Both in rural and urban areas	<input type="checkbox"/>

Additional comments: This system was utilized in rural zones. Nonetheless, constructions were simpler.



Quincha house buildings in Chiclayo



Quincha house buildings in Pacasmayo



## 2 Architectural Features

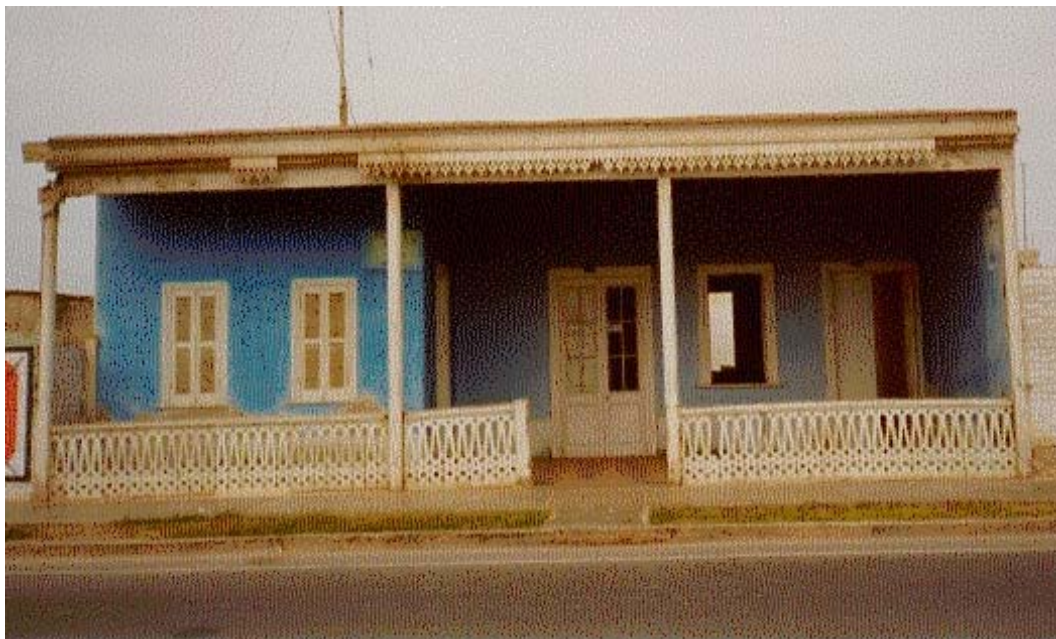
### 2.1 Openings

They present many windows and doors along the façade. Window openings size 1,50x0,50 m<sup>2</sup>, door openings vary about 0,80 – 1,20m wide and 2,80- 3,00m high . This represents 30% of the total wall areas.

### 2.2 Sitting

	YES	NO
Is this type of construction typically found on a flat terrain?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this type of construction typically found on a sloped terrain (hilly areas)?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Is it typical for the buildings of this type to have common walls with adjacent buildings?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

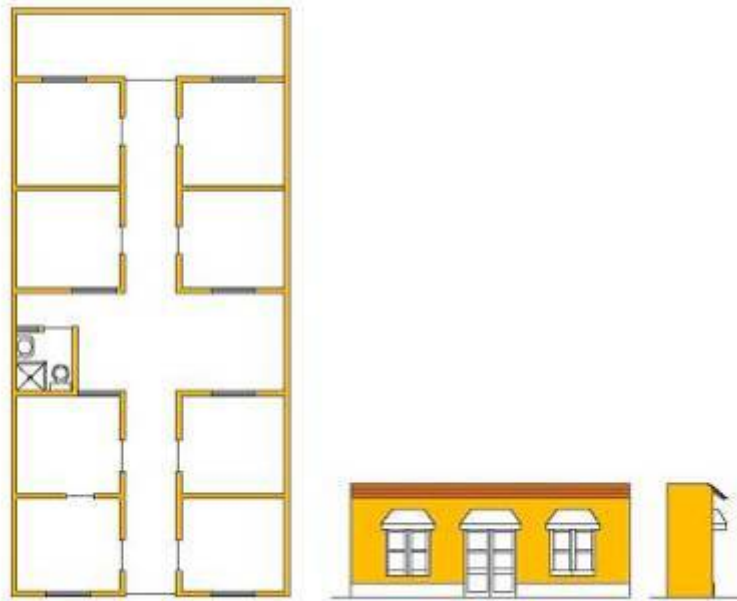
What is a typical separation distance between buildings: 0,15 meters.



Façade openings

### 2.3 Building Configuration

In general, these houses have rectangular grounding shapes, larger in length than in width. Nevertheless, in some cases, such buildings can have trapezoidal ground floors (located on corners).



Ground floor and elevation drawings of typical building

**2.4 Building Function**

What is the main function for buildings of this construction type?	Select one
Single family house	<input checked="" type="checkbox"/>
Multiple housing units	<input type="checkbox"/>
Mixed use (commercial ground floor, residential above)	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments:

**2.5 Means of Escape**

Besides the main entrance, there is a back door at the end of the center walk corridor. Both doors can be used in case of emergency.

**2.6 Modification of Buildings**

Many houses present extensions to buildings with clay or concrete masonry. Furthermore, taking advantage of the height, mezzanines are built for different purposes. Other modifications include removal or relocation of walls.

3.1 *Patterns of Occupancy:*

Normally, only one family inhabits the house. Nonetheless, in some cases houses can be shared by 3 or 4 families.

3.2 *Number of Housing Units in a Building (estimate a number)*

01 unit per building.

Additional comments: Insert additional text if applicable

3.3 *Average Number of Inhabitants in a Building:*

How many inhabitants reside in a typical building of this construction type?	During the day / business hours	In the evening/night
	Select all that apply	Select all that apply
< 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 to 10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10-20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other (provide numbers)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

3.4 *Number of Bathrooms or Latrines per Housing Unit (if shared by more than one unit, number per Building—please indicate which):*

01 bathroom and 0 latrines per housing unit.

Additional comments: The bathroom is not connected to the house. It is built in the corner of the property.

3.5 *Economic Level of Inhabitants<sup>1</sup>*

Economic Status	Select all that apply	House Price/Annual Income (ratio)
Very poor	<input type="checkbox"/>	/
Poor	<input type="checkbox"/>	/
Middle Class	<input type="checkbox"/>	/
Rich	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5 / 1

Additional comments: Describe the different economic status categories (% of population)

3.6 *Typical Sources of Financing*

What is a typical source of financing for buildings of this type?	Select all that apply
Owner financed	<input checked="" type="checkbox"/>
Personal savings	<input checked="" type="checkbox"/>

<sup>1</sup> . Below are the general guidelines related to the economic status of the inhabitants:

Very Poor= lowest 10% of the population (per GDP)

Poor= lowest 30% of the population

Middle Class= from the lowest 30% up to the top 20% of the population

Rich= top 20% of the population



Informal network: friends and relatives	<input type="checkbox"/>
Small lending institutions / micro-finance institutions	<input type="checkbox"/>
Commercial banks/mortgages	<input checked="" type="checkbox"/>
Investment pools	<input type="checkbox"/>
Combination (explain)	<input type="checkbox"/>
Government-owned housing	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: High-income people live in these houses.

### 3.7 Ownership / Occupancy

Type of Ownership / Occupancy	Select all that apply
Rent	<input type="checkbox"/>
Own outright	<input checked="" type="checkbox"/>
Own with debt (mortgage or other)	<input type="checkbox"/>
Units owned individually (condominium)	<input type="checkbox"/>
Owned by group or pool	<input type="checkbox"/>
Long-term lease	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable



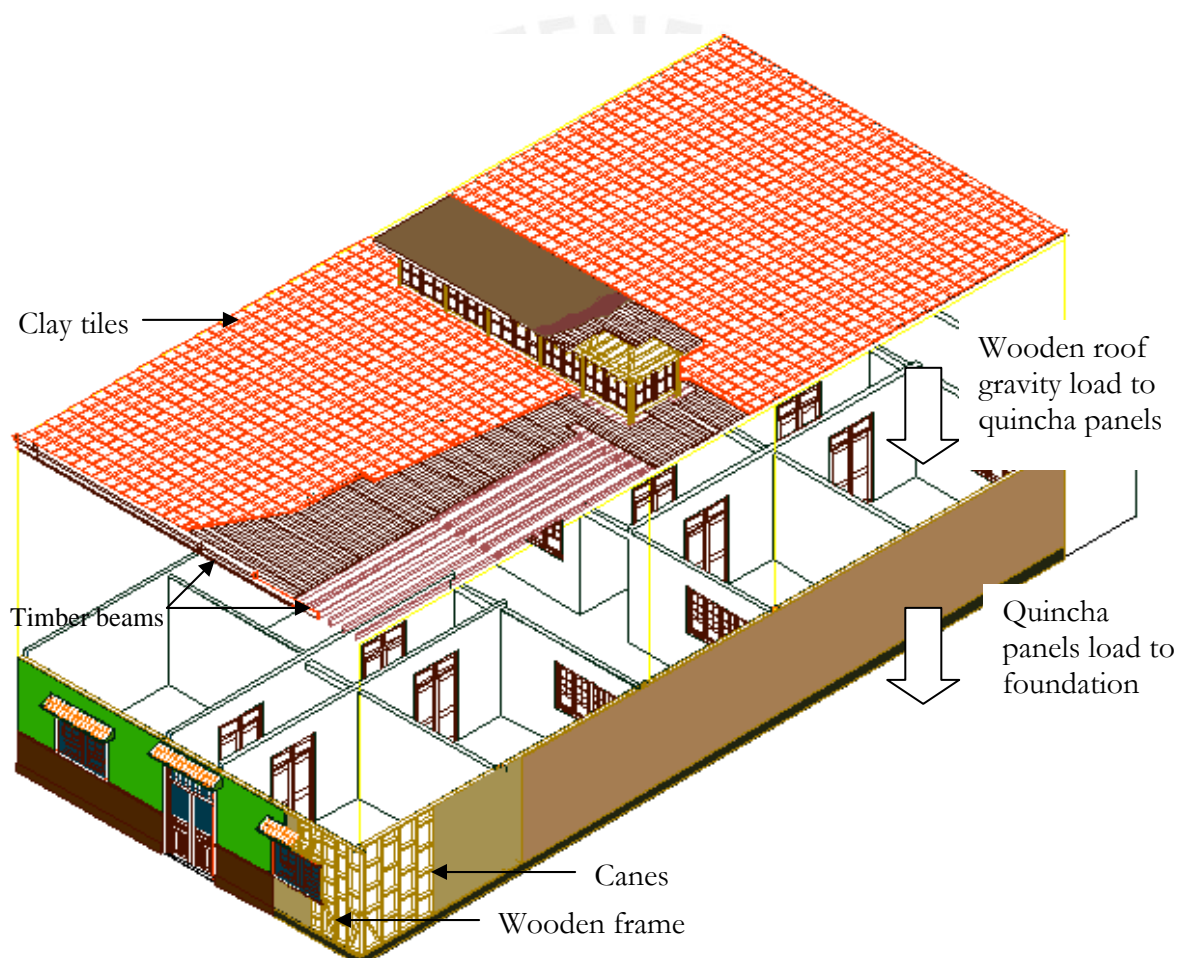
## 4 Structural Features

### 4.1 Lateral Load-Resisting System:

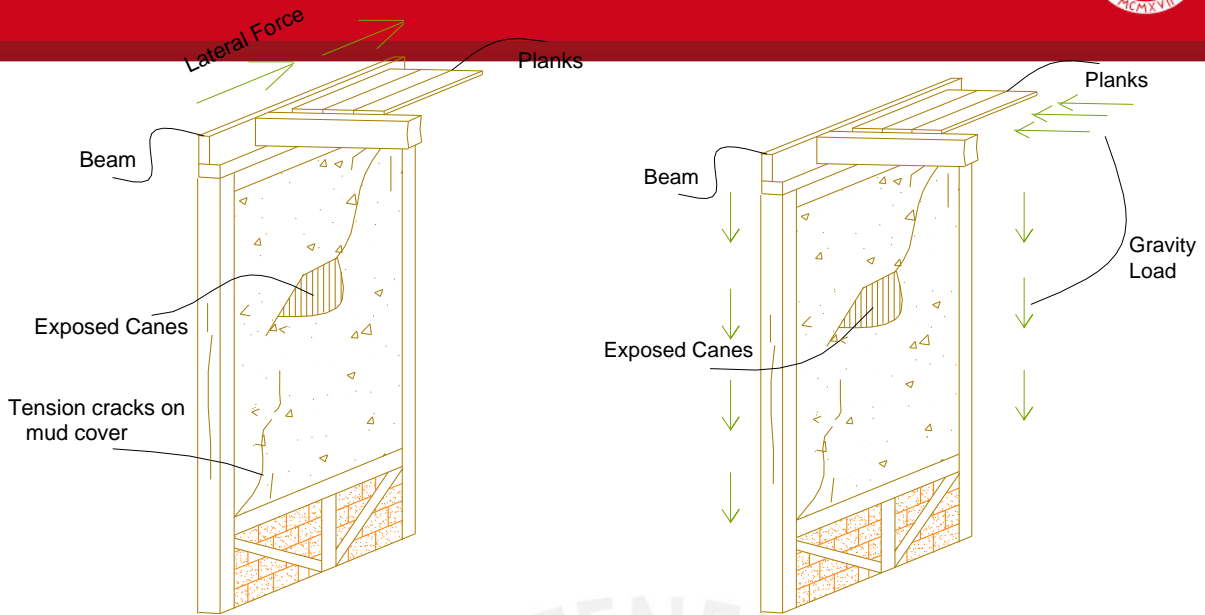
Quincha panels resist lateral loads. Wooden roof is considered a flexible diaphragm. Consequently, total shear force is distributed proportionally to the weight of each wall. When they have similar characteristics, seismic force is proportional to the length. Walls width range among 0,10-0,15m. The panels are composed of interlaced shafts giving flexibility to the wall. Mud cover increases structure stiffness. Therefore, once mud lining is cracked, only the interlaced shaft layer and the wood frame will work.

### 4.2 Gravity Load-Bearing Structure:

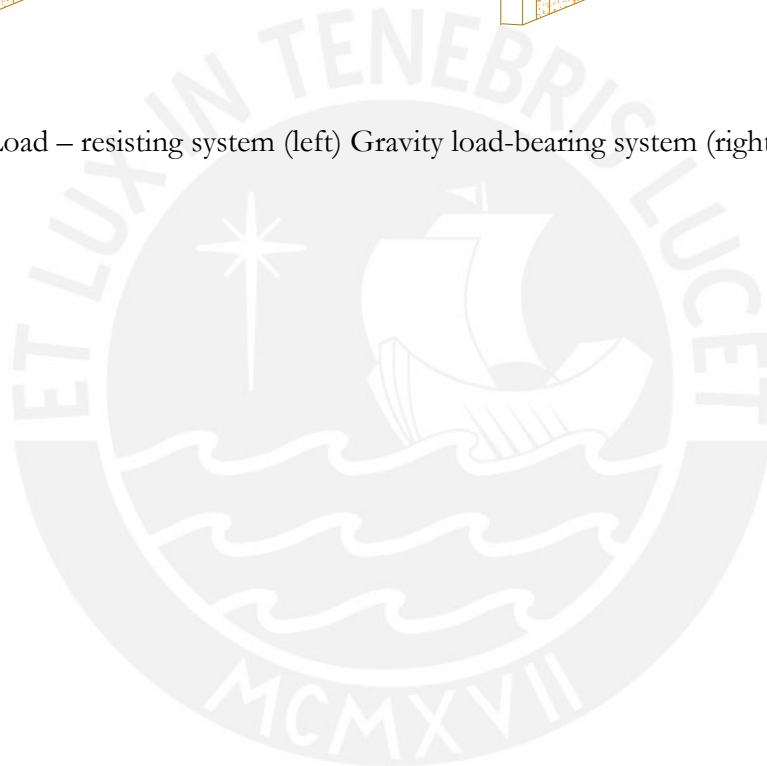
The wooden roof applies gravity forces to the beams along the wooden frame. This element transmits the forces to the quincha panels and then these to the foundation. As quincha has a light structure, the distributed weight makes this type of constructions ideal for poorly resistant soils.



Key load-bearing elements: quincha panels and wood roofs



Lateral Load – resisting system (left) Gravity load-bearing system (right)



Type of Structural System

Material	Type of Load-Bearing Structure	#	Subtypes	Select the most appropriate type
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	<input type="checkbox"/>
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)	<input type="checkbox"/>
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	<input type="checkbox"/>
		4	Mud walls with horizontal wood elements	<input type="checkbox"/>
		5	Adobe block walls	<input type="checkbox"/>
		6	Rammed earth/Pise construction	<input type="checkbox"/>
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	<input type="checkbox"/>
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts	<input type="checkbox"/>
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs	<input type="checkbox"/>
	Clay/concrete	10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams	<input type="checkbox"/>
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		13	Large concrete block walls with concrete floors and roofs	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Moment resisting frame	14	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	<input type="checkbox"/>
		15	Designed with seismic features (various ages)	<input type="checkbox"/>
		16	Frame with unreinforced masonry infill walls	<input type="checkbox"/>
		17	Flat slab structure	<input type="checkbox"/>
		18	Precast frame structure	<input type="checkbox"/>
		19	Frame with concrete shear walls-dual system	<input type="checkbox"/>
	20	Precast prestressed frame with shear walls	<input type="checkbox"/>	
Shear wall structure	21	Walls cast in-situ	<input type="checkbox"/>	
	22	Precast wall panel structure	<input type="checkbox"/>	
Steel	Moment-resisting frame	23	With brick masonry partitions	<input type="checkbox"/>
		24	With cast in-situ concrete walls	<input type="checkbox"/>
		25	With lightweight partitions	<input type="checkbox"/>
	Braced frame	26	Concentric	<input type="checkbox"/>
		27	Eccentric	<input type="checkbox"/>
Wooden structures	Load-bearing timber frame	28	Thatch	<input type="checkbox"/>
		29	Post and beam frame	<input type="checkbox"/>
		30	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)	<input checked="" type="checkbox"/>
		31	Frame with (stone/brick) masonry infill	<input type="checkbox"/>
		32	Stud wall frame with plywood/gypsum board sheathing	<input type="checkbox"/>
		33	Wooden panel walls	<input type="checkbox"/>
	Other	34		<input type="checkbox"/>
	Other	35		<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.3 Type of Foundation

Type	Description	Select the most appropriate type
Shallow foundation	Wall or column embedded in soil, without footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone strip footing	<input checked="" type="checkbox"/>
	Reinforced concrete isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete strip footing	<input type="checkbox"/>
	Mat foundation	<input type="checkbox"/>
	No foundation	<input type="checkbox"/>
Deep foundation	Reinforced concrete bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Steel bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Wood piles	<input type="checkbox"/>
	Steel skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Cast in place concrete piers	<input type="checkbox"/>
	Caissons	<input type="checkbox"/>
Other		<input type="checkbox"/>

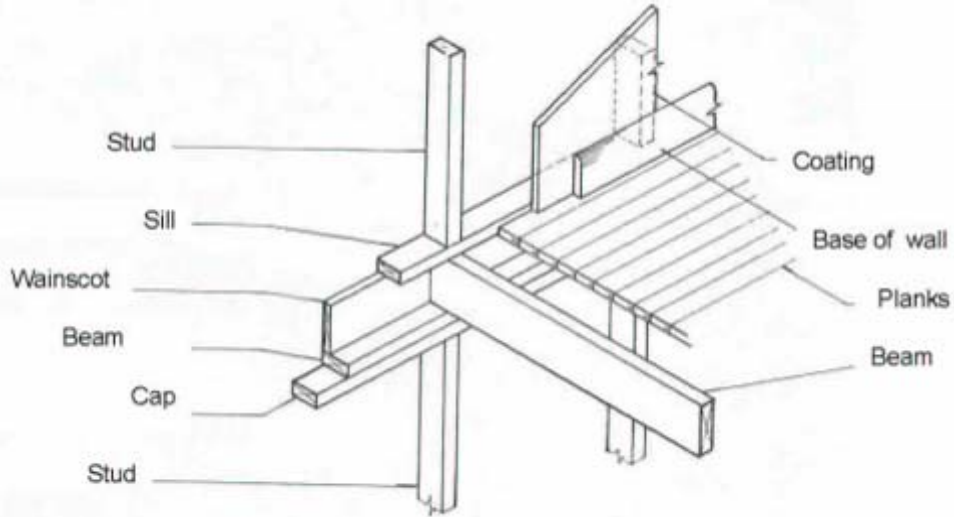
Additional comments: Insert additional text if applicable

### 4.4 Type of Floor/Roof System

Material	Description of floor/roof system	Floor (Select one)	Roof (Select one)
Masonry	Vaulted	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Composite masonry and concrete joist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Cast in place solid slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place waffle slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place flat slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast joist system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast planks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast beams with concrete topping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Post-tensioned slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steel	Composite steel deck with concrete slab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Timber	Rammed earth with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Thatched roof supported on wood purlins	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood shingle roof	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support clay tiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support slate, metal, asbestos-cement or plastic corrugated sheets or tiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood plank, plywood or manufactured wood panels on joists supported by beams or walls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other	Compacted earth and timber planks	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Wood roof diaphragm is considered flexible.





Typical roof structure



Typical roof structure

**4.5 Typical Plan Dimensions:**

Length: 15 - 25 meters

Width: 8 - 10 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

**4.6 Typical Number of Stories:**

1 story

**4.7 Typical Story Height:**

2,80 - 3,40 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

**4.8 Typical Span:**

3 - 4 meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

**4.9 Typical Wall Density:**

Wall Density in each principal direction varies from 20% to 40% in the plan. It is not associated to plan shape: rectangular, L or C shaped.

**4.10 General Applicability of Answers to Questions in Section 4**

The information present in this format corresponds to more than 60% of homes in the zone. Information has a variation range of + - 10%



## 5 Evaluation of Seismic Performance and Seismic Vulnerability

### 5.1 Structural and Architectural Features: Seismic Resistance<sup>1</sup>

Structural/ Architectural Feature	Statement <sup>2</sup>	Select one (X)		
		True <sup>3</sup>	False <sup>4</sup>	N/A
<b>Lateral load path</b>	The structure contains a complete load path for seismic force effects from any horizontal direction that serves to transfer inertial forces from the building to the foundation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Building Configuration</b>	The building is regular with regards to both the plan and the elevation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Roof construction</b>	The roof diaphragm is considered to be rigid and it is expected that the roof structure will maintain its integrity, i.e. shape and form, during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Floor construction</b>	The floor diaphragm(s) are considered to be rigid and it is expected that the floor structure(s) will maintain its integrity during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation performance</b>	There is no evidence of excessive foundation movement (e.g. settlement) that would affect the integrity or performance of the structure in an earthquake.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall and frame structures- redundancy</b>	The number of lines of walls or frames in each principal direction is greater than or equal to 2.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall proportions</b>	Height-to-thickness ratio of the shear walls at each floor level is: Less than 25 (concrete walls); Less than 30 (reinforced masonry walls); Less than 13 (unreinforced masonry walls);	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Foundation-wall connection</b>	Vertical load-bearing elements (columns, walls) are attached to the foundations; concrete columns and walls are doweled into the foundation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall-roof connections</b>	Exterior walls are anchored for out-of-plane seismic effects at each diaphragm level with metal anchors or straps	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall openings</b>	The total width of door and window openings in a wall is: For brick masonry construction in cement mortar : less than ½ of the distance between the adjacent cross walls; For adobe masonry, stone masonry and brick masonry in mud mortar: less than 1/3 of the distance between the adjacent cross walls; For pre-cast concrete wall structures: less than ¾ of the length of a perimeter wall.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Quality of building materials</b>	Quality of building materials is considered to be adequate per the requirements of national codes and standards (an estimate).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of workmanship</b>	Quality of workmanship (based on visual inspection of few typical buildings) is considered to be good (per local construction standards).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Maintenance</b>	Buildings of this type are generally well maintained and there are no visible signs of deterioration of building elements (concrete, steel, timber)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Other</b>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments:

<sup>1</sup> This table should be filled out based on educated judgment — no design checks or calculations need to be performed.

<sup>2</sup> The main reference publication used in developing the statements used in this table is FEMA310 “Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard”, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1998.

<sup>3</sup> Indicates good seismic resistance.

<sup>4</sup> Indicates poor seismic resistance.

Structural Element <sup>1</sup>	Seismic Deficiency <sup>2</sup>	Earthquake Resilient Features <sup>3</sup>	Earthquake Damage Patterns <sup>4</sup>
<b>Wall</b>	Fragile fault of mud cover. The wall loses rigidity and resistance against shear forces, greatly.	The group of shaft covered with mud gives great capacity of resistance to wooden frames. Mud covering is rigid, and the wooden framing and canes are flexibility. These two elements give the structure a great capacity for displacement.	Failure by shear effects: crack on mud covering. Structure loses rigidity and resistance. However, wooden frameworks and shafts give flexibility.
<b>Framing (columns, beams)</b>	The structure support is composed by wooden frames. The disjoint of its elements produces collapse.	The joint of the elements through nails or leather belts permits that these elements work as a unit. Wood has good performance along parallel direction to its fibers.	Failure due to shear effects: nails fail, structure loses integrity and then collapses.
<b>Roofs and Floors</b>	Lack of anchorage between wooden elements. The diaphragm is not rigid.		
<b>Plan</b>			

Additional comments: This type of buildings had shown a good performance during the latest earthquakes. Low weight and flexibility of the structures had allowed the dissipation of seismic force through displacement, preventing from house collapsing.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate.

<sup>2</sup> Please describe in a few words.

<sup>3</sup> Describe positive structural features that contribute to the good seismic performance.

<sup>4</sup> Damage patterns observed in past earthquakes for this construction type.



Cracks on mud coating



Loss of rigidity by damages in wall foundation



**5.2 Seismic Vulnerability Rating:**

Prior to filling out the information required in the table below, please read the Guidelines in the Appendix, and the accompanying table

(Select one- use symbols listed in the Notes below the table)

Vulnerability						
	High (Very Poor Seismic Performance)  A	B	Medium  C	D	E	Low (Excellent Seismic Performance)  F
Seismic Vulnerability Class				O	>	

Notes:

**O** = *Expected seismic vulnerability class*

**<** = *Probable vulnerability range –lower bound*

**>** = *Probable vulnerability range-upper bound*

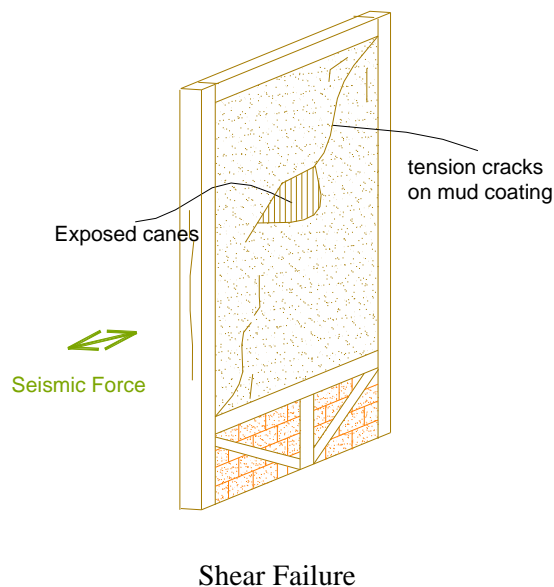
Once you have determined the seismic vulnerability class for this construction type, copy the above symbols: **O**, **<**, and **>** as appropriate and place them into the table.

## 6 Earthquake Damage Patterns<sup>1</sup>

### 6.1 List of reported past earthquakes in the country which affected buildings of this type

Year	Earthquake Epicenter	Richter magnitude (M)	Maximum Intensity ( <i>Indicate scale e.g. MMI, MSK</i> )
1746	Lima	8,4	MMI= X-XI
1940	Lima	8,2	MMI= VII-VIII
1970	Ancash	7,7	MMI= VII-VIII
1974	Lima	7,5	MMI= VIII

Additional comments: The expected seismic performance of quincha housing was observed in the latest earthquakes. The good seismic features of materials resulted in good performance. The damages registered are produced by years of exposure to humidity as these constructions generally have no maintenance.



<sup>1</sup> As reported in the past earthquakes in the country - if applicable

## 7 Description of Building Materials

### 7.1 Description of Building Materials

Structural element <sup>1</sup>	Building material(s)	Characteristic strength (see Note 1)	Mix Proportion/ Dimensions (see Note 2)	Comments
Walls	Adobe piles	Compression: 2MPa Shear: 100KPa Traction-flection: 40KPa	Masonry mortar mix: 1:8 (straw:soil) Bed mortar: 1:3 (straw:soil) Masonry brick dimensions: 10mm x 200mm x 400mm	Adobe wall resistance varies considerably according to mortar mix which depends on the kind of soil and on its components.
Foundations	Rubble stone	-		
Frame				
Roof and floors	Wood	Tension (paralell): 14MPa Compression (perpendicular): 4MPa Shear: 1.5MPa		
Other				
Other				

Notes:

1. Tension/compression/shear strength (e.g. concrete compression strength, steel yield strength, masonry compressive/shear strength).
2. Explain mix of different materials used in the construction e.g. masonry mortar mix (1:6 cement/sand mortar or 1:3 lime/sand mortar); concrete mix 1:2:4 (cement:sand:aggregate) ; dimensions of masonry units e.g. brick size 228mm(9")x 114mm(4.5")x 76 (3").

### 7.2 Does the builder typically live in this construction type, or is it more typically built by developers or for speculation?

This system requires qualified workmanship because houses are made out of elements such as special and expensive wood. For this reason, self-construction is hard to find. Nevertheless, on rural areas a simpler technology was used following the same basic rules of the studies. In the case of quincha houses in urban areas, wood was utilized by carpenter masters with guidance of architects and engineers who added functional and expensive elements. These characteristics show majestic and high economic status.

### 7.3 Construction Process

Quincha houses are elaborated from wooden elements fixed with nails or leather belts called "huascas". Then, the wooden frame is filled with cane and mud.

Construction of walls undergoes three stages: First, carpentry, in which frameworks are built with pieces of wood. Second stage, interlacing and nailing of cane. Third stage, a first coating layer with mud and a second one with plaster.

On the first stage, the foundation is built with big stones and mud. Inside the foundation principal wood beams are placed to support wood structure and quincha panels. Main beams are nailed at the bottom and at the top of wood vertical frames. Main beams are connected to the roof.

On the second stage, a transversal wood piece is placed at the middle of the wood structure. Under this reinforcement, wood structure is filled with adobe blocks or clay bricks. This area is called "the rigid zone". Above the rigid zone the wood structure is filled with cane.

On the third stage, wood structure filled with cane is covered with mud mixed with straw or lime and plaster. Finally, the roof is planked with wood over main beams.

<sup>1</sup> Please modify this column as appropriate

#### 7.4 Design/Construction Expertise

These constructions were made by people having experience constructing with quincha and wood technology. The engineers and architects participated in the constructions. They added precision and harmony to the work.

#### 7.5 Building codes and standards

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type addressed by codes/standards?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

If the answer to the above question is YES:

What is the title of the code or standard? Commission of the Cartagena Agreement

What year was the first code/standard addressing this type of construction issued? 1978

If applicable, please include the national building code, material codes and seismic codes/standards:

Peruvian Building Code 1997

Please indicate when the most recent code/standard addressing this construction type was issued: 2000

#### 7.6 Role of Engineers and Architects:

The high level of architectural design, such as elaborated façades and yards with selective imported materials, reflect the good economic times the country undergoing when these houses were built.

#### 7.7 Building Permits and Development Control Rules

	Select one	
	Yes	No
Are building permits required?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this typically informal construction <sup>1</sup> ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Is this construction typically authorized as per development control rules?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments:

#### 7.8 Phasing of Construction

	Select one	
	Yes	No
Is it likely that construction of this type takes place over time? (incrementally)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are the buildings originally designed for its final constructed size?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Development in construction continues. Modifications are made after many years.

#### 7.9 Building Maintenance

Who typically maintains	Select all that apply

<sup>1</sup> Without permits, plans, inspection? – please give explanation

<b>buildings of this type?</b>	
<b>Builder</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Owner (s)</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Renter (s)</b>	<input type="checkbox"/>
<b>No one</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Other (explain)</b>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### ***7.10 Process for Building Code Enforcement***

It is necessary to obtain the building approval from the Municipality.

### ***7.11 Typical Problems Associated with this Type of Construction***

The absence of maintenance is a typical problem in these constructions. This results in damages caused by moistening of canes and mud. Fungi are commonly found in canes of old building.



## 8 Construction Economics

---

### 8.1 *Explain unit construction cost*<sup>1</sup>

A one-floor quincha house cost can vary depending on the zone. 170 Nuevos Soles is the average cost per m2 (50 US\$/M2)

### 8.2 *Explain labor requirements*

Approximately nine months are required to complete the construction. In this kind of constructions, wood works and its details demand a long time.

---

<sup>1</sup> When calculating the conversion between local currency and U.S. dollars, please use the market rate if it is different from the official rate.

## 9 Insurance

---

### 9.1 Insurance Issues

	Select one	
	Yes	No
Is earthquake insurance for this construction type typically available?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are premium discounts or higher coverage available for seismically strengthened buildings or new buildings built to incorporate seismically resistant features?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional Comments: It is common that country houses have no insurance.

### 9.2 If earthquake insurance is available, what does this insurance typically cover/cost?

# 10 Seismic Strengthening Technologies

## 10.1 Description of Seismic Strengthening Provisions

Type of intervention	Describe Structural Deficiency <sup>1</sup>	Description of seismic strengthening provision used <sup>2</sup>
Retrofit (strengthening)	Plaster cracking under lateral forces	A second layer of plaster is applied. To provide a better anchorage from the wall to the foundation, clay bricks or adobe blocks fill the wood frame bottom.
New Construction	Plaster cracking under lateral forces	Mud plaster is replaced with cement plaster. Unlike traditional quincha construction in which wall serves as a single unit frame, improved quincha panels forming walls are both prefabricated and connected one to the other. As a result, various panels are obtained.
	Improved Quincha	This system uses cement in the foundation and covering. It gives high quality resistance to the wall. Walls are built in situ.
	Precasted Quincha	This system uses cement in the foundations and covering. It gives more strength to the house. The walls are made out of precasted panels. The joints between elements have a better anchorage.

Additional Comments: Insert additional text if applicable

### 10.2 Has seismic strengthening described in the above table been performed in design practice, and if so, to what extent?

The practice of these systems is uncommon. However, there are projects that promote them, as design and construction manuals that researchers put into practice. This system is more economical and easier to build.

### 10.3 Was the work done as a mitigation effort on an undamaged building, or as repair following earthquake damage?

The work was done on new constructions.

### 10.4 Was the construction inspected in the same manner as new construction?

Yes, the construction was inspected by researchers.

### 10.5 Who performed the construction: a contractor, or owner/user? Was an architect or engineer involved?

These constructions are executed by contractors. Civil engineers and architects guide them.

### 10.6 What has been the performance of retrofitted buildings of this type in subsequent earthquakes?

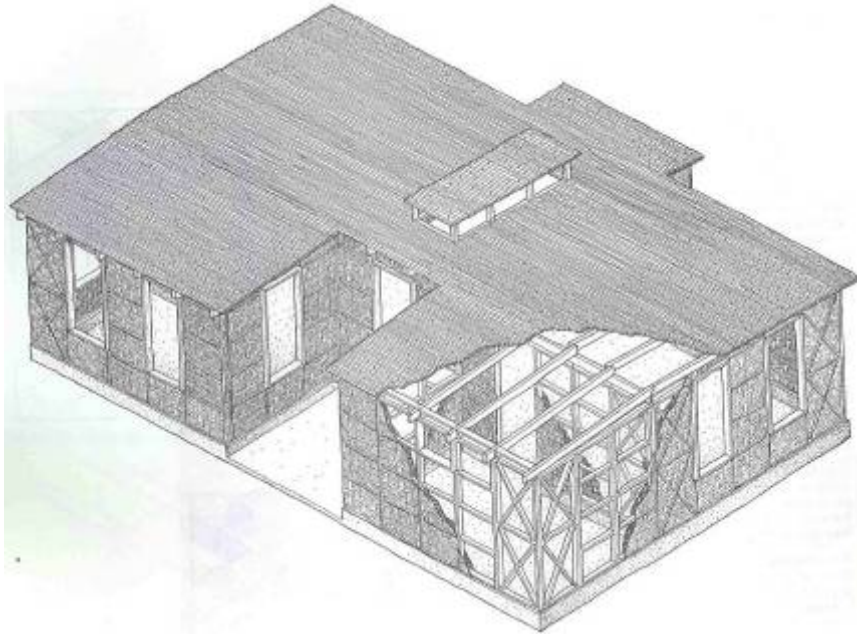
In the latest years, Peru has not undergone a considerable earthquake, so as to test the new constructions with improved quincha or precasted quincha. Nevertheless, it is expected that these techniques will do well enough because more rigid foundations (using cement) make the structure more stable and layers of cement and sand make a better resistant covering.

<sup>1</sup> The fields on this table should preferably be the same as the fields used in table in section 5.2.

<sup>2</sup> Describe how it needs to be constructed, building materials used, its expected effectiveness, and the level of complexity in terms of construction



Precasted Quincha Panels



Improved Quincha

## 11 References<sup>1</sup>

---

BLONDET, M., ZEGARRA, L., PERLA, M., (1986), “Comportamiento sísmico de las estructuras de quincha”, Lima.

CYTED "Tecnologías aplicadas de tierra", [http://www.etsav.upc.es/cyted/tec\\_tie.htm#Quincha](http://www.etsav.upc.es/cyted/tec_tie.htm#Quincha), España

ININVI (1989), "Antecedentes históricos de la quincha", Perú.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (1984), “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”, Perú.

KUROIWA, J. (2002), “Reducción de desastres”, Perú.

MTC (1997), “Norma peruana de de sieño y construcción con madera E.102”, Ministerio de Transporte Vivienda y Comunicación, Perú.

PREDES (2005) "Metodología para la prevención - quincha mejorada", [http://www.predes.org.pe/t\\_quincha.htm](http://www.predes.org.pe/t_quincha.htm), Perú.

SENCICO (2000), "Quincha vernacular en la costa norte del Perú", Perú.

TEJADA, U. (2000), “Buena Tierra”, Perú.

VOLKER, H., (1981) “Indigenous building techniques of Peru and their potential for improvement to better withstand earthquakes”, Agency for International Development, United States.

---

<sup>1</sup> Please list documents/publications referred to in filling out this form.



## 12 Contributors<sup>1</sup>

---

	<b>Participant #1</b>	<b>Participant#2</b>	<b>Participant#3</b>
Name	Lourdes Gutiérrez	Tatiana Manco	Marcial Blondet
Title/Position	Graduate	Graduate	Professor
Affiliation	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department	Civil Engineering Department
Address	Av. Benavides 2050	Av. Los Fresnos Mz G Lote 35	Av. Universitaria cdra. 18
Zip Code	Lima 18	Lima 12	Lima 21
Country	Perú	Perú	Perú
Phone	(511) 4340731	(511) 3654744	(511) 4602870 X 290
Fax	(511) 4340731		(511) 4636181
Email	lmgutierrez@pucp.edu.pe	tatimanco@yahoo.com.mx	mblondet@pucp.edu.pe

---

<sup>1</sup> Please list the name(s) and affiliation(s) of the project participants who have filled out this form. If more than 3 participants have filled out the form, please copy this table below and provide the required information.

## 13 FIGURES

<b>FIGURE 1: Typical Building (photo)</b>	Quincha 1.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 2: Quincha house buildings in Chiclayo</b>	Quincha 2.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 3: Quincha house buildings in Pacasmayo</b>	Quincha 3.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 4: Façade openings</b>	Quincha 4.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 5: Plan of a Typical Building</b>	Quincha 5.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 6: Perspective Drawing Showing Lateral Load-Bearing Elements</b>	Quincha 6.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 7: Typical roof structure</b>	Quincha 7.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 8: Photograph of typical roof structure</b>	Quincha 8.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 9: A Photograph Illustrating Typical Earthquake Damage - crack on mud coating<sup>1</sup></b>	Quincha 9.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 10: A Photograph Illustrating Typical Damage - lose of rigidity by erosion<sup>2</sup></b>	Quincha 10.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 11: Illustration of Typical Damage - crack on mud coating</b>	Quincha 11.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 12: Illustration of Improved Techniques - Precast quincha panels</b>	Quincha 12.jpg	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 13: Illustration of Improved Techniques - Improved quincha</b>	Quincha 13.jpg	Date Submitted / Revised

<sup>1</sup> Please write a brief caption-describe the earthquake (e.g. 1995 Kobe earthquake) and type of damage etc.

<sup>2</sup> Please write a brief caption-describe the earthquake (e.g. 1995 Kobe earthquake) and type of damage etc.

## **Appendix: Seismic Vulnerability Rating: A Guideline**

“The term vulnerability is used in this document to express differences in the way that buildings respond to earthquake shaking. If two groups of buildings are subjected to exactly the same earthquake shaking, and one group performs better than the other, then it can be said that the buildings that were less damaged had lower earthquake vulnerability than the ones that were more damaged, or it can be stated that the buildings that were less damaged are more earthquake-resistant, and vice versa.” (an excerpt from the publication *European Macroseismic Scale 1998 (EMS1998)*, prepared by the European Seismological Commission, Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Vol.15, Luxembourg 1998). Note, therefore, that the use of word vulnerability in this document is not necessarily the same as other uses and definitions of the same word.

Classification of all structural types included in this document into six (6) classes of decreasing vulnerability (A, B, C, D, E, and F) is largely based on a similar classification presented in the EMS1998.

The first three classes A, B, and C, represent the most vulnerable (i.e. least earthquake-resistant) building types; e.g. Class A- adobe masonry (Types 3 and 5 in the table below) or rubble stone masonry (Type 1 in the table below); class B- typical brick masonry building (Type 7); Class C- reinforced concrete frame structure without seismic provisions (Type 13);

Classes D and E are intended to represent building types characterized with the reduced vulnerability (i.e. increased earthquake-resistance) as a result of inherent structural features and also special seismic design provisions; well-built timber, reinforced concrete and steel structures, as well as confined and reinforced masonry structures generally fall into vulnerability classes D and E.

Class F is intended to represent the vulnerability of a structure with a high level of earthquake-resistant design.

Participants should use their judgment in assigning the seismic vulnerability class to their building type. The table below has been prepared as a guide in the selection of a seismic vulnerability class and in the absence of other information can be used by the participant for the appropriate structural type. The vulnerability rating is subjective, and is intended to give a general estimation of the seismic vulnerability of the building type. It should not be used as a basis for statistical loss estimation or for evaluation of an individual building without additional information.

**Guidelines for Seismic Vulnerability of Construction Types**  
(based on European Macroseismic Scale 1998)

Material	Type of Load-Bearing Structure	No	Subtypes	Vulnerability Class						
				A	B	C	D	E	F	
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	λ						
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)		-	λ	-			
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	λ						
		4	Mud walls with horizontal wood elements	-	λ	-				
		5	Adobe block walls	λ						
		6	Rammed earth/Pise construction							
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	-	λ	-				
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts							
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs		-	λ	-			
		10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams			-	λ	-		
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)							
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)			-	λ	-		
Structural concrete	Moment resisting frame	13	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	-	-	λ	-			
		14	Designed with seismic features (various ages)			-	-	λ	-	
		15	Frame with unreinforced masonry infill walls							
		16	Flat slab structure		-	λ	-			
		17	Precast frame structure							
		18	Frame with concrete shear walls-dual system							
	Shear wall structure	19	Walls cast in-situ				-	λ	-	
		20	Precast wall panel structure		-	λ	-			
Steel	Moment-resisting frame	21	With brick masonry partitions							
		22	With cast in-situ concrete walls							
		23	With lightweight partitions							
	Braced frame	24				-	λ	-		
Wooden structures	Load-bearing timber frame	25	Thatch		-	λ	-			
		26	Post and beam frame			-	λ	-		
		27	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)							
		28	Frame with (stone/brick) masonry infill							
		29	Frame with plywood/gypsum board sheathing							
		30	Frame with stud walls				-	λ	-	
	Other	31								
	Other	32								

FOR DATABASE USE – DO NOT INSERT A VALUE:



# 1 General Information

## 1.1 Country:

Perú

## 1.2 Form ID Number:

LEAVE THIS QUESTION BLANK. COMPUTER WILL ASSIGN ID NUMBER LATER.

## 1.3 Housing Type:

Republican housing



## 1.4 Summary:

This type of building is more than 150 years old. It was developed mainly at the coast area of Peru, and at some cities in the mountain area. This type of construction presents two floors of different material, on the first floor the walls are made with adobe and on the second floor with quincha. Middle floors and roofs are plane and constructed with wood, they are covered with mud and tiles.

## 1.5 Typical Period of Practice for Buildings of This Construction Type (to check any box, doubleclick, and then select "checked")

How long has this construction type been practiced?	Select one
< 25 years	<input type="checkbox"/>
< 50 years	<input type="checkbox"/>
< 75 years	<input type="checkbox"/>
< 100 years	<input type="checkbox"/>
< 200 years	<input checked="" type="checkbox"/>
> 200 years	<input type="checkbox"/>

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type still being practiced?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

## 1.6 Region(s) Where Used

This type of housing combines two types used at the coast and at the mountain as well (quincha and adobe respectively), but this was used mostly at the coast area, in the city zones, they represent the 30% of the housing

## 1.7 Urban vs. Rural Construction

Where is this construction type commonly found?	Select one
In urban areas	<input checked="" type="checkbox"/>
In rural areas	<input type="checkbox"/>

In suburban areas	<input type="checkbox"/>
Both in rural and urban areas	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable



Republican house building in Lima

## 2 Architectural Features

### 2.1 Openings

Windows and doors are distributed in similar position on the first and second floors. Windows opening's size is 1,00 x 2,80 m<sup>2</sup> and the door's size is 1,50 x 0,50 m<sup>2</sup>. This represents 30% of the total wall areas.

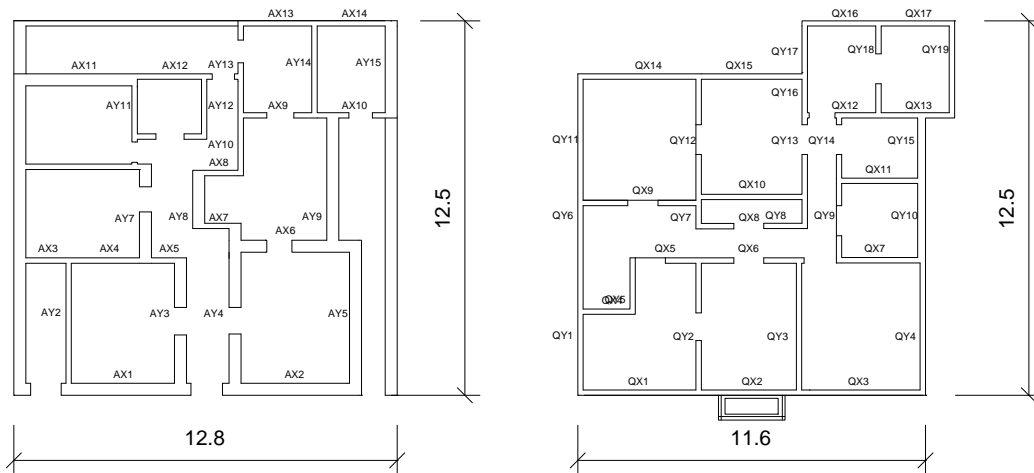
### 2.2 Sitting

	YES	NO
Is this type of construction typically found on a flat terrain?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this type of construction typically found on a sloped terrain (hilly areas)?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Is it typical for the buildings of this type to have common walls with adjacent buildings?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

What is a typical separation distance between buildings: 0,15 meters

### 2.3 Building Configuration

Usually, these houses have rectangular shape; nevertheless, they also have square or L shape.



Typical Floor Plan

### 2.4 Building Function

What is the main function for buildings of this construction type?	Select one
Single family house	<input checked="" type="checkbox"/>
Multiple housing units	<input type="checkbox"/>
Mixed use (commercial ground floor, residential above)	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

## 2.5 *Means of Escape*

These houses have a main door and secondary doors to the second floors through stairs, they also have a back door to the yard. All the rooms are connected by a long corridor from the front part of the house to the back part.



Means to escape: The doors and stairs serve to escape in these constructions

## 2.6 *Modification of Buildings*

There are a lot of additional constructions to the original building, they are made with wood and in special cases with fine material. The stetic elements, such as balconies, sometimes have been removed due to the damage caused by humidity and time.



Modifications over old Republican Building (New masonry wall)

### 3 Socio-Economic Issues

---

#### 3.1 *Patterns of Occupancy:*

The house was used only by one family in Republican period. Now, the housing is habited by 4 or more families, each one live in different rooms.

#### 3.2 *Number of Housing Units in a Building (estimate a number)*

8 - 10

Additional comments: In exceptional cases, considering the big size of the house it is used by groups of families.

#### 3.3 *Average Number of Inhabitants in a Building:*

How many inhabitants reside in a typical building of this construction type?	During the day / business hours	In the evening/night
	Select all that apply	Select all that apply
< 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 to 10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10-20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other (provide numbers)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.4 *Number of Bathrooms or Latrines per Housing Unit (if shared by more than one unit, number per Building—please indicate which):*

2 bathrooms and 1 latrines per building.

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 3.5 *Economic Level of Inhabitants<sup>1</sup>*

Economic Status	Select all that apply	House Price/Annual Income (ratio)
Very poor	<input type="checkbox"/>	/
Poor	<input checked="" type="checkbox"/>	/
Middle Class	<input type="checkbox"/>	/
Rich	<input type="checkbox"/>	/

Additional comments: During the peak of this type of constructions (XVIII, XIX century), they represented 60% of the housing in the cities, most of them were built by high economic level people. However, in these days the building is inhabited by many families with an annual.

---

<sup>1</sup> . Below are the general guidelines related to the economic status of the inhabitants:  
 Very Poor= lowest 10% of the population (per GDP)  
 Poor= lowest 30% of the population  
 Middle Class= from the lowest 30% up to the top 20% of the population  
 Rich= top 20% of the population



### 3.6 *Typical Sources of Financing*

What is a typical source of financing for buildings of this type?	Select all that apply
Owner financed	<input checked="" type="checkbox"/>
Personal savings	<input type="checkbox"/>
Informal network: friends and relatives	<input type="checkbox"/>
Small lending institutions / micro-finance institutions	<input type="checkbox"/>
Commercial banks/mortgages	<input checked="" type="checkbox"/>
Investment pools	<input type="checkbox"/>
Combination (explain)	<input type="checkbox"/>
Government-owned housing	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional comments: Most of the time, the actual owners of these buildings inherited them, this heredity process is 60 years old in average.

### 3.7 *Ownership / Occupancy*

Type of Ownership / Occupancy	Select all that apply
Rent	<input checked="" type="checkbox"/>
Own outright	<input type="checkbox"/>
Own with debt (mortgage or other)	<input type="checkbox"/>
Units owned individually (condominium)	<input type="checkbox"/>
Owned by group or pool	<input type="checkbox"/>
Long-term lease	<input type="checkbox"/>
Other (explain below)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

## **4 Structural Features**

---

### ***4.1 Lateral Load-Resisting System:***

The walls of adobe bricks and quincha panels on the second floor provide resistance to lateral loads. The ceilings and mezzanines are made of wood and joined to the walls by a solepiece beam, also of wood, formed by semirigid diaphragms. Most of the seismic force is concentrated on the first floor due to its thick and rigid walls.

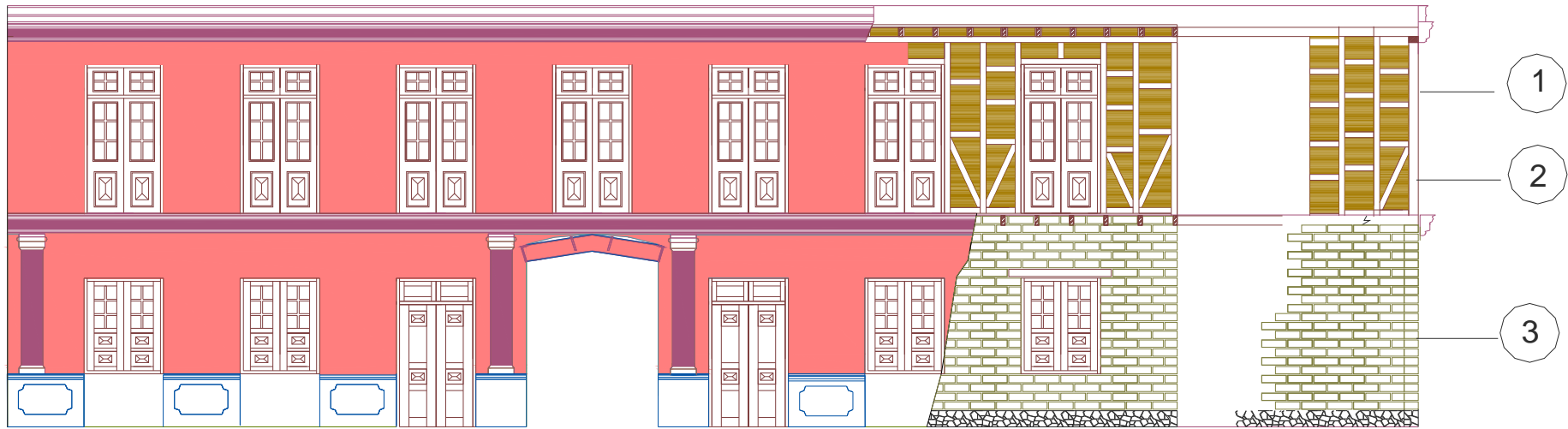
### ***4.2 Gravity Load-Bearing Structure:***

The loads of the mezzanines and ceilings are transferred to the walls through the solepiece beams, then, that weight added to the weight of the walls is transferred to the foundations.

### 4.3 Type of Structural System

Material	Type of Load-Bearing Structure	#	Subtypes	Select the most appropriate type
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	<input type="checkbox"/>
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)	<input type="checkbox"/>
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	<input type="checkbox"/>
		4	Mud walls with horizontal wood elements	<input type="checkbox"/>
		5	Adobe block walls	<input checked="" type="checkbox"/>
		6	Rammed earth/Pise construction	<input type="checkbox"/>
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	<input type="checkbox"/>
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts	<input type="checkbox"/>
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs	<input type="checkbox"/>
	Clay/concrete	10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams	<input type="checkbox"/>
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)	<input type="checkbox"/>
		13	Large concrete block walls with concrete floors and roofs	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Moment resisting frame	14	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	<input type="checkbox"/>
		15	Designed with seismic features (various ages)	<input type="checkbox"/>
		16	Frame with unreinforced masonry infill walls	<input type="checkbox"/>
		17	Flat slab structure	<input type="checkbox"/>
		18	Precast frame structure	<input type="checkbox"/>
		19	Frame with concrete shear walls-dual system	<input type="checkbox"/>
	20	Precast prestressed frame with shear walls	<input type="checkbox"/>	
Shear wall structure	21	Walls cast in-situ	<input type="checkbox"/>	
	22	Precast wall panel structure	<input type="checkbox"/>	
Steel	Moment-resisting frame	23	With brick masonry partitions	<input type="checkbox"/>
		24	With cast in-situ concrete walls	<input type="checkbox"/>
		25	With lightweight partitions	<input type="checkbox"/>
	Braced frame	26	Concentric	<input type="checkbox"/>
		27	Eccentric	<input type="checkbox"/>
Wooden structures	Load-bearing timber frame	28	Thatch	<input type="checkbox"/>
		29	Post and beam frame	<input type="checkbox"/>
		30	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)	<input checked="" type="checkbox"/>
		31	Frame with (stone/brick) masonry infill	<input type="checkbox"/>
		32	Stud wall frame with plywood/gypsum board sheathing	<input type="checkbox"/>
		33	Wooden panel walls	<input type="checkbox"/>
	Other	34		<input type="checkbox"/>
	Other	35		<input type="checkbox"/>

Additional comments: The constructive system of this type of housing is the union of two systems: adobe (firsts floors) and quincha (seconds floors). There is a transition zone between both of them made with pieces of bricks.



- ① Quincha wall
- ② Transition Zone-Adobe blocks and bricks
- ③ Adobe Blocks wall

#### 4.4 Type of Foundation

Type	Description	Select the most appropriate type
Shallow foundation	Wall or column embedded in soil, without footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Rubble stone, fieldstone strip footing	<input checked="" type="checkbox"/>
	Reinforced concrete isolated footing	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete strip footing	<input type="checkbox"/>
	Mat foundation	<input type="checkbox"/>
	No foundation	<input type="checkbox"/>
Deep foundation	Reinforced concrete bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Reinforced concrete skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Steel bearing piles	<input type="checkbox"/>
	Wood piles	<input type="checkbox"/>
	Steel skin friction piles	<input type="checkbox"/>
	Cast in place concrete piers	<input type="checkbox"/>
	Caissons	<input type="checkbox"/>
Other		<input type="checkbox"/>

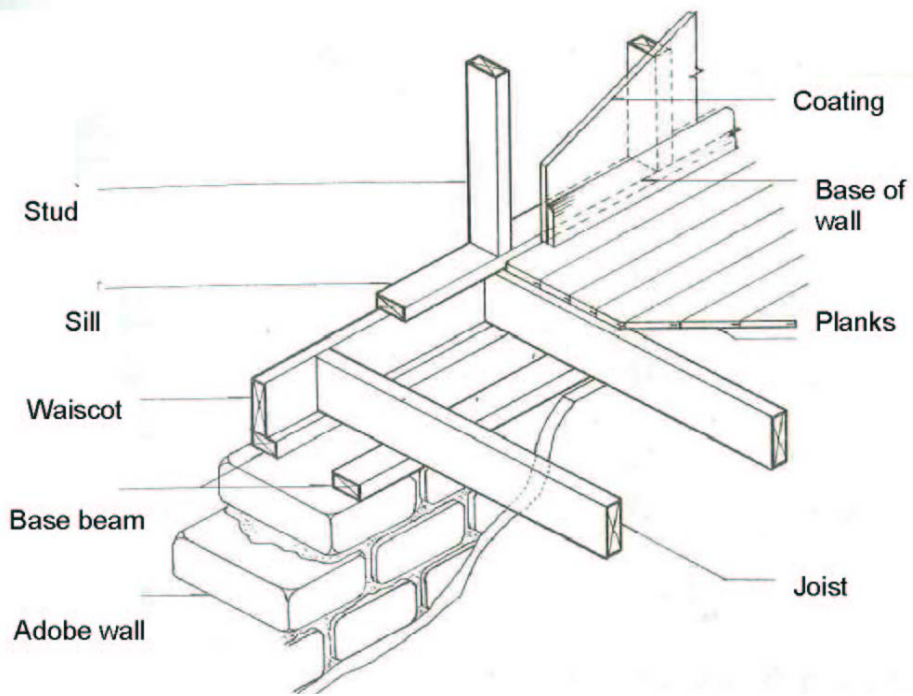
Additional comments: Insert additional text if applicable

#### 4.4 Type of Floor/Roof System

Material	Description of floor/roof system	Floor (Select one)	Roof (Select one)
Masonry	Vaulted	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Composite masonry and concrete joist	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Structural concrete	Cast in place solid slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place waffle slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Cast in place flat slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast joist system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast planks	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Precast beams with concrete topping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Post-tensioned slabs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steel	Composite steel deck with concrete slab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Timber	Rammed earth with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams with ballast and concrete or plaster finishing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Thatched roof supported on wood purlins	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood shingle roof	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support clay tiles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Wood planks or beams that support slate, metal, asbestos-cement or plastic corrugated sheets or tiles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Wood plank, plywood or manufactured wood panels on joists supported by beams or walls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Other		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Floor/roof is considered semi-rigid diaphragm.





Typical roof system in republican buildings



Typical roof system in republican buildings

#### **4.5 Typical Plan Dimensions:**

Length: 15-30 meters

Width: 4-9 meters

Additional comments: In general, these houses have rectangular floors, nevertheless, they also have square, trapezoidal or L shape floors.

#### **4.6 Typical Number of Stories:**

2 Floors; the adobe blocks first floor, the quincha second floor.

#### **4.7 Typical Story Height:**

3,5-4,0 m on the first floor; 2,8-3,20 m on the second floor.

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### **4.8 Typical Span:**

In the second floor the panels have between them 0,75-1,20 meter; The quincha walls is made by joint panels. In the first floor the typical span is between 3-6 . meters

Additional comments: Insert additional text if applicable

#### **4.9 Typical Wall Density:**

15-30% on the first floor, 20-40% on the second floor.

#### **4.10 General Applicability of Answers to Questions in Section 4**

The information provide in this contribution refers to a typical house, the variation in the values given in this section could be on the order of 10%.

## 5 Evaluation of Seismic Performance and Seismic Vulnerability

### 5.1 Structural and Architectural Features: Seismic Resistance<sup>2</sup>

Structural/ Architectural Feature	Statement <sup>3</sup>	Select one (X)		
		True <sup>4</sup>	False <sup>5</sup>	N/A
<b>Lateral load path</b>	The structure contains a complete load path for seismic force effects from any horizontal direction that serves to transfer inertial forces from the building to the foundation.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Building Configuration</b>	The building is regular with regards to both the plan and the elevation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Roof construction</b>	The roof diaphragm is considered to be rigid and it is expected that the roof structure will maintain its integrity, i.e. shape and form, during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Floor construction</b>	The floor diaphragm(s) are considered to be rigid and it is expected that the floor structure(s) will maintain its integrity during an earthquake of intensity expected in this area.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Foundation performance</b>	There is no evidence of excessive foundation movement (e.g. settlement) that would affect the integrity or performance of the structure in an earthquake.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall and frame structures-redundancy</b>	The number of lines of walls or frames in each principal direction is greater than or equal to 2.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall proportions</b>	Height-to-thickness ratio of the shear walls at each floor level is: Less than 25 (concrete walls); Less than 30 (reinforced masonry walls); Less than 13 (unreinforced masonry walls);	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Foundation-wall connection</b>	Vertical load-bearing elements (columns, walls) are attached to the foundations; concrete columns and walls are doweled into the foundation.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall-roof connections</b>	Exterior walls are anchored for out-of-plane seismic effects at each diaphragm level with metal anchors or straps	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Wall openings</b>	The total width of door and window openings in a wall is: For brick masonry construction in cement mortar : less than 1/2 of the distance between the adjacent cross walls; For adobe masonry, stone masonry and brick masonry in mud mortar: less than 1/3 of the distance between the adjacent cross walls; For precast concrete wall structures: less than 3/4 of the length of a perimeter wall.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of building materials</b>	Quality of building materials is considered to be adequate per the requirements of national codes and standards (an estimate).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Quality of workmanship</b>	Quality of workmanship (based on visual inspection of few typical buildings) is considered to be good (per local construction standards).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Maintenance</b>	Buildings of this type are generally well maintained and there are no visible signs of deterioration of building elements (concrete, steel, timber)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Other</b>	The transition zone is conformed by bricks or adobe blocks, this zone is considered rigid zone between the adobe first floor and the quincha second floor.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

<sup>2</sup> This table should be filled out based on educated judgment — no design checks or calculations need to be performed.

<sup>3</sup> The main reference publication used in developing the statements used in this table is FEMA310 “Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard”, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1998.

<sup>4</sup> Indicates good seismic resistance.

<sup>5</sup> Indicates poor seismic resistance.

## 5.2 Seismic Features

Structural Element <sup>6</sup>	Seismic Deficiency <sup>7</sup>	Earthquake Resilient Features <sup>8</sup>	Earthquake Damage Patterns <sup>9</sup>
<b>Wall</b>	Walls of adobe blocks on the first floor have low resistance to tension and shearing stress. The corners of joining walls are more vulnerable zones. Big adobe walls without adequate bracing, bending problem outside the plane..	Solepiece beams on the mezzanines and ceilings avoid their separation. Joists in bays act like lintels. Big contact areas between walls give more resistance to tension loads.	On adobe firsts floors there are diagonal cracks caused by shear effort, vertical cracks by bending effort and the combination of both of them. On quincha second floors diagonal cracks are caused by shear effort, usually there is coating loosening.
<b>Frame (columns, beams)</b>	Wooden solepiece beams do not give enough unit to the structure. There are not columns, not exactly.	Initially, during an earthquake, the solepiece beams avoid the structure from falling apart.	Wooden elements are joined by nails to form the beams. Once the shear and bending resistant forces are superseded the structure collapses. The wood may also fail due to bending or tension effort.
<b>Roof and floors</b>	Mezzanine and ceilings are semi-rigid diaphragms that do not guarantee a solid behaviour during an earthquake.		Once the ceilings and mezzanines are disjoint, the house collapses.
<b>Other</b>			

Additional comments: Insert additional text if applicable

<sup>6</sup> Please modify this column as appropriate.

<sup>7</sup> Please describe in a few words.

<sup>8</sup> Describe positive structural features that contribute to the good seismic performance.

<sup>9</sup> Damage patterns observed in past earthquakes for this construction type.



Fig. 5.1.1 Damages on Republican Housings. The old quincha and adobe walls shown cracks for seismic effects and humidity, but the buildings didn't have collapsed.



### 5.3 Seismic Vulnerability Rating:

Prior to filling out the information required in the table below, please read the Guidelines in the Appendix, and the accompanying table

(Select one- use symbols listed in the Notes below the table)

Vulnerability						
Seismic Vulnerability Class	High (Very Poor Seismic Performance)		Medium			Low (Excellent Seismic Performance)
	A	B	C	D	E	F
			<	O	>	

Notes:

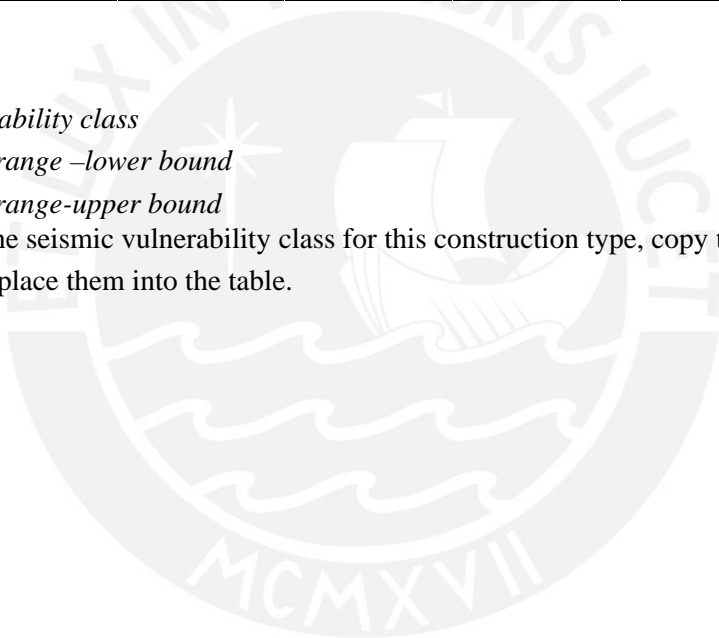
**O** = *Expected seismic vulnerability class*

**<** = *Probable vulnerability range –lower bound*

**>** = *Probable vulnerability range-upper bound*

Once you have determined the seismic vulnerability class for this construction type, copy the above symbols: **O**,

**<**, and **>** as appropriate and place them into the table.



## 6 Earthquake Damage Patterns<sup>10</sup>

### 6.1 List of reported past earthquakes in the country which affected buildings of this type

Year	Earthquake Epicenter	Richter magnitude (M)	Maximum Intensity (Indicate scale e.g. MMI, MSK)
1746	Lima Coast	8,4	X-XI
1940	Lima	8,2	VII-VIII
1970	Chimbote-Ancash	7,7	VII-VIII
1974	Lima	7,5	VIII

Additional comments: IF MORE THAN 4 EARTHQUAKES PLEASE ADD INFO HERE. Please describe earthquake damage patterns for buildings of this type (in addition to information provided in Table 5.2) – if applicable.



<sup>10</sup> As reported in the past earthquakes in the country - if applicable

## 7 Building Materials and Construction Process

### 7.1 Description of Building Materials

Structural element <sup>11</sup>	Building material(s)	Characteristic strength (see Note 1)	Mix Proportion/ Dimensions (see Note 2)	Comments
<b>Walls</b>	First Floor: Adobe blocks wall Second Floor: quincha wall	-Adobe Compression: 1.2 MPa -Adobe Shear: 25KPa -Quincha Flexion Max. Force: 15KN -Quincha Shear: 13.3 kN	Adobe Blocks: straw:mud 1:8 typic dimensions: 50x24x15 cm or 40x19x10 cm. Quincha Walls: kg staw/kg mud: 2:100	the values shown in quincha has been taken in laboratories.
<b>Foundations</b>	Rubble Stone and Mud		Shallow Foudation: Fieldstone Strip Footing. Thickness 80-100 cm	
<b>Frame</b>	Beams of wood in the floor and frame of wood in the quincha walls.	-Tension(parallel with the grain): 41 MPa Compression (perpendicular to the grain): 4 MPa -Shear: 1.5 MPa	The elements are united with leather strings o nails.	
<b>Roof and floors</b>	Wood	-Tension(parallel with the grain): 41 MPa Compression (perpendicular to the grain): 4 MPa -Shear: 1.5 MPa		These structures are covered with mud and mayolics.

Notes:

1. Tension/compression/shear strength (e.g. concrete compression strength, steel yield strength, masonry compressive/shear strength)
2. Explain mix of different materials used in the construction e.g. masonry mortar mix (1:6 cement/sand mortar or 1:3 lime/sand mortar); concrete mix 1:2:4 (cement:sand:aggregate) ; dimensions of masonry units e.g. brick size 228mm(9")x 114mm(4.5")x 76 (3")

### 7.2 Does the builder typically live in this construction type, or is it more typically built by developers or for speculation?

These houses were constructed with guide of architectures and master carpenters. The technique used and fine finishings prove this, please note the presence of decorative elements such as balconies and friezes. The fact of using a transition zone between the first and second floor and the existence of solepiece beams are evidence of engineering concepts.

### 7.3 Construction Process

The construction begins with the foundation, it varies from 0.80 - 1.00 m depth, big stones and mud are used. In a second stage, the walls of the first floor are constructed, the thickness varies from 0.50 - 1.00 m. The height of these floor varies from 3.20 – 3.50 m, the mortar is made with mud, straw and lime, leaving the corresponding spaces for the bays. The “transition zone” is in the upper part of these walls, it’s constructed with wood framework that is the base for the quincha walls filled with pieces of bricks and adobe blocks. The bottom part

<sup>11</sup> Please modify this column as appropriate

of this framework is the solepiece beam of the mezzanine. The quincha walls are constructed in the transition zone, with wood framework filled with interlaced cane and coated with mortar made with mud and straw, these walls may be 2.80-3.00m high.

These walls are threaded with a second layer of plaster and lime in order to improve the finishing.

The ceilings and mezzanines are formed with horizontal wood joined together and to the walls using nails and coated with mud and tiles.

This constructive technique is not longer used.



Transition zone construction

**7.4 Design/Construction Expertise**

To construct this type of house they used qualified workmanship and asesory of engineers and architectures. The wooden works and the finishing such as friezes, lintels and plaster coating are outstanding.

**7.5 Building codes and standards**

	Select one	
	Yes	No
Is this construction type addressed by codes/standards?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*If the answer to the above question is YES:*

*What is the title of the code or standard?*

*What year was the first code/standard addressing this type of construction issued?* Cartagena Agreement Manual, the Wood Design Code and the Adobe Norm (2000) are used.

*If applicable, please include the national building code, material codes and seismic codes/standards:*

*Please indicate when the most recent code/standard addressing this construction type was issued:*

Wood Design Code is from 1997 and the Adobe Code is from 2000.

**7.6 Role of Engineers and Architects:**

Explain the role of engineers or architects in the design/construction of this housing type

**7.7 Building Permits and Development Control Rules**

Select one	
Yes	No

Are building permits required?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Is this typically informal construction <sup>12</sup> ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Is this construction typically authorized as per development control rules?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 7.8 Phasing of Construction

	Select one	
	Yes	No
Is it likely that construction of this type takes place over time? (incrementally)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are the buildings originally designed for its final constructed size?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 7.9 Building Maintenance

Who typically maintains buildings of this type?	Select all that apply
Builder	<input type="checkbox"/>
Owner (s)	<input checked="" type="checkbox"/>
Renter (s)	<input type="checkbox"/>
No one	<input type="checkbox"/>
Other (explain)	<input type="checkbox"/>

Additional comments: Insert additional text if applicable

### 7.10 Process for Building Code Enforcement

Please explain, if appropriate

### 7.11 Typical Problems Associated with this Type of Construction

Humidity problems in the adobe as well as in the quincha. The adobe blocks may weaken causing a potential source of loosening. Quincha panels putrefact and there are insects that attack the wood damaging the structure.



Typical Problems in These constructions: humidity and non maintenance. The wood is attacked by insect, the walls are destroyed.

<sup>12</sup> Without permits, plans, inspection? – please give explanation



## 8 Construction Economics

### 8.1 Explain unit construction cost<sup>13</sup>

US\$200/m<sup>2</sup>. This is an average price in Lima city.

### 8.2 Explain labor requirements

It will take 6-8 months to build this type of house, the architecture details require so.



<sup>13</sup> When calculating the conversion between local currency and U.S. dollars, please use the market rate if it is different from the official rate.

9.1 Insurance Issues

	Select one	
	Yes	No
Is earthquake insurance for this construction type typically available?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Are premium discounts or higher coverage available for seismically strengthened buildings or new buildings built to incorporate seismically resistant features?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Additional Comments: Insert additional text if applicable

9.2 If earthquake insurance is available, what does this insurance typically cover/cost?

---



# 10 Seismic Strengthening Technologies

## 10.1 Description of Seismic Strengthening Provisions

Type of intervention	Describe Structural Deficiency <sup>14</sup>	Description of seismic strengthening provision used <sup>15</sup>
Retrofit (strengthening)	Lack of anchorage between: adobe blocks walls	The use of columns of concrete placed in the intersections of walls of the same material they offer confinement and unit. This technique is useful but expensive what does not do it accessible.
	Integrity Problems: adobe block walls	As opposed to the traditional dwellings of two-floor adobe, the republican dwellings include wooden principal beams to be used during a seismic movement (these element offer unit to the structure)
	Problems of Out of the plan resistance: adobe blocks walls	These walls are very long and high, also, they are heavy so, They are weak and they don't support the orthogonal seismic forces.
New Construction		

Additional Comments: Insert additional text if applicable

### 10.2 Has seismic strengthening described in the above table been performed in design practice, and if so, to what extent?

All these methods have given good results. For the adobe housings, the new methods has been tested with good results in the southern earthquake in the year 2003 . The dwellings reinforced with metallic mesh and cover with cement not were destroyed, the dwelling without reinforcement were destroyed. For the Quincha buildings , the new methods Quincha Improment and Quincha Prefabricated has been tested in laboratories with good results.

The Republican Dwellings has been reinforced mainly by reasons of antiquity because, these constructions have borne acceptably the seismic effect,

### 10.3 Was the work done as a mitigation effort on an undamaged building, or as repair following earthquake damage?

These reinforcement has been developed in ol dwellings with damage. Now this method of construction isn't used.

<sup>14</sup> The fields on this table should preferably be the same as the fields used in table in section 5.2.

<sup>15</sup> Describe how it needs to be constructed, building materials used, its expected effectiveness, and the level of complexity in terms of construction

**10.4** *Was the construction inspected in the same manner as new construction?*

Yes, the construction is inspected in the same manner as new construction.

**10.5** *Who performed the construction: a contractor, or owner/user? Was an architect or engineer involved?*

Engineer and architect are involved in the project.

**10.6** *What has been the performance of retrofitted buildings of this type in subsequent earthquakes?*

The performance has been good.



BARIOLA, N., “Diseño y Construcción en Quincha”, Proyecto Pontificia Universidad Católica del Perú – Universidad Técnica de Nueva Escocia de Canadá, Perú.

KUROIWA, J. (2002), “Reducción de desastres”, Lima.

TEJADA, U. (2000), “Buena Tierra”, Lima.

TORREALVA, D. (2003), “Caracterización de daños en construcciones de Adobe – Borrador” Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

TORREALVA, D. (2003), “Caracterización de daños en construcciones de Adobe – Borrador” Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.



<sup>16</sup> Please list documents/publications referred to in filling out this form.



	Participant #1	Participant#2	Participant#3
Name			
Title/Position			
Affiliation			
Address			
Zip Code			
Country			
Phone			
Fax			
Email			



<sup>17</sup> Please list the name(s) and affiliation(s) of the project participants who have filled out this form. If more than 3 participants have filled out the form, please copy this table below and provide the required information.

<b>FIGURE 1: Typical Building (photo)</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 2: Perspective Drawing Showing Key Load-Bearing Elements</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 3: Plan of a Typical Building</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 4: Critical Structural Details (e.g. wall section, foundations, roof-wall connections, etc.)</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 5: An Illustration of Key Seismic Features and/or Deficiencies</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 6: A Photograph Illustrating Typical Earthquake Damage<sup>18</sup></b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>FIGURE 7: Illustration of Seismic Strengthening Techniques</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised
<b>Indicate the caption for this figure</b>	Type the name of the .jpg file that corresponds to this figure.	Date Submitted / Revised

<sup>18</sup> Please write a brief caption-describe the earthquake (e.g. 1995 Kobe earthquake) and type of damage etc.

## Appendix: Seismic Vulnerability Rating: A Guideline

“The term vulnerability is used in this document to express differences in the way that buildings respond to earthquake shaking. If two groups of buildings are subjected to exactly the same earthquake shaking, and one group performs better than the other, then it can be said that the buildings that were less damaged had lower earthquake vulnerability than the ones that were more damaged, or it can be stated that the buildings that were less damaged are more earthquake-resistant, and vice versa.” (an excerpt from the publication *European Macroseismic Scale 1998 (EMS1998)*, prepared by the European Seismological Commission, Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Vol.15, Luxembourg 1998). Note, therefore, that the use of word vulnerability in this document is not necessarily the same as other uses and definitions of the same word.

Classification of all structural types included in this document into six (6) classes of decreasing vulnerability (A, B, C, D, E, and F) is largely based on a similar classification presented in the EMS1998.

The first three classes A, B, and C, represent the most vulnerable (i.e. least earthquake-resistant) building types; e.g. Class A- adobe masonry (Types 3 and 5 in the table below) or rubble stone masonry (Type 1 in the table below); class B- typical brick masonry building (Type 7); Class C- reinforced concrete frame structure without seismic provisions (Type 13);

Classes D and E are intended to represent building types characterized with the reduced vulnerability (i.e. increased earthquake-resistance) as a result of inherent structural features and also special seismic design provisions; well-built timber, reinforced concrete and steel structures, as well as confined and reinforced masonry structures generally fall into vulnerability classes D and E.

Class F is intended to represent the vulnerability of a structure with a high level of earthquake-resistant design.

Participants should use their judgment in assigning the seismic vulnerability class to their building type. The table below has been prepared as a guide in the selection of a seismic vulnerability class and in the absence of other information can be used by the participant for the appropriate structural type. The vulnerability rating is subjective, and is intended to give a general estimation of the seismic vulnerability of the building type. It should not be used as a basis for statistical loss estimation or for evaluation of an individual building without additional information.

## Guidelines for Seismic Vulnerability of Construction Types (based on European Macroseismic Scale 1998)

Material	Type of Load-Bearing Structure	No	Subtypes	Vulnerability Class						
				A	B	C	D	E	F	
Masonry	Stone Masonry Walls	1	Rubble stone (field stone) in mud/lime mortar or without mortar (usually with timber roof)	λ						
		2	Massive stone masonry (in lime/cement mortar)		-	λ	-			
	Earthen/Mud/Adobe/Rammed Earthen Walls	3	Mud walls	λ						
		4	Mud walls with horizontal wood elements	-	λ	-				
		5	Adobe block walls	λ						
		6	Rammed earth/Pise construction							
	Clay brick/block masonry walls	7	Unreinforced brick masonry in mud mortar	-	λ	-				
		8	Unreinforced brick masonry in mud mortar with vertical posts							
		9	Unreinforced brick masonry in cement mortar with reinforced concrete floor/roof slabs		-	λ	-			
		10	Confined brick/block masonry with concrete posts/tie columns and beams			-	λ	-		
	Concrete block masonry	11	Unreinforced in lime/cement mortar (various floor/roof systems)							
		12	Reinforced, in cement mortar (various floor/roof systems)			-	λ	-		
Structural concrete	Moment resisting frame	13	Designed for gravity loads only (predating seismic codes i.e. no seismic features)	-	-	λ	-			
		14	Designed with seismic features (various ages)			-	-	λ	-	
		15	Frame with unreinforced masonry infill walls							
		16	Flat slab structure		-	λ	-			
		17	Precast frame structure							
		18	Frame with concrete shear walls-dual system							
	Shear wall structure	19	Walls cast in-situ				-	λ	-	
		20	Precast wall panel structure		-	λ	-			
Steel	Moment-resisting frame	21	With brick masonry partitions							
		22	With cast in-situ concrete walls							
		23	With lightweight partitions							
	Braced frame	24				-	λ	-		
Wooden structures	Load-bearing timber frame	25	Thatch		-	λ	-			
		26	Post and beam frame			-	λ	-		
		27	Walls with bamboo/reed mesh and post (Wattle and Daub)							
		28	Frame with (stone/brick) masonry infill							
		29	Frame with plywood/gypsum board sheathing							
		30	Frame with stud walls				-	λ	-	
	Other	31								
	Other	32								

FOR DATABASE USE – DO NOT INSERT A VALUE: