

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DOS MUROS DE ADOBE CON DIFERENTE SISTEMA DE APAREJO

Johnny Agüero Benites¹, Javier Cerón Uribe², Juan Carlos Gonzáles Lévano³
María Teresa Méndez Landa³

Universidad Ricardo Palma, Perú.

¹jhonny_1456@hotmail.com, ²javii,ceron@hotmail.com, ³jk_ma_3032@hotmail.com, ⁴mmendez47@hotmail.com

Palabras claves: adobe, sistema de aparejo, comportamiento estructural, restos arqueológicos.

Resumen

A lo largo del tiempo, en casi todo el mundo, se ha empleado la tierra para edificar. El Perú cuenta con importantes restos arqueológicos de tierra (Chan Chan, Pachacamac, Pucllana, entre otros) que, desafiando el paso de los años y los movimientos sísmicos, forman parte importante del pasado cultural del país. Actualmente, dentro de las nuevas tendencias de sostenibilidad arquitectónica, la tierra está recobrando un importante papel como material constructivo, esto debido a las ventajas que ofrece frente a otros materiales como: retardo de transmisión térmica, que permite brindar confort bajo diversas condiciones climática; ser un material reciclable, no contaminante, inocuo, accesible en todo el mundo, y fácil de trabajar. La durabilidad de los restos arqueológicos respecto a esta nueva tendencia de conciencia ambiental, ha promovido el interés de estudiar algunos sistemas constructivos ancestrales, basados en estudios previos que relacionan la rigurosidad del proceso constructivo con la optimización de las propiedades mecánicas de los muros de adobe. Para ello, se plantea realizar un estudio que permite identificar las características constructivas de las edificaciones precolombinas, a partir de un análisis comparativo del comportamiento estructural de un sistema no convencional de aparejo de adobe respecto al sistema establecido en la normativa peruana, tomando como referencia el complejo arqueológico Huaca Pucllana, ubicado en la ciudad de Lima. El análisis del comportamiento estructural está basado en una prueba de esfuerzos laterales al muro, que determina su rigidez y nivel de falla y cuyos resultados son contrastados mediante una comprobación teórica y basados en la normativa vigente del país. Los resultados permiten realizar propuestas sobre sistemas de aparejos con comportamiento apropiado a la problemática sísmica del Perú, para su empleo en construcciones actuales en adobe.

1. INTRODUCCIÓN

La permanente agresión del hombre al Medio Ambiente ha ocasionado graves problemas que afectan a alrededor de 1 billón de personas en el mundo, lo que está conllevando a buscar alternativas, como parte de una actitud de conservación del medio ambiente, para evitar que continúe su deterioro.

La tierra es un material de construcción que responde grandemente a estas expectativas debido a que es el único material constructivo cuyo consumo energético es casi nulo, a la poca contaminación que genera, al confort térmico que brinda, su inocuidad, capacidad de reciclaje, accesibilidad en todo el mundo y su fácil elaboración.

A lo largo de la historia se han realizado diversidad de edificaciones con tierra (adobe y tapial) en el mundo y en especial en el Perú. Como se puede apreciar, muchas de estas han desafiado el tiempo y los movimientos sísmicos, sin mostrar daños significativos. Así se tiene a la Huaca Pucllana, perteneciente a la Cultura Lima y construida hace 1.500 años, como expresión de una adecuada manera de construcción con adobe, a pesar de que el Perú, y, en especial la costa central y sur, debe afrontar un alto grado de vulnerabilidad sísmica. Esto, debido a que el país se encuentra ubicado en el área de influencia del Cinturón de Fuego del Pacífico, así como, por la presencia de fallas geológicas como es el caso de la Placa de Nazca, que trae como consecuencia permanentes sismos de gran intensidad y que causan considerables daños en las construcciones, con la consiguiente pérdida de vidas humanas y económicas.

En la actualidad, en el Perú, la tierra aún es un importante material de construcción. Según los resultados de los censos de vivienda realizados en el país, en los últimos 30 años se observa que, a nivel nacional, existe gran cantidad de viviendas construidas con tierra cruda (40% aproximadamente), tanto con tapial como con adobe. Por este motivo, surgió la preocupación de realizar estudios que permitan mejorar las técnicas constructivas en adobe, a fin de brindar mejores condiciones de habitabilidad a los usuarios de estas edificaciones.

La revista en línea Perú Ecológico en su edición de setiembre del 2007 cita a la arqueóloga Isabel Flores Espinoza, quien en su libro "Pucllana: Esplendor de la Cultura Lima" señala que

"...Han pasado 1.500 años desde que Pucllana fuera construida: el monumento sigue en pie mientras que construcciones coloniales, republicanas y recientes han sido destruidas por sismos a pesar de las técnicas constructivas 'modernas'..."

Basados en esta afirmación y conocedores del estado de conservación que tienen estos restos arqueológicos se tomó en consideración, para el presente estudio, el sistema de aparejo empleado en estos restos arqueológicos según se observa en la figura 1.



Figura 1. La técnica del librero: adobes colocados verticalmente (Crédito: Agüero, 2014)

Debido a la escasa información sobre estudios realizados en las construcciones ancestrales en tierra, se planteó la necesidad de llevar a cabo un estudio que permita rescatar las técnicas constructivas de la cultura Lima. El análisis del sistema de colocación de adobe ayudará a resolver la controversia de por qué las edificaciones ancestrales no han colapsado con los últimos sismos, en especial, en los años 2001 y 2007; siendo el caso contrario en las edificaciones modernas construidas con tierra.

De esta manera, el Centro de Estudios para Comunidades Saludables de la Universidad Ricardo Palma podrá elaborar y proponer un sistema constructivo en adobe con el sistema de colocación más eficiente que responda de la mejor manera a las condiciones geográficas de nuestra zona.

2. OBJETIVOS

El estudio tiene como objetivo realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural de un sistema no convencional de aparejo tipo librero de adobe, simulando el existente en el complejo arqueológico Huaca Pucllana, respecto al sistema de aparejo considerado en la normativa peruana.

3. ANTECEDENTES

Los sistemas constructivos empleados en los restos arqueológicos en el Perú no han sido mayormente estudiados respecto a su comportamiento, más aún en las culturas pre-incas, por lo que el conocimiento constructivo ancestral no ha sido rescatado.

Respecto al sistema peruano ancestral de construcción de muros de adobe con sistema de aparejo tipo librero, empleado en el complejo arqueológico Huaca Pucllana, es definido por Flores, mencionada en Perú Ecológico (2007, p.1) de la siguiente manera.

Pucllana fue construida usando pequeños adobitos rectangulares. La técnica mediante la cual se construyó es bastante particular: consiste en colocar los adobitos en posición vertical, con la argamasa sólo en la parte superior e inferior, sin ponerla entre los adobes; esta técnica fue bautizada por el estudioso Pedro Villar Córdova como la 'Técnica del Librero' por la similitud que tienen los muros con un estante con libros.

En cuanto a sismo-resistencia de las construcciones en tierra, un estudio sobre los centros arqueológicos de Pachacámac y Huaca Pucllana menciona que "...es importante analizar cómo se mejoró la resistencia mecánica de los adobes empleando técnicas constructivas que permitiesen mejorar su desempeño sismo-resistente..." En cuanto al uso de juntas verticales como una posible solución sismo-resistente se menciona que "...esta técnica habría logrado darle cierto nivel de ductilidad a la estructura permitiendo el desplazamiento de las masas estructurales en caso de fuerzas sísmicas..." (Pozzi-Escot et al, 2009, p.4).

Así también, en referencia a los restos arqueológicos de adobe, Gallegos (2002, p.3) menciona que:

los antiguos peruanos construían con adobe en la costa y casi exclusivamente con piedra en la sierra. Muchas de sus edificaciones costeras han perdurado...Sus altos y gruesos muros, que forman en casi todas ellas un continuo sin fin de muros, han sufrido daños producidos por la lluvia y por la acción directa del hombre, pero han sido inmunes a los sismos.

Las actuales edificaciones en adobe han producido en el Perú enormes daños, tanto económicos como de vidas humanas, en los sismos ocurridos en los últimos años, como es el caso del último sismo registrado en el año 2007 en la costa sur del Perú, que causó grandes daños en el departamento de Ica. Una serie de equipos de investigadores realizaron estudios al respecto. Así se tiene el informe del equipo de investigación de Japón, encargado de evaluar los daños causados por el sismo de 2007, el que menciona que: "...el 20% de las casas en las áreas afectadas colapsaron completamente...", siendo los sistemas constructivos predominantes el adobe (52%) y la albañilería confinada (39%) (INDECI, 2009).

En una entrevista realizada al Dr. Hernando Tavera investigador y director de sismología del Instituto Geofísico del Perú, acerca del tiempo de duración de un sismo afirma que "...dependerá si se trata de la ruptura producida en el foco en cuyo caso será de milisegundos hasta 2 o 3 minutos para los grandes sismos..." (IGP, 2012).

4. MARCO TEÓRICO

Respecto a los efectos estructurales de un sismo en una edificación de adobe Grohmann (1998), mencionado por Minke (2001, p.6) considera que "...la fuerza de destrucción de un sismo y sus efectos dependen de parámetros entre los que se encuentran la duración y frecuencia en el lugar..." En cuanto al comportamiento de las edificaciones de adobe respecto a los sismos, considera que "...son afectadas mayormente por los impactos horizontales ocasionados por los movimientos de la tierra en el plano horizontal, los impactos verticales ocasionados por la actividad sísmica equivalen a menos del 50%..."

El comportamiento de una estructura durante un sismo es definido de la siguiente manera:

cuando los impactos horizontales del sismo alcanzan el muro perpendicularmente éste tiende a colapsar. Solamente los muros de gran espesor, tienen la capacidad de resistir estas cargas laterales sin requerir elementos de estabilización adicionales... Hoy en día viviendas de este tipo ya no se construyen debido al tiempo de ejecución requerido para construir muros de 60 a 100 cm de espesor. Por ello, es necesario buscar nuevas soluciones. (Minke, 2001 p.15).

Grohmann (1998), mencionado por Minke (2001, p.7) afirma que "...de acuerdo al método de la fuerza equivalente, la resistencia contra fuerzas horizontales está determinada por una fuerza estática..." Así también menciona que:

cuanto mayor es la ductilidad disponible tanto menor es la fuerza equivalente. Concluyendo así que las construcciones antisísmicas deben disponer de una ductilidad mayor y deben ser capaces de asumir parte de la energía con las deformaciones plásticas.

En la búsqueda de una teoría que fundamente el posible comportamiento estructural de los espacios vacíos en el sistema de construcción de muro de adobe tipo librero, se encontró que el CEC de la Universidad de Chile (2010, p.1) considera que la teoría de disipación de energía está basada en:

la colocación, en la estructura, de dispositivos que tienen por objetivo aumentar la capacidad de perder energía de una estructura durante un sismo, esto debido a que toda estructura disipa o elimina la energía de un sismo mediante deformaciones. Mediante estas fuertes deformaciones se incrementa notablemente la capacidad de disipar energía de la estructura con una reducción de las deformaciones de la estructura.

Por otro lado, en cuanto a la construcción en adobe, el Perú cuenta con una norma especializada Norma E0.80 RNE (Vivienda, 2006) como parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú, la que define los lineamientos constructivos siguientes:

Artículo 2.- REQUISITOS GENERALES

2.1. El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos que se señalan en la presente Norma.

2.2. Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.

Artículo 3.- DEFINICIONES

a. Adobe.- Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos...

b. Mortero Material de unión de los adobes.- Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.

En lo referente a las características de los bloques de adobe la Norma E0.80 da las siguientes pautas:

Artículo 4.- UNIDAD O BLOQUE DE ADOBE

4.1. Requisitos Generales.- La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55- 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara. El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

4.2. Formas y Dimensiones.- Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:

- Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
- La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
- En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

Según la Norma E0.30 RNE (Vivienda, 2014), que define los lineamientos constructivos de diseño sismorresistente tenemos que

Artículo 15.- Desplazamientos Laterales

15.1 Desplazamientos Laterales Permisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 16 (16.4) no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla N°8

Tabla N° 8	
LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO	
Estos límites no son aplicables a naves industriales	
Material predominante	(D_i/h_{e_i})
Concreto armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010

Figura 2. Límites para desplazamiento lateral de entrepiso (Vivienda, 2014)

Conceptos que han sido considerados como fundamento teórico en el planteamiento y desarrollo del estudio.

5. METODOLOGÍA

Se empleó una metodología experimental, realizado mediante una prueba de esfuerzos laterales, el cual implementa pruebas de comportamiento estructural simulando la fuerza sísmica que actúa en el muro con un pistón hidráulico de doble efecto el cual opera hasta una presión de 20 MPa, a dicha presión el pistón realiza una fuerza de empuje de hasta 50 tf, fuerza que se consigue mediante la fórmula: Fuerza=presión×área del cilindro. Éste sistema se encuentra especialmente diseñado con el fin de analizar el comportamiento estructural y determinar la rigidez y nivel de falla de cada uno de los sistemas constructivos.

La toma de datos se realizó mediante sensores colocados en el extremo del muro opuesto al de la aplicación de la fuerza. Los sensores empleados son de distancia ultrasónica, código hc-sr04. Miden una distancia eficaz de 2 cm a 4,5 m con una resolución de 3 cm, operando a una frecuencia de 40 kHz, lo que permite conocer la deformación producida en dicho extremo del muro. Estos sensores fueron colocados a 73 cm de separación de dicho lado. El sistema permite registrar datos de presión y deformación simultáneamente mediante la utilización de la tarjeta de control Arduino, Ethernet (SD) y Matlab.

La construcción de los muros

Para el estudio se construyeron dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo de 0,25 m x 2,60 m x 2,10 m. El primero de ellos empleando el sistema tipo librero, replicando los existentes en los restos arqueológicos de la Huaca Pucllana, y, el otro, siguiendo los sistemas de aparejo tradicionales. Previo al inicio de la construcción, se hizo un ensayo granulométrico del tipo de suelo a utilizar, según la Norma ASTM D422-63, ensayo que permite clasificar las partículas del suelo según su diámetro, mediante el empleo de tamices

seleccionados. Con la información del tipo de suelo apropiado se pasó a la preparación de adobes de dimensiones: 0,28 m x 0,25 m x 0,10 m para su utilización en la construcción de ambos muros.

El muro en sistema de aparejo tipo librero se construyó colocando el adobe en posición vertical y de canto, dejando un espacio libre de 1,5 cm aproximadamente entre cada uno de los bloques. Los adobes se unieron solamente en sentido horizontal con mortero de barro. Para el sistema de aparejo tradicional, se colocaron los adobes de manera horizontal con mortero tanto en las juntas verticales como en las horizontales. Ambos muros fueron levantados sobre un sobre cimiento de concreto de 30 cm de altura (figura 3).

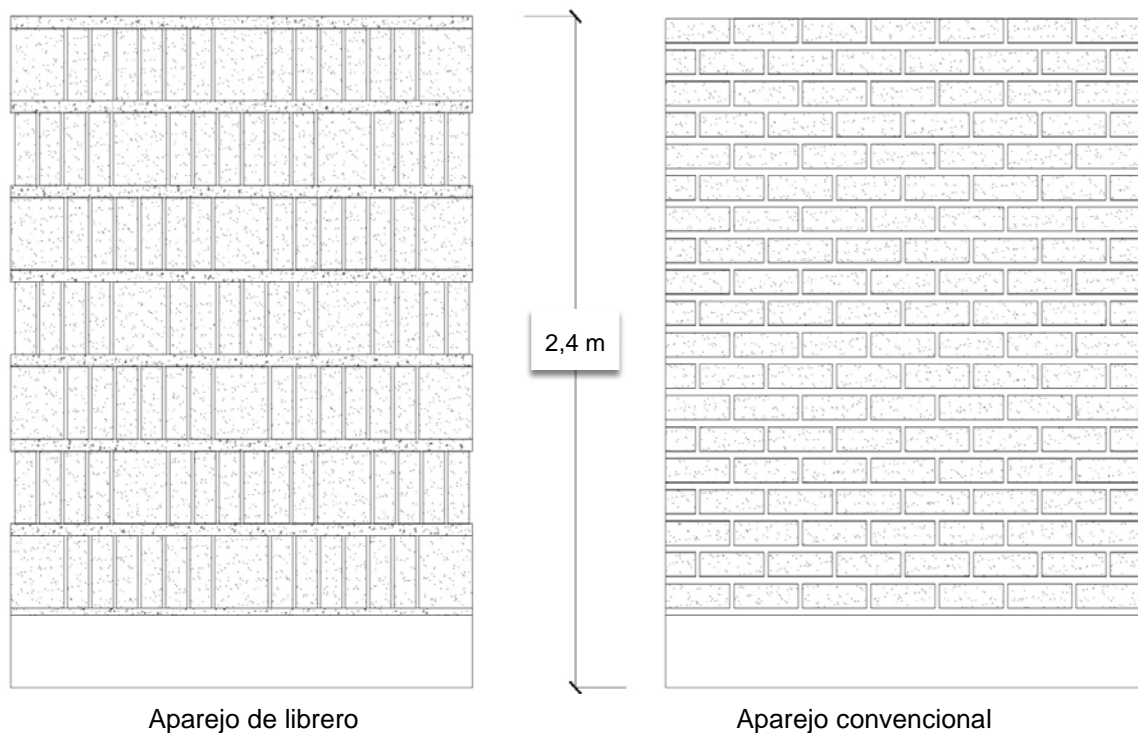


Figura 3. Técnicas de aparejo estudiadas (Fuente: CECOS-BRIGURP, 2015)

La prueba

Una vez construidos cada uno de los muros, se realizaron las pruebas de comportamiento estructural simulando la fuerza sísmica que actúa en el muro, aplicada mediante el pistón hidráulico de doble efecto. Este pistón ejerció sobre el primer muro prototipo (aparejo de librero) una fuerza de 1,171 kN y en el segundo caso una fuerza de 48,32 kN. Las fuerzas fueron aplicadas, en ambos casos, en la parte superior de los muros a 2,10 m desde el nivel de piso terminado.

Para la toma de datos se colocaron ocho sensores de distancia ultrasónica en el extremo del muro opuesto al de la aplicación de la fuerza, los cuales cuentan con capacidad de medición de una distancia eficaz de 2 cm a 400 cm con una resolución de 3 cm, información que fue almacenada de forma paralela con los datos de presión obtenidos del transductor de presión. Una vez terminada la prueba, se procedió al retiro de la memoria SD de la tarjeta Arduino, y, posteriormente conectada a la PC se realizó la interpretación de datos (corrección y gráficos), los que se exportaron a una tabla en excel. Este procedimiento permitió conocer con precisión la deformación producida en el extremo de ambos muros y evaluar la rigidez y nivel de falla de éstos, así como también el comportamiento de cada sistema de aparejo respecto a la ductilidad que presentan.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Luego de realizados los dos ensayos y aplicada una fuerza horizontal en la corona del muro, se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Desplazamientos laterales en el muro de aparejo tipo librero

Tiempo (s)	Presión Aplicada	Fuerza	Sensor 1		Sensor 7	
	MPa	kN	Lo (m)	Δ (m)	Lo (m)	Δ (m)
0,000	0,000	0,000	0,720	0,000	0,720	0,000
0,125	0,000	0,000	0,720	0,000	0,720	0,000
0,250	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
0,375	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
0,500	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
0,625	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
0,750	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
0,875	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
1,000	0,000	0,000	0,720	0,000	0,710	0,010
64,000	0,046	1,171	0,610	0,110	0,690	0,030
64,125	0,046	1,171	0,620	0,100	0,680	0,040
64,250	0,046	1,171	0,610	0,110	0,690	0,030
64,375	0,046	1,171	0,620	0,100	0,680	0,040
64,500	0,046	1,171	0,620	0,100	0,690	0,030
64,625	0,046	1,171	0,620	0,100	0,690	0,030
64,750	0,046	1,171	0,610	0,110	0,690	0,030
64,875	0,046	1,171	0,610	0,110	0,690	0,030
65,000	0,046	1,171	0,620	0,100	0,690	0,030
65,125	0,046	1,171	0,620	0,100	0,690	0,030
Deformación total relativa Δ (m)					0,070	
Deriva de entrepiso					0,0212	

Según se observa en la tabla 1 el ensayo dio como resultado un desplazamiento absoluto medido por el sensor 1 de 10 cm y el medido por el sensor 7 de 3 cm, obteniéndose como resultado final un desplazamiento relativo de 7 cm. El artículo 15° de la norma E.030 (Vivienda, 2014) considera el desplazamiento lateral permisible para albañilería de 0,005, el cual se tomó como referencia debido a que no se cuenta con parámetros establecidos para adobe.

Los resultados de la prueba permitieron calcular una deriva de entrepiso de 0,0212.



Figura 4. Falla del muro de adobe en aparejo de librero (Crédito: CECOS-BRIGURP, 2015)

Tabla 2. Desplazamientos laterales en muro de aparejo convencional

Tiempo (s)	Presión Aplicada	Fuerza	Sensor 1		Sensor 7	
	MPa	kN	Lo (m)	Δ (m)	Lo (m)	Δ (m)
0,0000	1,19316	29,0523	0,5588	0,0000	0,5309	0,0000
0,1818	1,98448	48,3202	0,5559	0,0029	0,5245	0,0064
0,3636	1,98448	48,3202	0,5493	0,0095	0,5245	0,0064
0,5455	1,98448	48,3202	0,5503	0,0085	0,5229	0,0080
0,7273	1,98448	48,3202	0,5437	0,0151	0,5224	0,0085
0,9091	1,98448	48,3202	0,5437	0,0151	0,5214	0,0095
1,0909	1,98448	48,3202	0,5416	0,0172	0,5194	0,0115
1,2727	1,98448	48,3202	0,5389	0,0199	0,5131	0,0178
1,4545	1,98448	48,3202	0,5353	0,0235	0,5131	0,0178
1,6364	1,98448	48,3202	0,5336	0,0252	0,5131	0,0178
1,8182	1,98448	48,3202	0,5309	0,0279	0,5131	0,0178
2,0000	1,98448	48,3202	0,5289	0,0299	0,5131	0,0178
2,1818	1,98448	48,3202	0,5231	0,0357	0,5131	0,0178
2,3636	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
2,5455	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
2,7273	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
2,9091	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
3,0909	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
3,2727	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
3,4545	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
3,6364	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
3,8182	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,0000	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,1818	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,3636	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,5455	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,7273	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
4,9091	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
5,0909	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
5,2727	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
5,4545	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
5,6364	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
5,8182	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
6,0000	1,98448	48,3202	0,5255	0,0334	0,5131	0,0178
Deformación total relativa Δ (m)					0,0156	
Deriva de entrepiso					0,0047	

Según se observa en la tabla 2, el ensayo dio como resultado un desplazamiento absoluto medido por el sensor 1 de 3,34 cm y el medido por el sensor 7 de 1,78 cm, obteniéndose como resultado final un desplazamiento relativo de 1,56 cm. El artículo 15° de la norma E.030 (Vivienda, 2014) considera el desplazamiento lateral permisible para albañilería de 0,005 el cual se tomó como referencia debido a que no se cuenta con parámetros establecidos para adobe.

Los resultados de la prueba permitieron calcular una deriva de entrepiso de 0,0047.



Figura 4. Falla del muro de adobe en aparejo convencional (Crédito: CECOS-BRIGURP, 2015)

La prueba realizada en el muro con aparejo de librero cumple con lo expresado por Grohmann (1998), mencionado por Minke (2001, p.6) respecto a los efectos estructurales de un sismo en una edificación de adobe de los que menciona "...la fuerza de destrucción de un sismo y sus efectos dependen de parámetros entre los que se encuentran la duración y frecuencia en el lugar..." así también con lo expresado por el Dr. Hernando Tavera del Instituto Geofísico del Perú, acerca del tiempo de duración de un sismo, quien afirma que "...dependerá si se trata de la ruptura producida en el foco en cuyo caso será de milisegundos hasta 2 o 3 minutos para los grandes sismos..." pues durante 3 min soportó 1,17 kN deformándose 7 cm sin colapsar mostrando una alta ductilidad, cumpliendo con lo mencionado por Minke (2001, p.7) respecto al comportamiento de los muros de adobe que "...cuanto mayor es la ductilidad disponible tanto menor es la fuerza equivalente. Concluyendo así que las construcciones antisísmicas deben disponer de una ductilidad mayor..."

Según la tabla n° 8 del artículo 15 – Desplazamientos Laterales de la norma E0.30 RNE (Vivienda, 2014), el límite para desplazamiento lateral de entrepiso para albañilería debe ser 0,005, valor tomado como referencia debido a la falta de parámetros establecidos para adobe. La prueba del muro con aparejo de librero dio un valor de deriva de entrepiso de 0,0212, el cual supera los límites para este tipo de estructuras. Pese a estos valores, el muro construido con este sistema no colapsó, llegando a tolerar mayores deformaciones que un muro de mampostería, como del que se está tomando los valores referenciales.

El muro con aparejo convencional presentó mayor rigidez que la anterior, al ser sometida a una fuerza de 48,32 kN en un tiempo de 6 segundos. La prueba del muro con aparejo convencional dio un valor de deriva de entrepiso de 0,0047, el cual es menor que el requerido por la norma E.030 (0,005) para este tipo de estructuras. Se comprobó así que el sistema de construcción de adobe tradicional tiene un nivel de desplazamiento menor antes de fallar comparado con un muro de mampostería convencional.

7. CONCLUSIONES

El estudio mostró que el muro con aparejo de librero tuvo mejor comportamiento ante la aplicación de una fuerza horizontal en la parte superior, zona más sensible del muro.

El sistema constructivo de aparejo de librero aumentó la ductilidad del muro, permitiendo mayores deformaciones y disipación de energía.

Este sistema constructivo de aparejo de librero, empleado por la cultura Lima, cumplió con el RNE del Perú, Norma E.080 (Vivienda, 2006) para construcciones en adobe, como es soportar sismos de intensidad media, permitiendo la evacuación de los habitantes, al haber soportado 3 min sin colapsar.

Así también este sistema constructivo, de aparejo de librero, superó los requerimientos mínimos que el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, Norma E.030. (Vivienda, 2014) exige, respecto al desplazamiento del entrepiso que llegó a tener el muro, además de permitir regresar a su condición inicial con daños leves.

Como consecuencia se concluye que en los restos arqueológicos pertenecientes a las culturas Pre-Incas (cultura Lima) de Lima se manejaron conceptos relacionados a la solución de la problemática sísmica de la costa del Perú.

El sistema de aparejo de librero presenta algunas dificultades para su empleo en edificaciones actuales, que deben ser resueltas en estudios posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials. ASTM International (s/f). Norma ASTM D422-63 Standard test methods for particle-size analysis of soils. ASTM.

CEC Universidad de Chile (2010) Aislación sísmica. Universidad de Chile. Disponible en <<http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/aislacion.html>> Acceso en 15-07-2015

Gallegos, H. (2002). La nobleza del adobe. Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP. Lima. p.3

Grohmann (1998). Introducción al diseño sismorresistente, viviendas sismorresistentes (Informe no publicado). En: Laboratorio de Construcción Experimental, Universidad de Kassel, Alemania.

Instituto Geofísico del Perú. (S/F) Servicios institucionales. Preguntas frecuentes 28/02/12. Portal del Instituto Geofísico del Perú. IGP 2012. Disponible en <http://www.igp.gob.pe/portal/images/documents/sismos/preguntas_frecuentes/8.pdf> Acceso en 06-09-2015

Instituto Nacional de Defensa Civil (2009) Informe del equipo de investigación de Japón. Sismo 2007.INDECI.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Norma E.0.80. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. VIVIENDA. Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014). Norma E.0.30. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. VIVIENDA. Perú.

Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. Kassel. Alemania.

Perú Ecológico (S/F) Los sismos y las construcciones de adobe-Perú Ecológico. Disponible en: <http://www.peruecologico.com.pe/esp_sismosadobes.htm> Acceso en 12-07-2015

Pozzi-Escot, D.; Bernuy, K.; Torres, H. P; Aching, J. V. (2009). Sismo-resistencia de las construcciones en tierra del santuario arqueológico de Pachacamac. Disponible en: http://www.academia.edu/6067224/SISMO-RESISTENCIA_DE_LAS_CONSTRUCCIONES_EN_TIERRA_DEL_SANTUARIO_ARQUEOLOGICO_DE_PACHACAMAC

AGRADECIMIENTOS

Se agradece de manera especial al Doctor Iván Rodríguez Chávez, Rector de la universidad Ricardo Palma, por el apoyo económico brindado para la construcción del sistema de pruebas.

A los miembros del Centro de Estudios de Comunidades Saludables (CECOS-BRIGURP), en especial a Gustavo Sosaya del Carpio, Oscar Paz Cáceres, Luis Felipe Camones Alegría, Cesar Zamora Zelada, Renato Flores Biggio y Cristina Arias Gutiérrez y demás miembros voluntarios por su apoyo en la elaboración y desarrollo del trabajo.

AUTORES

Johnny Agüero Benites, alumno de Arquitectura. Universidad Ricardo Palma. Miembro voluntario, Coordinador de alumnos del Centro de Estudios para Comunidades Saludables CECOS-BRIGURP.

Javier Cerón Uribe, egresado de Ingeniería Civil. Universidad Ricardo Palma. Asistente Técnico en estructuras en HOB Consultores S.A., ex Practicante de estructuras en el Ministerio Transportes y Comunicaciones del Perú. Coautor de ponencia Edificaciones con tapia apisonada reforzada con entramado de carrizo (*Arundo donax L.*) TerraBrasil 2012. Miembro voluntario, ex Coordinador de alumnos del Centro de Estudios para Comunidades Saludables CECOS-BRIGURP.

Juan Carlos Miguel Ángel Gonzáles Lévano, alumno de Ingeniería Electrónica. Universidad Ricardo Palma. Miembro voluntario, Ex Coordinador de alumnos del Centro de Estudios para Comunidades Saludables CECOS-BRIGURP. Tesista ganador del concurso FINCYT proyecto Sistema electromecánico de simulación sísmica con movimiento reproducido mediante software basado en registros sísmicos del Perú para evaluar el comportamiento sismo-resistente de sistemas constructivos en general””.

María Teresa Méndez Landa, Doctora en Educación por la Universidad San Martín de Porres. Arquitecta por la Universidad Nacional de Ingeniería. Profesora Asociada en facultades de Arquitectura e Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú. Coordinadora y directora de proyectos de investigación del Centro de Estudios para Comunidades Saludables y Jefe del Instituto de la Construcción de la Facultad de Ingeniería. Universidad Ricardo Palma. Directora de ponencias presentadas al TerraBrasil 2008, 2010 y 2012, SIACOT 2009, NOCMAT 2013, Ekotectura 20014 y TerraBrasil 2014.