

# Evaluación de Estructuras de Adobe

Dr. Hugo Scaletti Farina  
Universidad Nacional de Ingeniería - Lima

## Reconocimiento

Esta presentación se basa en investigaciones y publicaciones de M. Blondet, M. Corazao, J. Kuroiwa, R. Meli, R. Morales, A. Sánchez, A. San Bartolomé, L. Tolles, D. Torrealva, J. Vargas-Newmann, R. Yamashiro, L. Zegarra, R. Zavala, entre otros numerosos colegas

- En muchas regiones – y particularmente en zonas áridas - la tierra ha sido, es y seguirá siendo el material más utilizado para la construcción
- La construcción con tierra requiere materiales normalmente abundantes, mano de obra con mínima especialización y prácticamente ningún combustible
- La tierra con la que se hacen los muros tiene claras ventajas de costo; es además un excelente aislante térmico y acústico

- Pueden identificarse diversas modalidades en la construcción con tierra:
  - Tapial (tierra apisonada in situ)
  - Adobe (bloques presecados, unidos con mortero de barro)
  - Quincha o bahareque (la tierra se usa para revestir un entramado de madera y caña)
- Esta presentación se refiere básicamente al adobe y a su uso en viviendas y otras edificaciones pequeñas.









Los terremotos y la humedad  
son las dos amenazas más serias  
para estas construcciones



Bam, SE de Irán, antes del sismo del 26-12-2003



Bam, después del sismo del 26-12-2003

- Los muros de adobe se construyen con bloques de tierra sin cocer, unidos con mortero a base de barro
- La tierra para la elaboración de los bloques tiene entre 10% y 30% de arcilla, con el añadido de paja o estiércol y en algunos casos con un pequeño porcentaje de asfalto (bloque "estabilizado")
- El mortero de barro es casi siempre más débil que los bloques, pues al secarse se contrae y agrieta
- El uso de mortero con cemento y/o asfalto mejora apreciablemente las propiedades

## Propiedades Mecánicas del Adobe

Diversos factores influyen en las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, principalmente:

- Los materiales empleados para la fabricación de las unidades y el mortero (suelo, paja, asfalto, cemento)
- Las dimensiones de las unidades y el espesor de las juntas en relación a la altura de los adobes
- La calidad de la mano de obra

## Resistencia a la Tracción

- La resistencia a tracción es bajísima
- Las resistencias típicas a la tracción por flexión están en el rango entre 25 kPa (0.25 kg/cm<sup>2</sup>) y 0.1 MPa (1 kg/cm<sup>2</sup>)
- En algunos ensayos a tracción pura se han reportado resistencias del orden de 3.5 kPa (0.036 kg/cm<sup>2</sup>)

## Esfuerzo Admisible en Tracción

Para mampostería de adobe, según la norma E080:

- El esfuerzo máximo admisible en condiciones de servicio para la tracción producida por flexión (cargas normales al plano del muro) es de 39 kPa (0.4 kg/cm<sup>2</sup>)
- No se considera la resistencia a la tracción para soportar acciones de membrana



## Resistencia a la Compresión

- La típica resistencia a compresión en pilas de adobe con mortero ( $f'_m$ ) es del orden de 1 MPa (10 kg/cm<sup>2</sup>)
- En la literatura se indican resistencias en el rango entre 0.5 MPa (5 kg/cm<sup>2</sup>) y 2 MPa (20 kg/cm<sup>2</sup>)
- La resistencia se incrementa al emplear morteros con cemento y/o un pequeño porcentaje de asfalto

## Esfuerzo Admisible en Compresión

Según la norma E080:

- El esfuerzo máximo admisible, en condiciones de servicio, se obtiene como:

$$f_m = 0.4 f_e f'_m$$

$f_e$  es un factor de reducción por esbeltez

- Si no se hacen ensayos para determinar  $f'_m$  con los materiales y la tecnología a usar en obra, puede suponerse  $f'_m = 0.2$  MPa (2 kg/cm<sup>2</sup>)

## Reducción por Esbeltez

Definiendo la esbeltez como  $\lambda = Kh/t$

Se establece el límite:

$$\lambda_0 = \pi (E/6f'm)^{1/2}$$

Si  $\lambda < \lambda_0$  se tiene que:

$$f_e = 0.5 (\lambda_0/\lambda)^2$$

Mientras que si  $\lambda > \lambda_0$  :

$$f_e = 1 - 0.5 (\lambda/\lambda_0)^2$$

## Esfuerzo Admisible de Corte

Los resultados de ensayos de corte directo se ajustan a la expresión:

$$\tau = \mu + f \sigma$$

Los valores de  $\mu$  y  $f$  dependen sobre todo de la calidad del mortero

La adherencia  $\mu$  varía entre 25 kPa (0.25 kg/cm<sup>2</sup>) y 0.2 MPa (2 kg/cm<sup>2</sup>)

El coeficiente de fricción,  $f$ , está en el rango de 0.5 a 1

## Esfuerzo de Corte Admisible

Según la norma E080, el esfuerzo de corte admisible puede determinarse como:

$$v_m = 0.4 f'_t$$

Siendo  $f'_t$  el esfuerzo último obtenido en ensayos de compresión diagonal

Cuando no se realizan ensayos, puede suponerse que  $v_m = 25 \text{ kPa} = 0.25 \text{ kg/cm}^2$

## Humedad

- El agua es la amenaza no sísmica más seria para los edificios de adobe
- El agua puede provenir de la lluvia, de la absorción por capilaridad, o de la rotura de tuberías
- Con la humedad, se rompen los enlaces entre las partículas de arcilla y otros elementos, perdiéndose entre 50 y 90% de la resistencia a la tracción o a la compresión

## Humedad

- Aún sin estar saturado, el adobe comienza a deformarse lentamente, conforme va absorbiendo más humedad
- Se observa un ensanchamiento en la base del muro, con desprendimiento del revestimiento
- La reducción de la capacidad resistente puede dar como resultado que el material falle, incluso en las condiciones normales de carga

## Comportamiento Sísmico

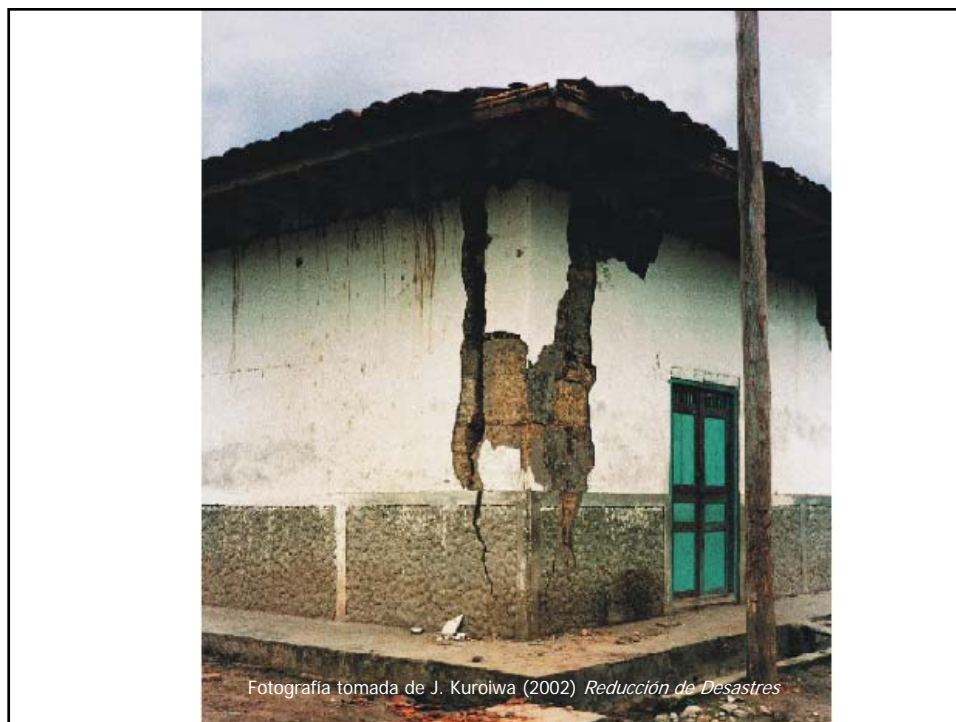
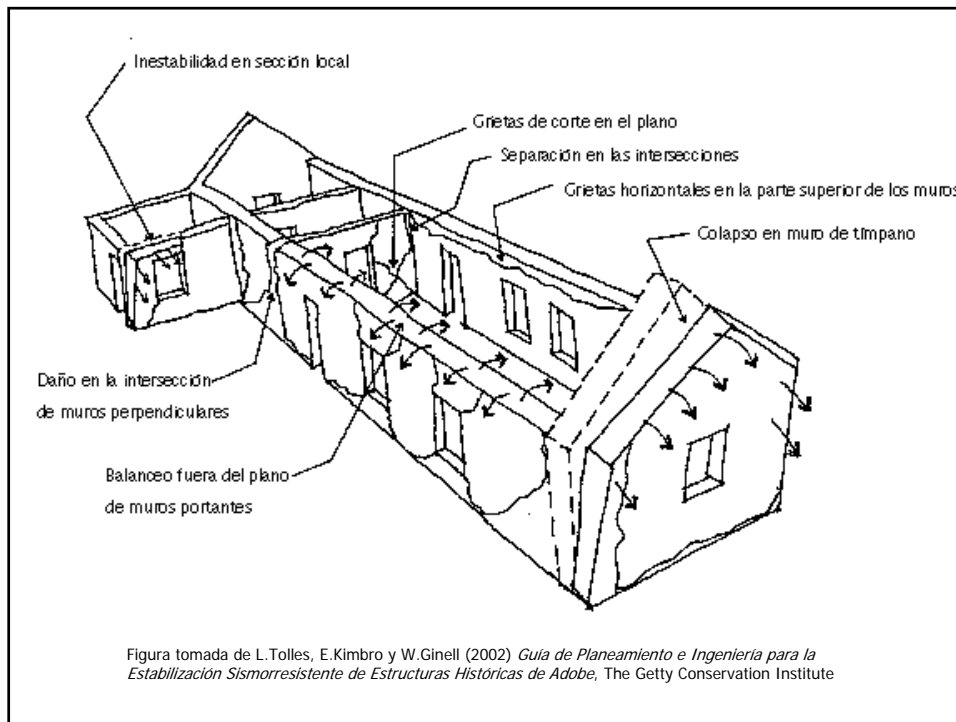
- Las estructuras de adobe son en general muy vulnerables frente a sismos, sobre todo por su baja resistencia en proporción al peso del material
- Típicamente, se observa fisuración con eventos de intensidad VI en la escala de Mercalli Modificada, amplias rajaduras y colapso parcial con intensidad VII y colapso general con intensidad VIII

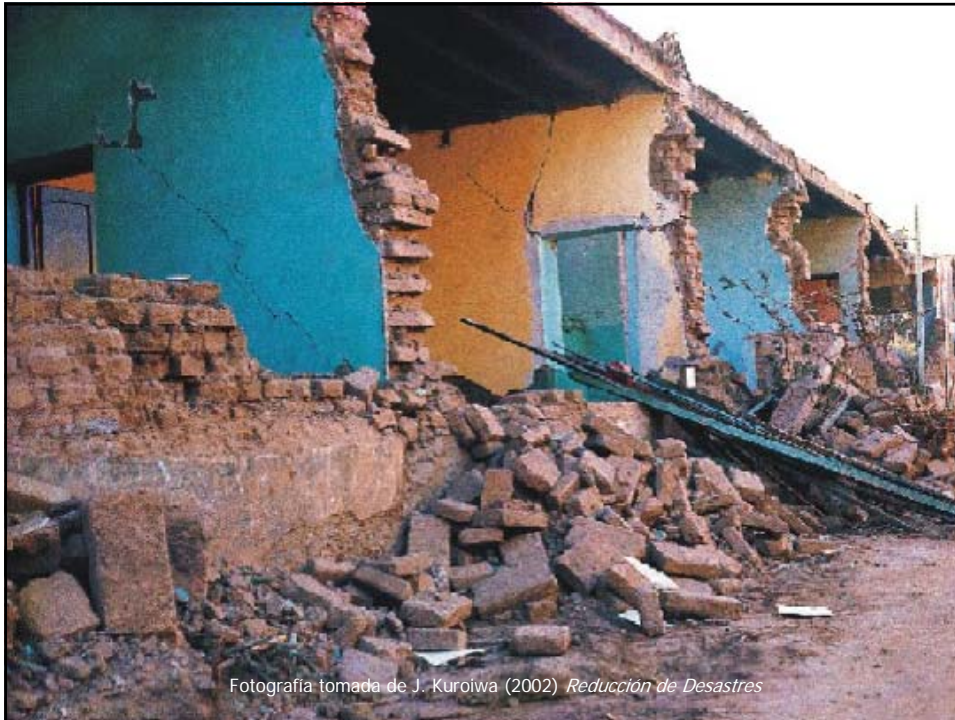


## Causas de Fallas Típicas en Edificaciones de Adobe

- Esfuerzos de tracción directa en los encuentros de muros
- Tracción por flexión debida a fuerzas normales al plano del muro
- Esfuerzos de corte producidos por fuerzas en el plano

- Los muros de adobe se fisuran fácilmente por acciones de sismo normales a su plano
- En situaciones comunes se aprecian daños para aceleraciones en el terreno del orden de 0.2 g
- Las grietas comienzan en las intersecciones con muros transversales o contrafuertes, donde se producen las máximas tracciones, y se prolongan vertical o diagonalmente hacia abajo hasta alcanzar la base del muro





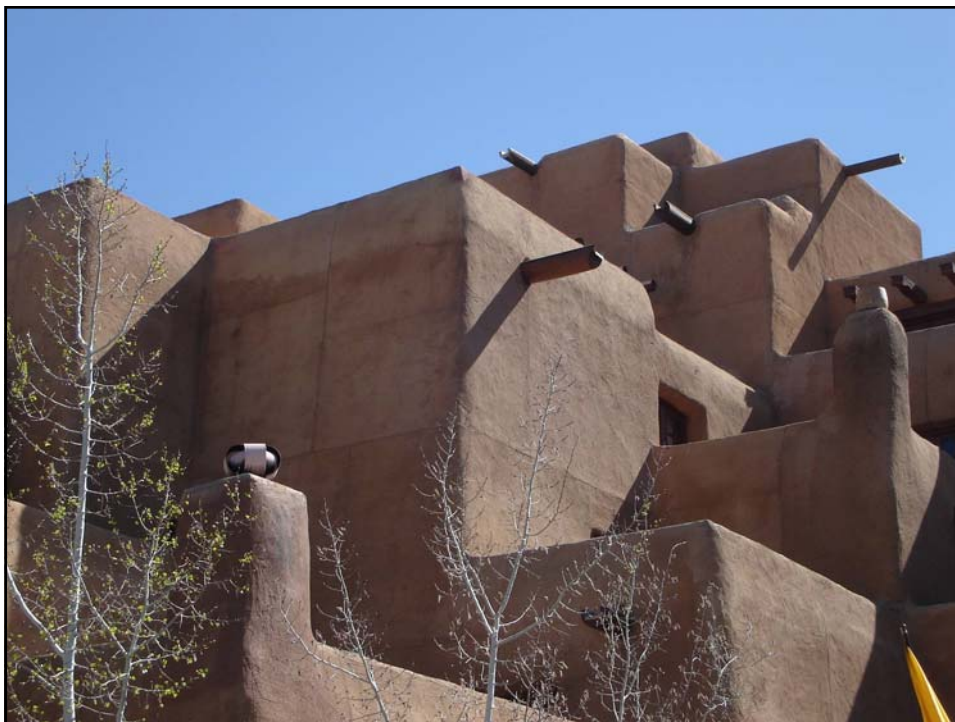
- Es importante evitar que los muros se volteen, que es el principal riesgo de vida
- Los principales factores que afectan la estabilidad de un muro de adobe son:
  - La relación de esbeltez,  $h/t$
  - La distancia entre muros transversales
  - La conexión con el techo
  - La condición de la base del muro
  - Si el muro es de carga o no

- Los tímpanos que se encuentran en los extremos de estructuras con techo a dos aguas son muy susceptibles al colapso: son más esbeltos que otros muros y frecuentemente no están bien conectados al resto de la estructura porque no soportan cargas verticales
- La humedad en la base de los muros puede ocasionar su inestabilidad, incluso con cargas estáticas. El muro colapsa hacia el lado más debilitado o erosionado

- Los esfuerzos de corte en el plano pueden originar fallas en el mortero, que se extienden en forma de X
- Ciertas porciones de muro pueden volverse inestables al producirse tales grietas en las esquinas de la edificación y en las aberturas de puertas y ventanas
- Son comunes, pero poco importantes, las grietas en las esquinas de los vanos, que se propagan vertical o diagonalmente



- También se observan desplazamientos de los elementos de madera de techos o entrepisos, donde estos se apoyan en la estructura de adobe
- Pueden aparecer grietas horizontales cerca de la parte superior de los muros, donde haya una viga collar o en donde el techo se ancla a la misma
- Estos problemas son mayores si se tienen techos muy pesados



## Criterios para la Evaluación de Construcciones de Adobe

- Condiciones de sitio
- Estructuración
- Cimentación
- Geometría de los muros
- Calidad de la mampostería
- Elementos de refuerzo
- Techos
- Revestimientos
- Estado de conservación

## Condiciones de Sitio

1. Las estructuras de adobe deben ubicarse sobre terreno firme (S1)
2. No deben construirse sobre arenas finas o limos cuando la napa freática está cerca de la superficie
3. No deben construirse en terrenos con mucha pendiente o cerca de taludes

## Estructuración

1. La altura de las edificaciones debe restringirse a un piso más altillo  
  
Sólo pueden construirse estructuras de adobe de dos pisos en la zona sísmica 1
2. La densidad de muros en cada una de dos direcciones ortogonales debe ser por lo menos 10%
3. Deben tenerse contrafuertes en todas las esquinas y juntas de los muros. Su longitud mínima debe ser igual al espesor del muro

## Cimentación

1. Los cimientos deben ser de concreto ciclópeo  
Las proporciones (en volumen) de cemento, arena, grava y piedra grande pueden ser 1:4:6:10
2. La profundidad mínima del cimiento debe ser 60 cm y su ancho el del muro más 20 cm
3. El sobrecimiento debe ser de concreto ciclópeo, con una altura mínima de 30 cm sobre el nivel del terreno

## Geometría de los Muros

1. La altura de un muro debe ser menor que 8 veces su espesor
2. La longitud de cada paño de muro, entre muros transversales o contrafuertes, no debe exceder de 10 veces su espesor
3. El ancho de cualquier vano debe ser menor que 1.20 m
4. La distancia entre una esquina exterior y una abertura debe ser por lo menos 1.20 m
5. La suma de los anchos de vanos en un muro no debe exceder de  $\frac{1}{3}$  de la longitud total

## Calidad de la Mampostería

1. La mampostería de adobe debe ser regular
2. Debe preferirse el uso de adobe "estabilizado" con asfalto
3. La longitud de los adobes no debe ser mayor que el doble del ancho más el espesor de la junta. La máxima dimensión no debe ser mayor que 40 cm
4. La razón entre longitud y altura de los bloques debe ser aproximadamente 4. La altura de los bloques no debe exceder de 10 cm



## Elementos de Refuerzo

1. Debe tenerse una viga collar, de madera con suelo-cemento o de concreto armado, a la altura de los dinteles
2. En cualquier caso la longitud mínima de apoyo de los dinteles debe ser 50 cm
3. Si la altura de los muros (exceptuando los tímpanos) es mayor que 2.50 m, se requiere una segunda viga collar en el extremo superior de los muros

## Techos

1. La cubierta del techo debe ser de material ligero, impermeable y resistente al fuego
2. Las viguetas o tijerales de techo deben apoyarse sobre soleras de madera longitudinales que distribuyan la carga
3. Las edificaciones en zonas con lluvia deben tener aleros de por lo menos 80 cm en todo el perímetro y un sistema de evacuación del agua que evite que ésta se acumule cerca de los muros

## Revestimientos

1. Todos los muros exteriores deben ser revestidos, con un material semejante al del muro para que se adhiera

Los revestimientos con cemento requieren un sistema de fijación adicional

Típicamente se tendrá una capa de base de aprox. 12 mm y otra de acabado de unos 3 mm

2. Los muros exteriores deben ser preferentemente pintados con una pintura insoluble

## Evaluación General

Se propone adaptar el método del *Índice de Vulnerabilidad* de Benedetti y Petrini para evaluar estructuras de adobe

En este método se hace una apreciación cualitativa de la estructuración, la calidad del sistema resistente, la resistencia convencional, la posición del edificio y su cimentación, la existencia de diafragmas horizontales, la configuración en planta y en elevación, la distancia máxima entre muros, el tipo de cubierta, los elementos no estructurales y el estado de conservación

En campo se califica a la edificación en cada uno de esos aspectos, asignándole una de cuatro clases A, B, C o D (A=óptimo, D=pésimo) según instrucciones detalladas, para minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores

A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico  $k_i$ , que varía entre 0 y 45

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso  $w_i$  que varía entre 0.25 y 1.5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los aspectos considerados para definir la vulnerabilidad de la estructura.

## Índice de Vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad,  $I$ , se define por la siguiente expresión:

$$I = \alpha \sum_i w_i k_i$$

Donde  $\alpha$  es un factor de escala ajustado para que el máximo resultado posible corresponda a 100%

Las estructuras con un índice menor que 15% se califican como de vulnerabilidad baja y aquellas con 35% o más como de vulnerabilidad alta

## Criterios para el Reforzamiento

- El adobe tiene muy baja ductilidad, baja resistencia a la compresión y casi nula resistencia a la tracción
- Sería muy costoso y quizás no factible reforzar una estructura de adobe para que resista elásticamente sismos moderados a fuertes
- De otro lado, dar ductilidad a esta clase de estructuras es muy difícil

- Cuando un muro de adobe se agrieta, su resistencia a tracción se pierde por completo, pero el muro puede permanecer en pie y soportar cargas de gravedad, mientras no pierda su verticalidad
- La adecuación sísmica basada en la estabilidad intenta capitalizar las características favorables de disipación de energía que el adobe presenta tras la aparición de grietas, minimizando los daños estructurales severos al limitar los desplazamientos relativos entre los pedazos de muro

- Se busca dar la mayor protección posible a la vida de los ocupantes, antes que limitar los posibles daños a las construcciones durante el movimiento sísmico
- Al reforzar edificaciones históricas se trata además que la intervención tenga un efecto mínimo en la apariencia de la construcción
- Deben protegerse selectivamente determinados detalles arquitectónicos o históricos y dirigir los daños hacia áreas de menor importancia

Al plantear las medidas de adecuación sísmica:

- Se trata principalmente de dar continuidad al edificio, de modo que funcione como un sistema integrado
- Debe predecirse el patrón de agrietamiento que pudiera presentarse durante grandes terremotos
- Se requiere asegurar la estabilidad de cada segmento del muro agrietado y limitar los daños permanentes a niveles aceptables



En orden de importancia, las medidas correctivas incluyen:

Elementos horizontales superiores  
(viga collar, refuerzos con geomalla, anclajes entre muros)

- Dan anclaje al techo o entrepiso
- Aportan resistencia y rigidez fuera del plano
- Establecen continuidad en el plano

y por tanto contribuyen a reducir el mayor riesgo para las vidas: el volteo de los muros

Elementos verticales de muro

- Pueden mejorar sustancialmente la resistencia
- Ayudan a reducir los daños
- Este refuerzo es importante en muros delgados

Elementos horizontales inferiores

Contribuyen a evitar que los muros se salgan de su plano

Otros aspectos a considerar:

- Siempre que sea posible, evitar las concentraciones de esfuerzos.
- Evitar el empleo de conexiones frágiles
- Predecir los patrones de agrietamiento, evaluar el impacto de las grietas en la estabilidad
- Incluir mecanismos de redundancia siempre que sea posible.

