

ENSAYO DE SIMULACIÓN SÍSMICA EN UN MÓDULO DE ADOBE CONFINADO POR ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO

Gerardo Matos, Daniel Quiun y Ángel San Bartolomé

RESUMEN

A raíz del daño masivo ocurrido en viviendas de adobe en diversos poblados de la zona sur del Perú a causa del sismo del 12 de noviembre de 1996, se elaboró el presente proyecto, el cual consiste en investigar el comportamiento sísmico de un módulo de adobe confinado por elementos de concreto armado, de baja resistencia y escaso refuerzo. El módulo es de un piso, techado con troncos de eucalipto apoyados sobre vigas soleras de concreto armado, la cobertura consistió de caña brava sobre la cual se colocó torta de barro. En las cuatro esquinas se utilizaron columnas de concreto armado, cuyas conexiones con los muros de adobe fueron en forma dentada; sólo en una columna la conexión fue a ras con mechas de anclaje.

El módulo fue sometido a ensayos de simulación sísmica en la mesa vibradora del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Católica, utilizando la señal correspondiente al terremoto del 31 de mayo de 1970 y variando la intensidad del movimiento. Adicionalmente, se realizó un ensayo de simulación sísmica removiendo totalmente los muros de adobe paralelos a la dirección del movimiento, con el objeto de observar el comportamiento del pórtico de confinamiento de concreto armado. En este reporte se discute los resultados obtenidos.

1. INTRODUCCIÓN

El adobe es el material de construcción más empleado en el Perú por un alto porcentaje de habitantes. Según el censo de 1993 (Ref.1), el 71% de la población rural y el 35% de la población urbana viven en construcciones de tierra.

Las construcciones de tierra y en particular las de adobe, se caracterizan por su buen aislamiento térmico, tener bajo costo y permitir la posibilidad de autoconstrucción, siendo preferidas por pobladores de bajos recursos económicos, los cuales construyen sus viviendas sin contemplar criterios sismorresistentes. La escasa tecnología constructiva empleada, el desconocimiento de la Norma E-080 (Ref.2), la falta de refuerzos adecuados, la gran masa y las limitaciones propias del material (frágil y poco resistente), hacen que las viviendas de adobe sean vulnerables ante las solicitaciones sísmica, causando numerosas víctimas. En el sismo moderado de Nasca del 12 de noviembre de 1996, la mayor parte del daño se produjo en viviendas tradicionales de adobe.

De acuerdo a esta realidad, el mejoramiento de la resistencia sísmica de estas edificaciones es una tarea ingenieril de gran importancia. Los estudios e investigaciones en este tema deben buscar alternativas prácticas y económicas de solución.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ESPÉCIMEN

2.1 Características Geométricas

Se construyó un módulo de vivienda de adobe, típico de la costa peruana, a escala 3/4., proporción que fue adoptada por requerimientos en la capacidad de carga de la mesa vibradora (máximo 16 ton). Por esta razón, la dimensión del módulo (Fig.1) fue de 3.30 x 3.30 m en planta y 1.85 m de altura. Los muros de adobe fueron confinados mediante cuatro columnas y una viga de

concreto armado. La viga solera tuvo un peralte de 0.15 m, y las cuatro columnas esquineras tuvieron una sección transversal de 0.28 x 0.28 m, el concreto de estos elementos fue vaciado después de haberse construido los muros de adobe de espesor 0.28 m (Fig.2).

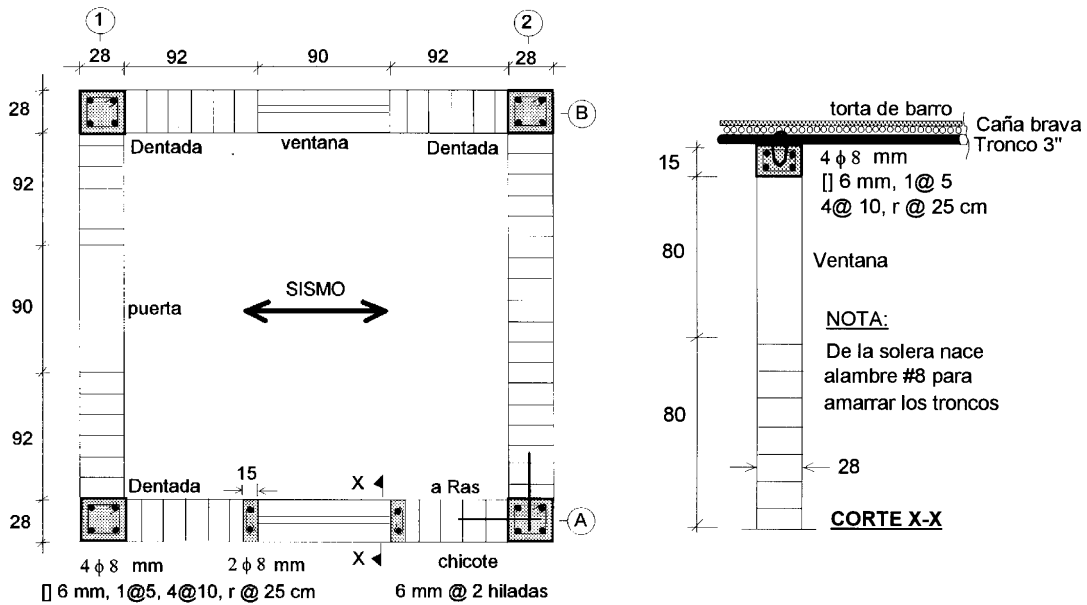


Fig.1. Características del Módulo. Dimensiones en centímetros.



Fig.2. Construcción del Módulo de Adobe Confinado.

En los dos muros longitudinales (ejes A y B, paralelos a la dirección del movimiento), existieron ventanas de 0.90 x 0.80 m. Para controlar las grietas diagonales que se producen por acciones sísmicas en la zona del alféizar, se colocó en el muro del eje A, columnetas de concreto armado

de 0.28 x 0.15 m de sección transversal en ambos lados del vano de ventana. En el muro transversal del eje 1 existe un vano de puerta de 0.90 x 1.60 m, mientras que el eje 2 es un muro lleno. Cabe indicar que en la zona de puertas y ventanas el dintel corresponde a la viga solera.

El techo se construyó con troncos de eucalipto de 3" de diámetro, paralelos a los ejes 1 y 2, y como elementos de cobertura se utilizó caña brava con torta de barro. Los troncos del techo se amarraron a la viga solera con alambre # 8 anclado en dicha viga.

Se usó como cimentación una viga de concreto armado, de las mismas dimensiones en planta del módulo, diseñada para servir como medio de transporte y anclaje a la plataforma del simulador sísmico. La estructura en su conjunto, incluyendo la cimentación, pesó alrededor de 14 ton.

2.2 Materiales

Las unidades de adobe se prepararon con tierra arcillosa de baja plasticidad. Las dimensiones nominales de los adobes fueron 0.28 x 0.13 x 0.08 m, siendo fabricados con una proporción volumétrica de 5 partes de tierra, 1 de arena gruesa y 1 parte de paja.

El mortero empleado fue de tierra similar a las unidades de adobe; tuvo una proporción en volumen de 2 partes de tierra, 1 de arena gruesa y 1 parte de paja.

Las columnas y la viga solera fueron hechas con un concreto de baja resistencia: $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$.

El acero de refuerzo de los elementos de concreto fue de Grado 60 ($f_y=4200\text{kg/cm}^2$). Las barras longitudinales de los elementos de confinamiento fueron 4 varillas de $\phi 8 \text{ mm}$, con estribos de 6mm de diámetro, espaciados: 1 @ 0.05, 4 @ 0.10 (en cada extremo), resto @ 0.25 m.

2.3 Procedimiento Constructivo

Este proyecto pretende simplificar el proceso constructivo, para lo cual en la mampostería de adobe se empleó un aparejo de cabeza. Se utilizó una conexión dentada columna-adobe, menos en la columna A-2 (Fig.1), donde se empleó una conexión a ras, con chicotes de $\phi 6 \text{ mm}$ cada 2 hiladas que penetraban 30 cm al interior del muro.

Terminada la construcción de los muros, se vaciaron las columnas (Fig.2). Posteriormente, se construyó la viga solera, dejando anclado alambre N° 8 en forma de "U" que sirvió para amarrar los troncos del techo. El techo se construyó con 5 troncos de eucalipto de 3 pulgadas de diámetro, paralelos a los ejes 1 y 2. La cobertura del techo utilizada fue de caña brava con torta de barro.

3. ENSAYO DE ESPECÍMENES PEQUEÑOS

3.1 Ensayo de Compresión Axial en Pilas

Estas pruebas son de ejecución bastante simple y permiten determinar la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de la albañilería de adobe.

Se ensayaron 4 pilas, cada una compuesta por 5 unidades (0.41m de altura), colocándose 2 LVDT para medir los desplazamientos verticales. La velocidad de carga fue de 5 kN/min. El módulo de elasticidad obtenido resultó: $E = 6979 \text{ kg/cm}^2$ y la resistencia características a compresión axial fue: $f'm = 15.7 \text{ kg/cm}^2$.

3.2 Ensayo de Muretes a Compresión Diagonal

Con este ensayo se pretende reproducir las fallas típicas que aparecen en los muros, sometidos a cargas laterales en su plano.

Se ensayaron 4 muretes de 0.41 x 0.41 m en aparejo de soga. La velocidad de carga fue 1 kN/min. La resistencia característica a compresión diagonal resultó: $v'm = 0.96\text{kg/cm}^2$.

4. ENSAYO DE SIMULACIÓN SÍSMICA SOBRE EL MÓDULO CONFINADO

4.1 Descripción del Ensayo

Se utilizó la señal correspondiente al sismo del 31 de mayo de 1970, componente L (la más fuerte). Se realizaron 6 fases con desplazamientos máximos controlados en la plataforma del simulador de sismos: $D = 30; 60, 80, 100, 120$ y 140 mm. Además, entre las fases del ensayo, se aplicó un pulso rectangular cuya finalidad fue obtener la respuesta del módulo en vibración libre, para calcular luego el período natural de vibración y observar el grado de deterioro estructural.

4.2 Comportamiento Cualitativo

En la primera fase ($D = 30\text{mm}$), correspondiente a un sismo leve ($0.29g$) no aparecieron fisuras. En la segunda fase ($D = 60\text{mm}$, sismo moderado: $0.59g$) sólo apareció una pequeña fisura en el muro de corte B en el alféizar de la ventana.

En la tercera fase ($D = 80\text{mm}$, sismo severo: $0.78g$), aparecieron nuevas fisuras en la zona de la ventana del muro de corte B. En la cuarta fase ($D = 100\text{mm}$, sismo muy severo: $1.07g$, Fig.3) se produjeron pequeñas fisuras en la zona superior del muro de corte B. En la cuarta fase ($D = 100\text{mm}$, sismo muy severo: $1.07g$, Fig.3) se produjeron pequeñas fisuras en la zona superior del muro del eje 2 (perpendicular al movimiento).

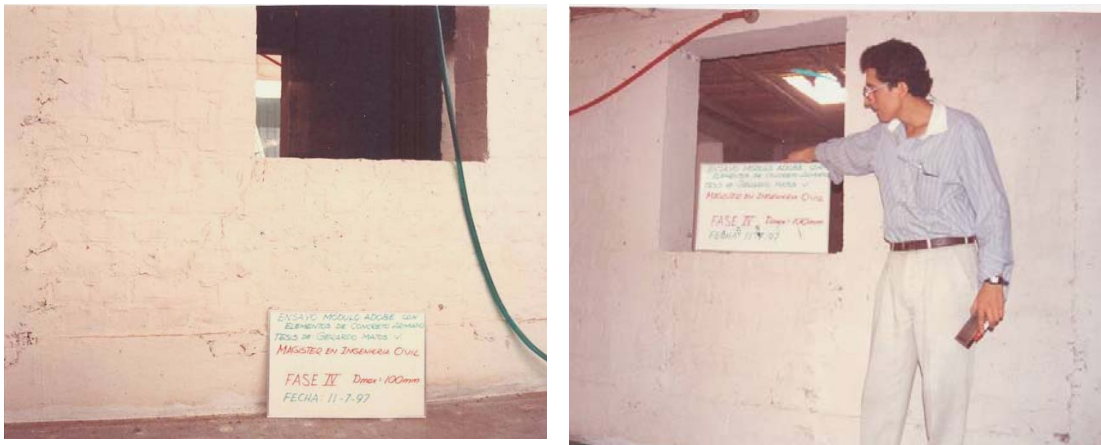


Fig.3. Fisuras después de la Fase 4 ($D = 100\text{mm}$). Eje B (izquierda) y eje A (derecha).

En la quinta fase ($D = 120\text{mm}$, sismo demasiado severo: $1.35g$), las fisuras de la falla por corte en el muro con ventana se hicieron más pronunciadas (Fig.4). En la sexta fase ($D = 140\text{mm}$, sismo catastrófico: $1.64g$, Fig.5), progresaron algunas fisuras en pequeña magnitud y se observó un desprendimiento de la cobertura del techo.

Cabe destacar que en ensayos de un proyecto anterior (Ref.3), los módulos de adobe no reforzado colapsaban en la fase correspondiente a $D = 80\text{mm}$ (la tercera fase en el presente ensayo), mientras que los módulos de adobe reforzados con caña quedaban al borde del colapso en la última fase ($D = 140\text{mm}$). En cambio, en el módulo confinado, las fisuras presentadas en los muros de adobe fueron finas y en los elementos de confinamiento de concreto no se produjo ninguna fisura.

Fig.4
Fisuras en la Fase 5.
Eje B.

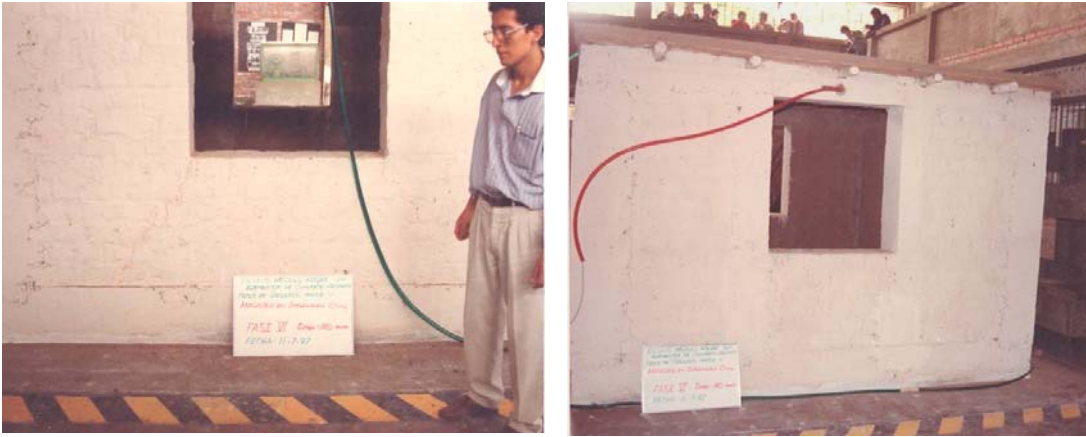


Fig.5. Fisuras después de la Fase 6 (D = 140mm). Eje B (izquierda) y eje A (derecha).

5. ENSAYO DE SIMULACIÓN SÍSMICA SOBRE EL PÓRTICO DE CONFINAMIENTO

Se efectuó un ensayo de simulación sísmica removiendo solamente los muros de adobe correspondientes a los ejes A y B (Fig.6). En este caso, se efectuaron dos fases, la primera de 30mm, donde no se presentó ninguna fisura. En la segunda fase (D = 60mm) se observó la falla por flexión de las columnas, rotulándose en sus dos extremos, también se presentaron fisuras en la viga solera y una fisura horizontal en la conexión solera-muro 2 (Fig.7). Los desplazamientos laterales que tuvo el pórtico fueron a simple vista muy superiores a los observados en el módulo de adobe confinado, lo que demuestra que los muros A y B controlaron estos desplazamientos.



Fig.6. Ensayo sísmico complementario eliminando los muros de adobe de los ejes A y B.

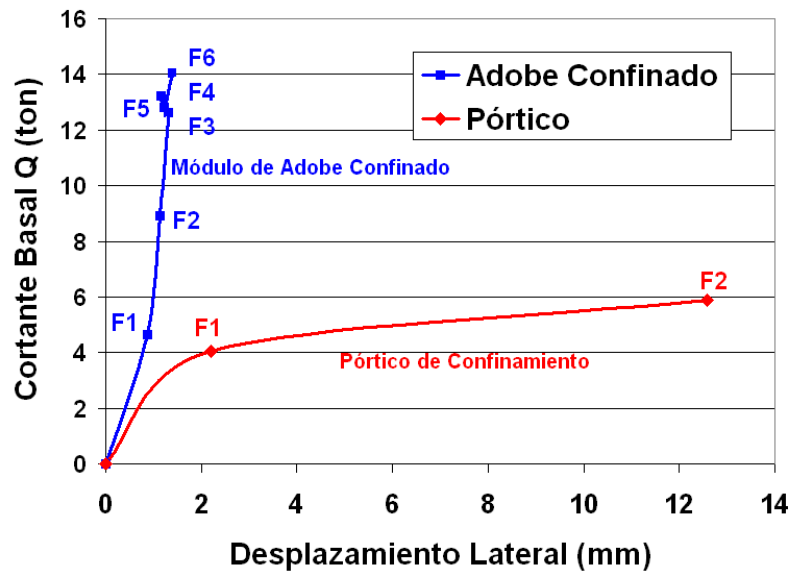


Fig.7. Fase (D = 60mm), correspondiente al ensayo complementario. Fisuras en los extremos del collarín y las columnas, y en la interfase collarín-muro del eje 2.

6. COMPARACIÓN CUANTITATIVA ENTRE EL MÓDULO DE ADOBE Y EL PÓRTICO

En la Fig.8 (hecha con datos provenientes de la Tabla 1), se aprecia un comportamiento prácticamente elástico del módulo de adobe confinado durante las 6 fases del ensayo, llegando a soportar hasta 14 ton de cortante basal (Q) con un desplazamiento lateral (δ) de 1.4 mm, mientras que el pórtico de confinamiento sólo soportó la segunda fase del ensayo con $Q \approx 6$ ton y $\delta \approx 13$ mm. Por otro lado, los períodos iniciales de vibrar fueron: T (módulo de adobe) = 0.04 segundos y T (pórtico) = 0.11 segundos, lo que muestra que el módulo de adobe confinado fue mucho más rígido que el pórtico de concreto.

Fig.8
 Envolvente Cortante Basal Q – Desplazamiento Lateral (δ) para las diversas fases (F) del ensayo sísmico. Gráfica obtenida de la Tabla 1.



| Especímen | Fase del Ensayo Sísmico (*) | Q (ton) | δ (mm) |
|---------------------------|-----------------------------|---------|---------------|
| Módulo de Adobe Confinado | 1: D = 30mm, a = 0.29g | 4.63 | 0.881 |
| | 2: D = 60mm, a = 0.59g | 8.91 | 1.127 |
| | 3: D = 80mm, a = 0.78g | 12.62 | 1.318 |
| | 4: D = 100mm, a = 1.07g | 13.24 | 1.164 |
| | 5: D = 120mm, a = 1.35g | 12.83 | 1.221 |
| | 6: D = 140mm, a = 1.64g | 14.04 | 1.393 |
| Pórtico de Confinamiento | 1: D = 30mm, a = 0.29g | 4.04 | 2.211 |
| | 2: D = 60mm, a = 0.59g | 5.87 | 12.593 |

(*) D = desplazamiento de la mesa vibradora, a = aceleración de la mesa vibradora.

7. CONCLUSIONES

- El ensayo de simulación sísmica demostró la efectividad de la inclusión de elementos de confinamiento de concreto armado pobre en las edificaciones de adobe, respondiendo satisfactoriamente ante un grado de sollicitación sísmica muy fuerte, produciéndose fisuras que no comprometieron en lo más mínimo la seguridad estructural de la vivienda. Además, en la zona de interfase columna-adobe no se produjeron fisuras (incluso en la fase del sismo catastrófico, D = 140 mm), lo que demuestra que existió una buena adherencia entre el adobe y el concreto, sin importar si el tipo de conexión columna-adobe era dentada o a ras.
- Se llegó a comprobar (Fig.8) que los muros de adobe aportaron rigidez y resistencia y no necesariamente el cortante de la estructura en su conjunto estaba siendo absorbido por las columnas, sino que esta fuerza cortante fue tomada en gran parte por los muros de adobe ubicados en la dirección del movimiento.
- Se verificó la función de la viga collar al rigidizar adecuadamente el techo, constituyendo un diafragma rígido. Adicionalmente, esta viga funcionó como un elemento de arrioste horizontal, evitando la falla por flexión en los muros ubicados en la dirección perpendicular al movimiento.

- El éxito logrado se debió a que los elementos de confinamiento de concreto armado controlaron el grosor de las fisuras formadas en los muros de adobe, los que conservaron su rigidez y resistencia. Finalmente, cabe mencionar que debido a las características del módulo ensayado, resultó innecesario tener columnetas en los bordes de la ventana; sin embargo, dado que se presentaron menos fisuras en el muro de eje A (con columnetas) que en el muro del eje B, tales elementos adicionales se hacen imprescindibles en muros de mayor longitud.

REFERENCIAS

1. Tomo III: Resumen General. Ceso 1993. INEI.
2. Norma Técnica de Edificación para Adobe E-080. ININVI, 1987.
3. Ensayos de simulación sísmica de viviendas de adobe. G. Ottazzi, J. Yep, M. Blondet, G. Villa García. Publicación DI-89-01, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989.