

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE PIEZAS DE ADOBE FABRICADO EN LA REGIÓN DE TUXTLA GUTIÉRREZ

J. Alejandro Ruiz Sibaja¹
asibaja@unach.mx

Francisco Vidal Sánchez²
fvidal@iag.ugr.es

¹Universidad Autónoma de Chiapas (México), ²Universidad de Granada (España)

Para citar este artículo:

Ruiz, J. y Vidal, F. (2014) Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 4 (7), 130-154. doi: 10.31644/IMASD.7.2015.a05



RESUMEN

Se presentan los resultados de una campaña de caracterización mecánica del adobe de barro utilizado en la región de Tuxtla Gutiérrez. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas, durante el segundo semestre de 2008. Se estudiaron las siguientes características de piezas individuales: peso volumétrico, resistencia a compresión y resistencia a flexión. También se realizaron pruebas de compresión en pilas construidas con piezas individuales y en probetas del mortero de barro utilizado para unir estas piezas. El material ensayado se consiguió directamente con los fabricantes del área urbana de América Libre, municipio de Chiapa de Corzo. Se hace una comparación entre los resultados conseguidos y las recomendaciones que se siguen en otros países para construcción en adobe de barro.

Palabras Claves: adobe, ensayos, mampostería, caracterización mecánica, normativa.

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF ADOBE BRICKS USED IN THE REGION OF TUXTLA GUTIERREZ, MEXICO

ABSTRAC

This paper presents the results of a series tests for the mechanical characterization of adobe mud used in the region of Tuxtla Gutierrez. The tests were carried out in the Laboratory of Materials Engineering Faculty of the Autonomous University of Chiapas, during the second half of 2008. The following features for adobe bricks were studied: volumetric weight, compressive and flexural strength. Experimental compression tests were also conducted on batteries constructed by joining these pieces and clay mortar specimens. The test material was obtained directly with manufacturers from América Libre urban area, municipality of Chiapa de Corzo. A comparison between THE obtained results and current recommendations in Southamerica for adobe bricks construction is performed.

Keywords: *adobe, testing, masonry, mechanical characterization, regulation.*

El adobe es un material de construcción barato hecho con arena, arcilla, arena y agua, al que normalmente se le añade fibra o material orgánico, generalmente paja (o bien otras fibras vegetales como pasto o incluso estiércol). Es elaborado de modo tradicional, moldeado en forma de ladrillo y se deja secar al sol. Es conocido por ser un material empleado desde muy antiguo (desde 8000 años a.C., Houben y Guillaud, 1994), capaz de permitir la construcción de estructuras muy duraderas. Hasta el día de hoy se han preservado muchas de las construcciones realizadas con este material, que se encuentran entre las más antiguas del planeta. Además, un 30% de la población mundial vive en construcciones de barro, y aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, entre ellos la mayoría de la población rural y al menos el 20% de la población urbana y suburbana, viven en viviendas de barro (Houben y Guillard 1994).

Las construcciones de adobe son de muros de mampostería (habitualmente sin refuerzo) hechos con estos ladrillos crudos (manufacturados localmente) y unidos generalmente con un mortero de barro. Son estructuras en las que no intervienen técnicos especializados por lo que forman parte de las edificaciones conocidas como “no dirigidas” o “sin supervisión técnica”.

Las construcciones tradicionales de adobe responden muy mal a las sacudidas sísmicas. Estas estructuras carecen de ductilidad y son por lo tanto muy frágiles, dando como resultado fallos repentinos bajo cargas sísmicas. El deficiente comportamiento sísmico de estas construcciones es debido al peso de las estructuras, su baja resistencia y su comportamiento frágil (Blondet et al., 2004, 2011). Su vulnerabilidad sísmica es muy alta, clase A (escala EMS).

Una gran parte de este tipo de construcciones está en zonas de actividad sísmica moderada y alta, siendo especialmente susceptibles a sufrir graves daños estructurales y hasta colapso cuando ocurre un terremoto, incluso a partir de sacudidas con

intensidad de grado VIII (EMS). Para esta intensidad los daños típicos en estas construcciones son grandes grietas y desintegración en muros, separación de paredes en las esquinas y entre tejados y muros portantes, lo que en muchos casos lleva a colapsos parciales y totales. Además el porcentaje de construcciones con colapso parcial es muy alto (40-60 %) y el de colapso total es apreciable (5-15 %). Para sacudidas con intensidad de grado IX (EMS) el porcentaje de construcciones de adobe con colapso total es particularmente muy alto (> 50 %). Estos daños provocan lesiones graves y letales a sus residentes y generan una gran cantidad de escombros, lo que dificulta y retarda el rescate de las víctimas.

En México la mayoría de las viviendas humildes fueron construidas con adobe, es por ello, que su uso se ha asociado con la construcción de baja calidad. En la precipitada carrera por aprovechar los materiales y métodos modernos de construcción, aunado a las agresivas campañas publicitarias de las compañías cementeras a mediados del siglo pasado, su uso fue perdiéndose.

Actualmente se sigue utilizando el adobe en Chiapas como material de construcción, ya sea para casas habitación en poblaciones pequeñas o para edificaciones de uso diverso en zonas rurales. Se acude al adobe por ser un material económico, de fácil obtención, que permite la autoconstrucción y al mismo tiempo reduce los tiempos de ejecución de las obras. Además, posee una gran inercia térmica debido a los espesores necesarios para construir, por lo que sirve de regulador de la temperatura interna; en verano conserva el frescor, y durante el invierno el calor.

No obstante el atractivo que aún posee este material, se carecen de estudios suficientes de caracterización mecánica del adobe que permitan alcanzar niveles adecuados de seguridad en este tipo de construcciones. A la fecha no se han realizado en Chiapas estudios conducentes a conocer las características mecá-

nicas del adobe y se carece de una normativa de construcción para diseño de estructuras a base de este sistema constructivo.

ANTECEDENTES

El estudio e investigación de las edificaciones a base de adobe de barro es importante para entender la evolución de los sistemas constructivos a base de tierra, pronosticar el comportamiento estructural de estos sistemas y proponer soluciones a la problemática de la vivienda de bajos recursos distribuida en toda la extensión del territorio chiapaneco. No se han realizado en Chiapas estudios sobre el comportamiento del adobe de barro fabricado en este estado. Así, en 2008, como un primer paso hacia la caracterización mecánica del adobe de barro, se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNACH, una campaña de ensayos cuyos objetivos principales fueron evaluar la resistencia a compresión y flexión de piezas de este material. Las piezas ensayadas se consiguieron directamente de los fabricantes del área urbana de *América Libre*, municipio de *Chiapa de Corzo*. También se obtuvo el peso volumétrico de cada tabique y se realizaron pruebas de compresión en pilas construidas con piezas de adobe y unidas con mortero de barro.

METODOLOGÍA

Se determinaron las características de la resistencia a compresión y flexión de las piezas de adobe, procesando estadísticamente los resultados a fin de obtener valores representativos del esfuerzo permisible a la compresión y flexión para este material de construcción. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando una prensa universal de 100 toneladas. También se obtuvo el peso volumétrico promedio de las piezas ensayadas y se realizaron ensayos a compresión en pilas formadas por tres piezas

de adobe. Se ensayaron un total de 10 piezas a compresión, 10 a flexión y 10 pilas. En la figura 1 se muestran algunos de los ejemplares ensayados. Las pruebas se realizaron de acuerdo al protocolo indicado en las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería* (2004) y en la *Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes* (2000 y 2005). Es oportuno mencionar que se acudió a estas normativas debido a que no se dispone, en el ámbito nacional, de un procedimiento definido para ensayos de mampostería de adobe. Los trabajos de laboratorio se realizaron de acuerdo con las siguientes etapas:

1. **Peso volumétrico:** se pesaron cada una de las piezas con el fin de registrar su peso (ver figura 2). Se promedió el peso de las 50 piezas ensayadas.
2. **Preparación de las muestras:** debido a que el adobe no se puede recubrir con una capa de yeso y arena fina, para los ensayos de compresión, se utilizó en su lugar hule espuma para lograr una mejor distribución de la fuerza de compresión sobre las piezas de adobe (ver figura 3).
3. **Resistencia a compresión:** se aplicó fuerza de compresión a cada pieza de adobe hasta alcanzar la falla y se registró su valor (ver figura 3).
4. **Resistencia a flexión:** cada pieza se sometió a un estado de carga de flexión y se registró el valor para el cual ocurrió la falla del material (ver figura 4).
5. **Resistencia a compresión de pilas:** se construyeron un total de 10 pilas utilizando 3 piezas de adobe para cada una de ellas. Se ejerció una fuerza de compresión y se registró el valor de la falla de la pila (ver figura 5).
6. **Resistencia a compresión del mortero de unión entre piezas utilizado para construir las pilas** (ver figura 6). Se prepararon 3 especímenes con dimensiones de 5×5×5 cm.



Figura 1. Piezas de adobe características del municipio de Chiapa de Corzo (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)



Figura 2. Obtención del peso de cada una de las piezas de adobe ensayadas (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)



Figura 3. Prueba a compresión de las piezas de adobe de barro (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)



Figura 4. Prueba de flexión de las piezas de adobe de barro (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)



Figura 5. Prueba de compresión de las pilas de adobe de barro (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)



Figura 6. Prueba de compresión de las probetas de mortero de barro (Ovando de la Cruz y Ruíz Castellanos, 2010)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso volumétrico promedio de las piezas de adobe

Las 50 piezas ensayadas tuvieron en promedio un peso de 23.20 kg, además las dimensiones medias de las piezas resultaron de 48.65×28.54×9.19 cm. Así, se obtuvo un peso volumétrico promedio de 1817.26 kg/m³. En la literatura consultada se menciona que el peso medio de una pieza de adobe debe ser de 1600 kg/m³ (Cemex, 2005). Se deduce que el adobe ensayado tiene un peso volumétrico bastante razonable para el medio mexicano y cumple con los requisitos de la práctica constructiva nacional.

Ensayo a compresión de las piezas de adobe

Se eligieron aleatoriamente 10 piezas de adobe de barro y se sometieron a compresión utilizando la prensa universal con capacidad máxima de 100 toneladas. Se registró la cantidad de carga que soportó cada pieza en el momento de su ruptura. Con este dato se calculó la resistencia a compresión dividiendo el valor de la carga máxima soportada por la pieza entre su área bruta. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para los 10 ensayos.

Tabla 1. Prueba a compresión de los tabiques de adobe

PIEZA	FUERZA AXIAL (KG)	ÁREA BRUTA (CM ²)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KG/CM ²)
1	40 000.00	1435.50	27.86
2	28 000.00	1411.20	19.84
3	38 000.00	1396.50	27.21
4	28 000.00	1377.40	20.33

5	33 000.00	1372.80	24.04
6	38 000.00	1406.30	27.02
7	40 500.00	1396.50	29.00
8	41 500.00	1342.32	30.92
9	33 000.00	1421.00	23.22
10	30 500.00	1376.90	22.15
	Media		25.16
	Desviación estándar		3.59
	Coefficiente de variación		0.14

La resistencia de diseño a compresión se obtuvo mediante la siguiente expresión que aparece en la sección 2.1.2 de las NTCDCM-2004:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p}$$

En la ecuación (1) \bar{f}_p representa la resistencia media a compresión obtenida en los ensayos de las 10 piezas (25.16 kg/cm²); C_p es el coeficiente de variación, 0.14, que aparece al final de la Tabla 1. De esta manera, al utilizar la ecuación (1) resultó un valor de f_p^* igual a 18.64 kg/cm². Rotondaro y Patrone (2009) reportan que un buen adobe, con peso volumétrico de 1800 kg/m³ o más, debe resistir a compresión axial un mínimo de 1.6 MPa (16.31 kg/cm²). Se concluye que las piezas ensayadas cumplen con las

recomendaciones mínimas de resistencia a compresión aceptadas internacionalmente.

Ensayo a flexión de las piezas de adobe

Se ensayaron 10 piezas de adobe a flexión, escogidas aleatoriamente, de acuerdo con el protocolo que indica la normativa de la SCT (2000 y 2005). Las piezas se dispusieron tal como se muestra en la figura 4 y se ejerció carga axial hasta la ruptura del material. En la Tabla 2 aparecen los resultados obtenidos en esta prueba. El valor de la resistencia a flexión que se indica en la sexta columna se obtuvo al aplicar la siguiente expresión (SCT, 2000 y 2005):

$$R = \frac{3 PL}{2 bd^2}$$

Tabla 2. Prueba a flexión de los tabiques de adobe

PIEZA	FUERZA AXIAL (KG)	L (cm)	b (cm)	d (cm)	R (kg/cm ²)
1	75.00	32.00	29.00	9.00	1.53
2	125.00	32.00	28.50	9.00	2.60
3	112.50	32.00	28.70	9.00	2.32
4	137.50	32.00	28.30	9.00	2.88
5	125.00	32.00	29.00	9.10	2.50
6	100.00	32.00	28.80	9.20	1.97
7	75.00	32.00	29.00	8.80	1.60
8	75.00	32.00	28.50	9.90	1.29
9	150.00	32.00	28.50	10.50	2.29

10	100.00	32.00	28.50	8.90	2.13
		Media			2.11
		Desviación estándar			0.48
		Coefficiente de variación			0.23

La resistencia promedio a flexión resultó de 2.11 kg/cm², tal como se indica en la tabla anterior. Oscar Hernández et Al. (1981) reportan un valor aceptable de resistencia a flexión de 3 kg/cm² para el adobe. Se concluye que el material ensayado posee una resistencia a flexión inferior a la que se ha obtenido en otros trabajos.

Ensayo a compresión de pilas de adobe

Se fabricaron pilas utilizando 30 piezas de adobe, para cada pila se utilizaron 3 piezas, obteniéndose así un total de 10 pilas. El mortero de pega se dejó secar durante una semana. Estos especímenes se sometieron a carga de compresión hasta alcanzar la ruptura del material (ver figura 5). En la Tabla 3 aparecen los resultados conseguidos en esta prueba.

Tabla 3. Prueba a compresión de pilas de adobe

PILA	FUERZA AXIAL (KG)	A1 (cm ²)	A2 (cm ²)	A3 (cm ²)	Aprom (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	10 000.00	1421.00	1376.16	1435.50	1410.89	7.09
2	10 500.00	1392.00	1358.40	1411.20	1387.20	7.57
3	9 250.00	1339.20	1373.34	1344.00	1352.18	6.84
4	9 750.00	1406.30	1396.80	1445.50	1416.20	6.88

5	9 250.00	1421.00	1372.00	1406.50	1399.83	6.61
6	9 000.00	1360.80	1362.85	1358.00	1360.55	6.61
7	8 500.00	1344.00	1372.00	1372.00	1362.67	6.24
8	9 000.00	1368.00	1382.25	1344.00	1364.75	6.59
9	7 750.00	1360.80	1421.00	1412.30	1398.03	5.54
10	8 000.00	1392.00	1382.25	1396.50	1390.25	5.75
		Media				2.11
		Desviación estándar				0.48
		Coefficiente de variación				0.23

En la tabla anterior A_1 , A_2 y A_3 se refieren al área bruta de cada una de las piezas con las que se construyó cada pila. En la sexta columna se muestra el promedio de estas tres áreas (A_{prom}). La séptima columna se refiere a la resistencia a la ruptura para carga de compresión (σ) de cada pila. La resistencia de diseño a compresión del conjunto ensayado se obtuvo mediante la ecuación (1), por lo tanto, considerando el valor medio de 6.57 kg/cm² y el coeficiente de variación de 0.57, resulta una resistencia de diseño a compresión de 5.36 kg/cm². Oscar Hernández et Al. (1981) reportan un valor aceptable de resistencia a compresión para muretes de adobe de 6.00 kg/cm². Ante la escasez de literatura sobre el tema, se adoptó este dato como referencia del resultado del ensayo de la pilas. Así, se concluye que la resistencia de diseño a compresión de estos especímenes está ligeramente por debajo de lo que recomiendan Oscar Hernández et Al (1981).

Ensayo a compresión del mortero de adobe

Se realizaron pruebas de compresión a 3 probetas del mortero de barro con el que se unieron las piezas de adobe para formar las pilas. En su elaboración se utilizó el mismo material de que consta el adobe. Las dimensiones de estas probetas fueron de 5×5×5 cm. Después de 11 días de secado del barro los especímenes se ensayaron a compresión (ver figura 6). En la Tabla 4 se resumen los resultados de estos ensayos.

Tabla 4. Prueba a compresión del mortero de adobe

PROBETA	Fuerza axial (kg)	L1 (cm)	L2 (cm)	A (cm ²)	σ (kg/cm ²)
1	650.00	4.50	4.60	20.70	31.40
2	725.00	4.50	4.50	20.25	35.80
3	650.00	4.50	4.60	20.70	31.40
Media					32.87
Desviación estándar					2.07
Coeficiente de variación					0.06

En la Tabla 4, L1 y L2 son las dimensiones de los lados de la cara del cubo que reciben la fuerza de compresión, el área que aparece en la quinta columna resulta de multiplicar L1×L2. En la sexta columna se muestra el esfuerzo axial (σ) para el cual ocurrió la ruptura de la probeta. Al igual que en los casos anteriores de pruebas de compresión, la resistencia de diseño a compresión del conjunto ensayado se obtuvo mediante la ecuación (1). Así, considerando el valor medio de 32.87 kg/cm² y el coeficiente de variación de 0.06, resulta una resistencia de diseño a compre-

sión de 28.58 kg/cm². No se encontraron referencias acerca de la resistencia deseable del mortero de barro. Entendiendo que el mortero surge por la necesidad de llenar los huecos entre las piezas y para proporcionar adherencia y continuidad entre ellas, y dado que las pilas ensayadas muestran una resistencia de diseño a compresión menor que la que se recomienda en otros estudios, se concluye que el mortero ensayado no mejora el comportamiento a compresión de las pilas. Deberán realizarse estudios adicionales para encontrar la proporción óptima de un mortero que permita alcanzar resistencias deseables de diseño a compresión.

COMPARACIÓN CON NORMATIVAS Y PRÁCTICAS DE OTROS PAÍSES

Actualmente Nueva Zelanda, Estados Unidos y Perú cuentan con normas técnicas oficiales de construcción en adobe. Equipos multidisciplinarios de México, Colombia, El Salvador y Ecuador están preparando normas para construcción con este material. En este apartado se muestran de manera sucinta las normativas y recomendaciones que se utilizan en Perú y Ecuador para la construcción en adobe de barro y su comparación con el caso de estudio. Se consideraron los casos de Perú y Ecuador debido a que son países con prácticas constructivas similares a las que se aplican en México y en los cuales ya existe un esfuerzo tendiente a normalizar la construcción en este tipo de edificaciones (Castillo et Al, 2009). A continuación se describen los puntos más relevantes de esta comparación.

Normativa peruana

Perú es el único país del cinturón de fuego del Pacífico que cuenta con una norma técnica oficial de construcción en adobe. El Instituto Nacional de Investigación y Normalización de

la Vivienda (ININVI) de Perú publicó, en 1987, la Norma de Diseño en Adobe. Actualmente, está vigente su segunda edición, que fue aprobada en 1999 por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción del Perú (MTC, 2000).

En esta se detallan las condiciones que deben cumplir los distintos componentes de la vivienda para garantizar su estabilidad respecto a las solicitaciones, especialmente de sismos. La condición básica es que los muros de adobe sean portantes y que, estructuralmente, en las paredes no exista otro elemento que actúe como tal.

La normativa indica que la resistencia a la compresión se determinará ensayando cubos labrados cuya arista tendrá la menor dimensión del adobe. Se empleará un valor de la resistencia (f_o , esfuerzo de compresión permisible), calculado en base al área de la sección transversal. Este valor será sobrepasado por el 80% de las piezas ensayadas. El número mínimo de piezas a ensayar será de seis (6) y deberán estar completamente secas. El valor de f_o no deberá ser menor de 12 kg/cm².

La resistencia a la compresión de las pilas de adobe podrá determinarse mediante:

1. Ensayos de pilas con materiales y tecnología a usar en obra. Estas estarán compuestas por el número de adobes enteros necesarios para obtener un coeficiente de esbeltez (altura/espesor) de tres (3).
1. El número mínimo de adobes será de cuatro (4) y el espesor de las juntas será de 2 cm. El tiempo de secado del mortero de las pilas será de 30 días y el número de pilas a ensayar de tres (3).

En esta normativa no se indica nada acerca de ensayos a flexión de las piezas de adobe ni de la resistencia a compresión que debe presentar el mortero de barro.

En las pruebas descritas en apartados anteriores, se ensayaron 10 piezas de adobe de barro, con lo cual se cumple la recomendación de la normativa peruana de estudiar un número mínimo de 6 piezas por cada lote. La resistencia media obtenida fue de 18.64 kg/cm² valor que es superior al requisito de la resistencia, $f_o = 12$ kg/cm², que exige esta normativa para piezas individuales de adobe.

Por otra parte, se estudiaron 10 pilas, las cuales se construyeron con 3 piezas unidas con un mortero de barro, dejando un espesor aproximado de las juntas de 2 cm (ver figura 4). La resistencia de diseño a compresión de estas pilas fue de 5.36 kg/cm², valor por encima del que recomienda la normativa peruana ($f_m = 2$ kg/cm², valor que será sobrepasado por 2 de cada 3 de las pilas ensayadas) para este tipo de ensayos (MTC, 2000).

Debe destacarse que no se cumplieron todos los requisitos que exigen estas recomendaciones. La normativa peruana sugiere utilizar 4 piezas para la construcción de las pilas, en tanto que en el presente caso se utilizaron 3. De igual manera, el tiempo de secado de mortero fue inferior (7 días) al que se indica (30 días) en esta normativa. Este es un punto a tomar en cuenta para la mejora del comportamiento a compresión de las pilas ensayadas.

Es necesario mencionar que el mortero con que se unieron las piezas, para formar las pilas, se elaboró utilizando el mismo material de que consta el adobe. Este material se cribó en la malla N° 4 (según recomendaciones de la práctica constructiva local) y se mezcló con agua, hasta obtener una pasta de consistencia óptima para utilizarla como mortero de pega. No se consideró la proporción cemento-arena gruesa para mortero tipo I (entre 1:5 y 1:10) que indica la normativa peruana para juntas de albañilería en construcciones de adobe. Tampoco se ajustó a lo que recomienda esta normativa para mortero tipo II (a base de tierra con paja). Los resultados obtenidos muestran que deberán incluirse, en la elaboración de la mezcla, materiales adicionales, tales como el cemento, la arena gruesa y paja seca, a fin de mejorar su

comportamiento a compresión. Las proporciones que deberán utilizarse para optimizar esta resistencia deberán ser objeto de estudios adicionales.

En general, pese a que no se cumplen todas las formalidades de la normativa peruana, la mampostería ensayada presenta buen comportamiento a compresión, incluso superior al que se exige en esta norma.

Recomendaciones de Ecuador

En el Ecuador, se usan los siguientes criterios para la mampostería de adobe de barro, no como norma sino como una “adecuada” práctica constructiva (Cevallos Salas, 2002):

1. Los adobes se harán con suelos cuya granulometría tenga un contenido de arena entre el 50 y 60% y el resto finos entre limos y arcillas.
2. El esfuerzo de compresión permisible será de $f_o = 10 \text{ kg/cm}^2$.
3. Los morteros se fabricarán de materiales compatibles con el adobe y su calidad nunca debe ser menor a la de las piezas utilizadas.

Puede observarse que estas recomendaciones sólo consideran aspectos básicos de la resistencia del adobe de barro. No se indica nada sobre el protocolo a seguir para ensayos en piezas de adobe, en pilas construidas con este material o en muestras del mortero con que se unirán las piezas. Tampoco se menciona la interpretación estadística de los resultados de estos ensayos. Un criterio interesante es que sugiere las características deseables de la granulometría del suelo con que se fabriquen las piezas de adobe.

Tal como se ha indicado anteriormente, la resistencia media de las piezas ensayadas fue de 18.64 kg/cm^2 , resultado que está por encima del que mencionan las recomendaciones ecuatorianas,

$f_o = 10 \text{ kg/cm}^2$. Así se considera que las piezas ensayadas exceden los lineamientos que indica la práctica constructiva ecuatoriana.

En cambio, no se observó la recomendación de la granulometría que debe tener el suelo con que se fabrique el adobe. Por lo general, en la zona donde se consiguió este material (área urbana de América Libre, municipio de Chiapa de Corzo), los fabricantes no se ocupan al detalle de la granulometría de su producto. En cualquier caso, procuran que el material no tenga piedras ni restos vegetales. Esta es un área a considerar en futuros ensayos de adobe de barro.

Por lo que se refiere al mortero, las recomendaciones de Ecuador no señalan la resistencia mínima ni el tiempo deberá dejarse secar para que alcance su resistencia óptima. En este sentido, puesto que el mortero ensayado se fabricó con el mismo material de que consta el adobe utilizado, se considera que cumple con lo que indican estas recomendaciones.

Puede concluirse que aunque no se cubren todos los criterios que recomienda la práctica constructiva de Ecuador, el material ensayado cumple con los aspectos básicos de estas recomendaciones.

CONCLUSIONES

Se han mostrado los resultados más relevantes de una campaña de pruebas experimentales, realizada en 2008, del adobe de barro fabricado en el área urbana de *América Libre*, municipio de *Chiapa de Corzo*. Los ensayos se realizaron conforme al protocolo para ensayos a compresión establecido por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (2004) y a lo establecido en la Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000 y 2005).

Pese a la alta fragilidad del material ensayado los resultados obtenidos son alentadores puesto que en la mayoría de las pruebas el adobe utilizado mostró comportamientos promedio seme-

jantes a los recomendados en otros trabajos. El peso volumétrico obtenido en el ensayo correspondiente resultó con un valor bastante razonable para los requisitos de la práctica constructiva nacional. De igual manera, en el ensayo a compresión de las piezas de adobe se alcanzó una resistencia promedio de diseño a compresión que cumple con las recomendaciones mínimas de resistencia a compresión aceptadas en otros países. No se puede decir lo mismo de la resistencia a flexión de las piezas ensayadas pues se obtuvo un valor de 2.11 kg/cm^2 el cual es inferior al de 3 kg/cm^2 sugerido por otros investigadores. Por otra parte, el ensayo de compresión en pilas de adobe arrojó resultados que están ligeramente por debajo de lo señalado por Oscar Hernández et Al (1981). Finalmente, en las pruebas de ensayo del mortero de pega, se registró una resistencia promedio de diseño a compresión de 28.58 kg/cm^2 . Se carecen de referencias de trabajos similares para juzgar este resultado. No obstante, se infiere que el mortero ensayado no mejora el comportamiento a compresión de las pilas. La comparación de los resultados descritos en estas pruebas, contra lo que señalan la normativa peruana y las recomendaciones ecuatorianas, muestra que pese a la falta de un adecuado control de calidad, el adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez posee características mecánicas adecuadas para un buen comportamiento mecánico.

Puesto que en Chiapas aún existen edificios históricos contruidos con adobe de barro y a que este material continúa utilizándose en el medio rural para vivienda popular de bajo costo, su caracterización mecánica debería concentrar nuestra mayor atención, tanto por la preservación de los valores estético-culturales de la arquitectura patrimonial tradicional en tierra cruda, como por la protección de la integridad física de los moradores de las viviendas construidas en adobe de barro.

Se recomienda adoptar o instituir una norma, de forma tal que se disponga de un documento formal cuyo principal objetivo sea dar lineamientos para que las construcciones de adobe, que

benefician principalmente al sector más marginado de la población, sean sísmicamente seguras.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la irrestricta colaboración, para la realización de estos ensayos, del Sr. Jorge Vila Gallegos y del Ing. Hugo Vázquez Gómez, Técnicos Académicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas.

REFERENCIAS

- Blondet M, Garcia GV. (2004).** Earthquake Resistant Earthen Buildings, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2447.
- Blondet, M., Villa Garcia, G. Brzev, S. y Rubiños, A. 2011,** Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial, Earthquake Engineering Research Institute, 2nd edition. Oakland, California. 37 pp
- Castillo, Francia, Parra, Daniela y Soto, César (2009).** El adobe: diseñar la tierra. Seminario “La construcción patrimonial: un desafío técnico y legal”, Colegio de Ingenieros de Chile, Chile.
- Cemex (2005).** Manual del Constructor, México.
- Cevallos Salas, Patricio (2002).** Normas para diseño y construcción con tierra. I Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra. São Salvador da Bahia, Brasil.
- Gaceta oficial del Distrito Federal (2004).** Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Gobierno del Distrito Federal, México.
- Hernández, Óscar; Meli, Roberto; Padilla, Marciano; Valencia, E. (1981).** Refuerzo de vivienda rural en zonas sísmicas. Estudios experimentales. Informe 441, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Houben, H. and Guillaud, H. (1994).** Earth Construction – A Comprehensive Guide. ITDG Publishing, London, UK.
- MTC (2000).** “Reglamento Nacional de Construcciones. Adobe: Norma Técnica de Edificación E-080”. Ministerio de Transportes, Comunicación, Vivienda y Construcción (MTC). Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). Lima, Perú.
- Ovando de la Cruz, Henri Ovando y Ruíz Castellanos, José Antonio (2010).** Caracterización mecánica del adobe

de Tuxtla Gutiérrez. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

Rotondaro, Rodolfo y Patrone, Juan Carlos (2009). La construcción con tierra, una tecnología posible para el hábitat. Revista Saber Cómo, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000). Normas de construcción: Muestreo y Pruebas de materiales. Parte Segunda, Tomo IX, México.

———— (2005). N-CMT-2-01-001/02, Ladrillos y bloques cerámicos (CMT Características de los materiales, parte 2). México.