

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA FRENTE A CARGAS PERPENDICULARES POR TSUNAMI

EXPERIMENTAL STUDY OF CONFINED MASONRY WALLS UNDER PERPENDICULAR TSUNAMI LOADS

Chrysler Camacho-Roque^{1,2*} , Carlos Zavala-Toledo^{1,2} , Roy Reyna-Salazar^{1,2} 

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

²Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Lima, Perú

Recibido (Received): 31 / 10 / 2023 Aceptado (Accepted): 11 / 12 / 2024

RESUMEN

La alta actividad sísmica en la costa del Perú conlleva a un riesgo potencial de tsunamis que podrían afectar la costa peruana incurriendo en daños a las personas y a las estructuras. De acuerdo con estudios realizados por el CISMID y el Fondecyt aproximadamente el 83% de las viviendas en Lima Metropolitana y el Callao corresponde a albañilería esto principalmente debido a su bajo costo económico. El presente estudio experimental tiene por objetivo estudiar el comportamiento de los muros de albañilería confinada bajo acción de cargas perpendiculares al muro producidas por el impacto de las olas de un tsunami, el cual es un campo de investigación donde aún es necesario ahondar con estudios experimentales de las estructuras ante cargas de tsunami equivalentes. Como parte del estudio experimental se construyeron 2 muros de albañilería confinada, los cuales se ensayaron bajo acción de cargas perpendiculares aplicadas por medio de gatas hidráulicas con un control por fuerza simulando las fuerzas inducidas por un tsunami. Del ensayo experimental se obtuvo una falla por flexión perpendicular al plano del muro principal alcanzando una carga total equivalente a una altura máxima del tren de olas de 3.95 m de altura para una distorsión de 1/75 al nivel de la losa aligerada. Además, se alcanzó la deformación límite para estructuras de albañilería confinada indicada en la Norma Peruana E030 para una carga equivalente a una altura máxima del tren de olas de 3.00 m.

Palabras Clave: Albañilería confinada, tsunami, sismicidad, capacidad estructural

ABSTRACT

The high seismic activity on the Peruvian coast carries a potential risk of tsunamis that could affect the Peruvian coast, causing damage to people and structures. According to studies carried out by CISMID and Fondecyt, approximately 83% of the houses in Metropolitan Lima and Callao are made of masonry, mainly due to its low economic cost. The present experimental study aims to study the behavior of confined masonry walls under the action of perpendicular loads to the wall produced by the impact of tsunami waves, which is a field of research where it is still necessary to delve deeper with experimental studies of the structures under equivalent tsunami loads. As part of the experimental study, 2 confined masonry walls were built, which were tested under the action of perpendicular loads applied by means of hydraulic jacks with a force control simulating the forces induced by a tsunami. From the experimental test, a failure was obtained by bending perpendicular to the plane of the main wall reaching a total load equivalent to a maximum height of the wave train of 3.95 m for a distortion of 1/75 at the level of the lightened slab. In addition, the limit deformation for confined masonry structures indicated in the Peruvian Standard E030 was reached for a load equivalent to a maximum height of the wave train of 3.00 m.

Palabras Clave: Confined masonry, tsunami, seismicity, structural capacity

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de albañilería confinada son altamente utilizadas en el Perú debido a su facilidad constructiva y a las ventajas económicas que provee frente a otros sistemas estructurales. Basados en estudios realizados por el Laboratorio de Estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y el

Fondecyt aproximadamente el 83% de las viviendas de Lima metropolitana y el callao son de albañilería [1].

Por otro lado, la ciudad de Lima se encuentra en una zona de alta sismicidad con un gran silencio sísmico [2] en la que se espera la ocurrencia de un sismo de gran magnitud del orden de 8.9 Mw [3] y con posibilidad de producirse un tsunami, que podría devastar la zona costera de la ciudad. Según Adriano B. et al. [4] se espera alturas probables de inundación por tsunami de

* Corresponding author:
Email: ccamachor@uni.edu.pe

6 a 15 m ante ocurrencia de un tsunami frente al Callao para el escenario de un sismo de 9.0 Mw y el otro basado en el tsunami de 1746 en Perú respectivamente.

La presente investigación fue conducida en el CISMID y busca estudiar el comportamiento de los muros de albañilería confinada bajo acción de cargas producidas por tsunami, lo que nos permitirá conocer de manera experimental la capacidad, forma de falla y nivel de desplazamientos alcanzados en viviendas de albañilería confinada ante la ocurrencia de un evento tsunami-génico en la costa peruana lo cual es un potencial peligro que afecta la costa peruana dada la alta actividad sísmica en el Perú.

2. ANTECEDENTES

En el ámbito nacional se han llevado a cabo numerosos estudios relacionados con la albañilería confinada. Estos estudios se han centrado principalmente en evaluar la capacidad de los muros de albañilería para resistir cargas sísmicas simuladas mediante la aplicación de fuerzas cíclicas en el extremo superior del muro tal como los realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID. ([5], [7]).

Estos resultados han permitido proponer modelos analíticos [6] que pueden predecir la curva de capacidad de estos muros de albañilería confinada bajo cargas cíclicas en el plano del muro. Estas propuestas de modelos analíticos dicha tienen en consideración características específicas, como las dimensiones del muro, tipo de ladrillo, cuantía de acero, entre otros.

Además, se han establecido estados límites de daño en el rango plástico de colapso, prevención del colapso, seguridad de vida y ocupación inmediata [7].

Por otro lado, en el ámbito internacional también se han conducido múltiples ensayos experimentales, entre ellos investigaciones en muros de albañilería sin confinar ante cargas perpendiculares a su plano bajo condiciones específicas regionales de propiedades de los materiales y proceso constructivo como se muestra en [8], [9] y [10], en las cuales se estudió muros de albañilería bajo condiciones específicas de cada región y fuerzas perpendiculares transmitidas al muro por bolsas de aire o agua.

3. METODOLOGÍA

El proceso experimental consistió en el ensayo de dos muros de albañilería confinada en forma de "C" donde el muro principal es un muro de albañilería de aparejo cabeza y 2 placas de concreto en los extremos del espécimen como se muestra en la Fig. 1, sometidos a cargas perpendiculares aplicadas fuera del plano del muro. Estas cargas simulaban la acción de las olas de un

tsunami. Por otro lado, se aplicó una carga axial como sobrecarga simulando la sobrecarga generada por una vivienda de dos niveles a un muro del primer nivel.

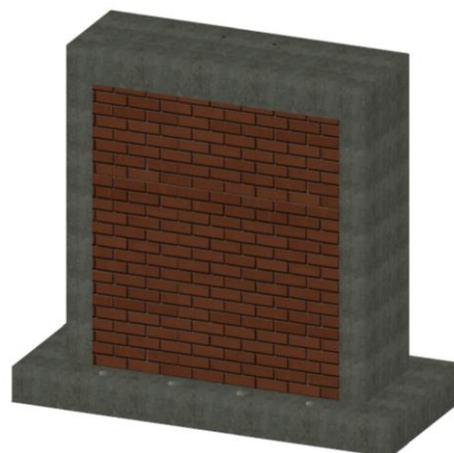


Fig. 1. Esquema de espécimen de ensayo

Para proporcionar confinamiento al muro de albañilería, se construyeron una cimentación, dos placas de concreto armado, una viga solera en la parte superior y una losa aligerada para aplicar la carga axial de servicio como peso sobre la losa.

Durante el ensayo, se implementó un control basado en fuerzas, siguiendo el modelo de fuerzas de tsunami propuesto por Asakura et al. [11]. Este enfoque permitió registrar las deformaciones del muro para distintos pasos de carga donde cada paso equivale a la fuerza generada por una determinada altura máxima del tren de olas.

Las cargas perpendiculares al muro fueron aplicadas haciendo uso de bombas eléctricas de control manual junto con 3 gatas hidráulicas, las cuales tenían por fin replicar de manera aproximada el efecto de las cargas de tsunami sobre el espécimen de ensayo. Además, la cantidad y ubicación de las gatas hidráulicas atendían a cuestiones de espacio en altura y posibilidades de anclaje de las gatas hidráulicas al muro de reacción.

Estas pruebas experimentales permitieron obtener el nivel de desplazamiento y fuerza de un muro de albañilería confinada bajo condiciones de carga similares a un tsunami, así como frente a cargas axiales representativas de una vivienda de dos niveles. Los resultados obtenidos permitieron de este modo estudiar el comportamiento de los muros de albañilería confinada ante la ocurrencia de un potencial tsunami.

3.1. DIMENSIONES GEOMÉTRICAS

El espécimen consistió en un muro principal de albañilería confinada de 2.4 m de altura y 2.6 m de ancho con aparejo de cabeza con un espesor de 21 cm y 2 alas de concreto armado de longitud 90 cm y ancho 22.5 cm.

Estas dimensiones fueron seleccionadas para representar de manera adecuada las características típicas de un muro de albañilería confinada en términos de tamaño y proporciones en la ciudad de Lima. La Fig. 2 muestra el espécimen de ensayo y accesorios necesarios para el ensayo.



Fig. 2. Ensayo experimental ante cargas perpendiculares por tsunami

3.2. INSTRUMENTACIÓN

Con el fin de registrar las deformaciones en el espécimen y cargas aplicadas por las gatas hidráulicas se utilizaron celdas de carga y transductores de desplazamiento lineal variable (LVDT) junto con un adquisidor de datos estático y una laptop para manejo del adquisidor.

Se utilizaron en total 3 celdas de carga y 24 transductores de desplazamiento (LVDT). Con el fin de registrar deformaciones en el muro se utilizaron 12 transductores colocados en 4 líneas con 3 transductores en cada una. 3 líneas coincidentes en elevación con cada Gata hidráulica y una cuarta en la mitad entre la gata 2 y 3. Se colocaron 5 transductores para registrar desplazamientos horizontal y vertical de la base del muro. En el caso de las placas se colocó 2 transductores diagonales en cada una y un transductor horizontal y uno vertical en la base de la placa. Finalmente se colocó transductores a la altura de la losa sobre cada placa para registrar las deformaciones del extremo superior del muro. (Fig. 3)

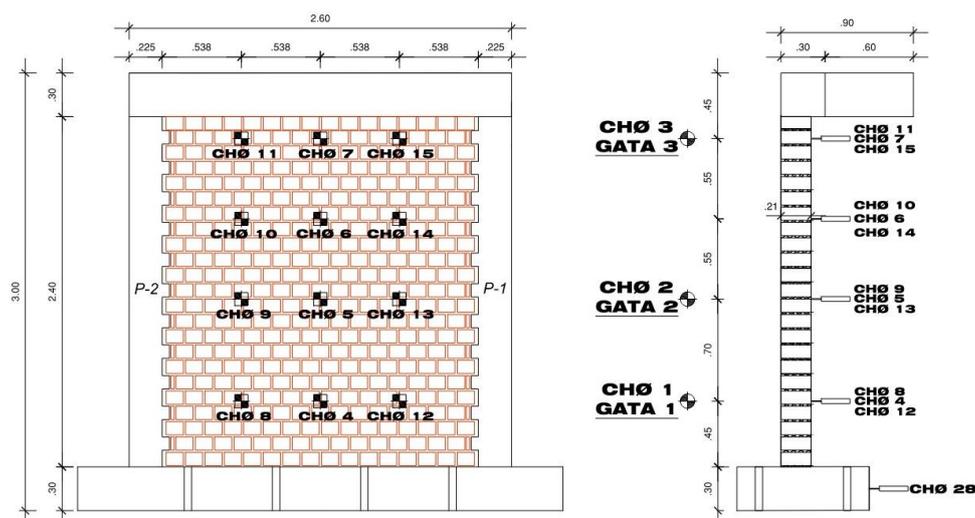


Fig. 3. Dimensiones de espécimen.

3.3. PERFIL DE FUERZAS DE TSUNAMI

Múltiples modelos de carga de tsunami han sido propuestos tras experimentación en laboratorio en modelos a escala como en [11], [12], [13], [14] y [15]. La caracterización de la distribución de fuerzas y presiones inducidas por el tsunami sobre el muro de albañilería se determinaron siguiendo los modelos de carga de tsunami propuesto por Asakura et al. [11] y Nakano [12] los cuales proponen una distribución de presiones triangular, con base al pie del muro. Además, la distribución propuesta correspondía a una distribución de presiones hidrostática afectada por un parámetro de amplificación denominado “Coeficiente de profundidad del agua”, lo cual se muestra en la ecuación (1).

$$P_z = \left(a - \frac{z}{h} \right) pgh \quad (1)$$

$P_{(z)}$ = Presión inducida por el Tsunami

z = Altura donde se evalua la presión

h = Altura máxima del tren de olas

g = aceleración de la gravedad

p = Densidad del fluido

a = Coeficiente de profundidad del agua

La TABLA I y la Fig. 4 muestran el valor de a en función de la distancia a la costa y la presencia de obstáculos en la propagación de las olas de tsunami.

TABLA I
Valores del coeficiente de profundidad del agua [12]

Estructuras de disipación de energía		Sin estructuras de disipación de energía (a cualquier distancia desde la costa)
Distancia desde la costa		
Distancia ≤ 500 m	Distancia >500 m	
1.5	2.0	3.0

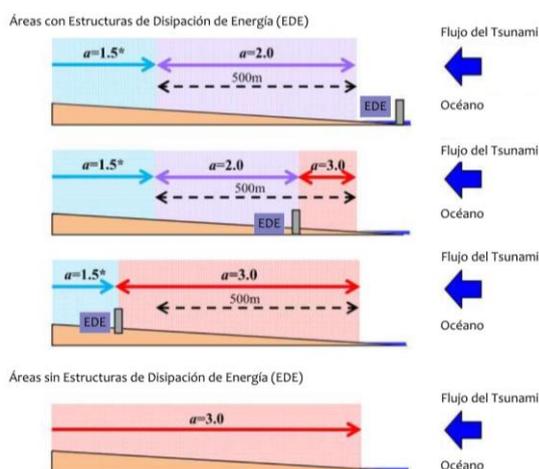


Fig. 4. Variación del coeficiente a en función de la lejanía a la costa [12]

La Fig. 5 muestra la distribución de presiones generadas por el tsunami en una pared, la cual es igual a la presión hidrostática del agua amplificada por el coeficiente de profundidad del agua.

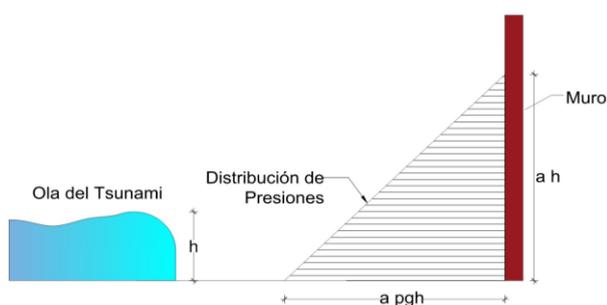


Fig. 5. Esquema del modelo propuesto por Asakura et al. [11]

Integrando la ecuación de presiones (1) se determina las fuerzas totales inducidas sobre una superficie vertical, la cual resulta en la expresión mostrada en la ecuación (2) y (3), además se encuentra esquematizado en la Fig. 6.

$$F_{(z)} = \int_0^{ah} \left(a - \frac{z}{h} \right) pgh (b dz) \quad (2)$$

$$F_{(z)} = \frac{pgh a^2 h^2}{2} \quad (3)$$

Donde

$F_{(z)}$ = Fuerza total inducida por el Tsunami

b = Ancho del muro

g = Aceleración de la gravedad

p = Densidad del fluido

a = Coeficiente de profundidad del agua

h = Altura máxima del tren de olas

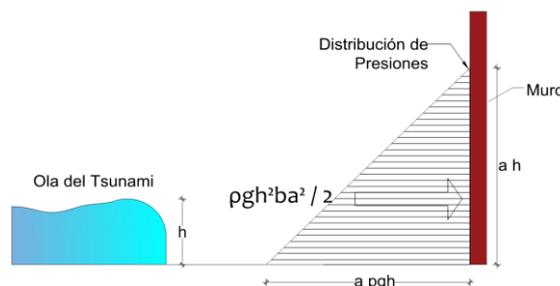


Fig. 6 Esquema de Fuerza total inducida sobre una superficie vertical [11]

3.4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La aplicación de cargas fuera del plano sobre el espécimen se realizó por medio de 3 gatas hidráulicas las cuales estarán conectadas a vigas metálicas, las cuales tenían una almohadilla de caucho en su superficie. (Fig. 7, Fig. 8)

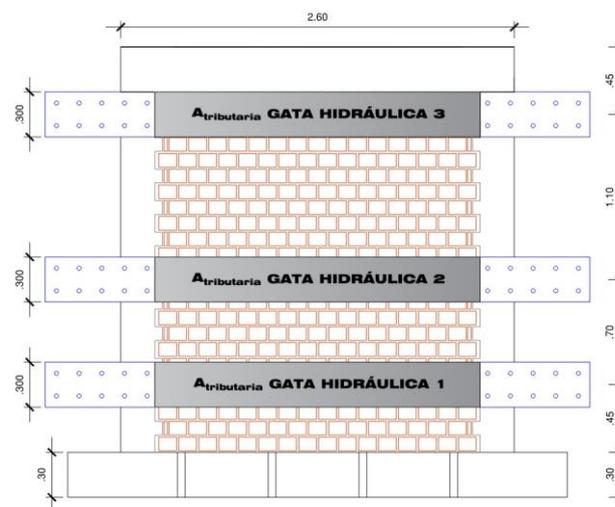


Fig. 7. Área tributaria de aplicación de carga



Fig. 8. Almohadilla de caucho para transmisión de la carga

El ensayo se realizó con un control por fuerzas para las cargas perpendiculares siguiendo una historia de pasos obtenida a partir del modelo de Asakura et al. [11], donde cada paso de carga corresponde a una altura máxima del tren de olas distinta. La Tabla II muestra la

historia de fuerzas consideradas durante el ensayo experimental.

Dichas fuerzas aplicadas por cada gata hidráulica se transmitieron por medio de presiones equivalentes hacia el muro como se muestra en la Fig. 9.

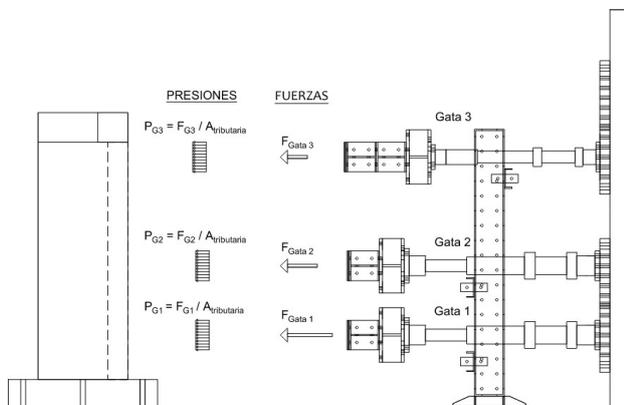


Fig. 9. Esquema de distribución de presiones sobre el muro

Las fuerzas fueron aplicadas manualmente por medio de bombas eléctricas durante cada paso de carga, esto se puede apreciar en la Fig. 10. Además, es posible observar las cargas aplicadas en cada paso en la Tabla II.



Fig. 10. Gatas Hidráulicas manuales para control por fuerza durante el ensayo

Tabla II
Pasos de carga aplicados en el ensayo

N	Alt. max	Gata 1	Gata 2	Gata 3
	tren de olas	F (kN)	F (kN)	F (kN)
	h (m)			
1	0.30	0.10	0.00	0.00
2	0.45	0.20	0.04	0.00
3	0.58	0.31	0.09	0.00
4	0.68	0.41	0.15	0.00
5	0.78	0.51	0.21	0.00
6	0.87	0.61	0.28	0.02
7	0.96	0.71	0.35	0.04
8	1.05	0.82	0.42	0.06
9	1.15	0.92	0.49	0.09
10	1.25	1.02	0.57	0.13
11	1.35	1.12	0.65	0.16
12	1.45	1.22	0.72	0.20
13	1.56	1.33	0.80	0.25
14	1.66	1.43	0.88	0.29
15	1.77	1.53	0.96	0.34
16	1.88	1.63	1.04	0.39
17	1.99	1.73	1.13	0.44
18	2.10	1.83	1.21	0.49
19	2.21	1.94	1.29	0.54
20	2.32	2.04	1.38	0.60
21	2.43	2.14	1.46	0.65
22	2.54	2.24	1.54	0.71
23	2.66	2.34	1.63	0.77
24	2.77	2.45	1.71	0.83
25	2.89	2.55	1.80	0.89
26	3.00	2.65	1.89	0.95
27	3.12	2.75	1.97	1.01
28	3.24	2.85	2.06	1.07
29	3.35	2.96	2.14	1.13
30	3.47	3.06	2.23	1.20
31	3.59	3.16	2.32	1.26
32	3.71	3.26	2.41	1.32
33	3.83	3.36	2.49	1.39
34	3.95	3.47	2.58	1.46
35	4.06	3.57	2.67	1.52
36	4.18	3.67	2.76	1.59
37	4.30	3.77	2.85	1.66
38	4.42	3.87	2.94	1.72
39	4.55	3.98	3.02	1.79
40	4.67	4.08	3.11	1.86

En el ensayo para aplicar la carga axial de servicio requerida, se utilizaron 4 planchas metálicas y sacos de

arena y cemento colocados sobre la losa aligerada lo que se observa en la Fig. 11. Estos elementos se utilizaron para proporcionar la carga axial necesaria y simular las condiciones de una vivienda de dos pisos, condiciones predominantes en Lima Metropolitana y el Callao según estudios realizados por el CISMID [1]. La carga axial necesaria se determinó mediante un análisis de cargas de servicio y fue alrededor de 0.66 kN.

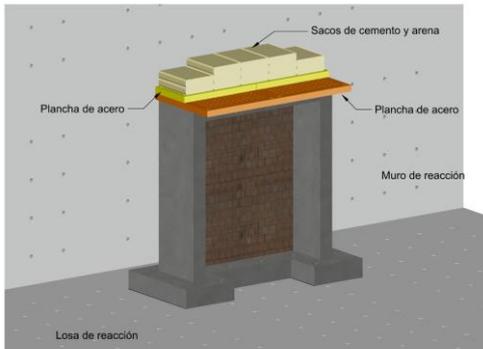


Fig. 11. Esquema general de aplicación de carga axial

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se ensayaron 2 muros de albañilería de iguales dimensiones bajo la misma historia de carga o pasos con longitudes distintas de la almohadilla de caucho.

4.1. ENSAYO 1: Espécimen MTSU01

Este ensayo se caracterizó por hacer uso de la almohadilla de caucho para transmisión de las presiones hacia el muro, la almohadilla colocada fue de igual longitud que el muro incluyendo los elementos de confinamiento. La Fig. 12 muestra los desplazamientos obtenidos durante el ensayo del primer muro. Se alcanzó el paso 40 de la Tabla II el cual corresponde a la carga equivalente a una altura máxima del tren de ola de 4.67 m lo cual corresponde a una distorsión de 1/50 al nivel de la losa aligerada. La NTP. E030 [16] indica para estructuras de albañilería confinada un valor de distorsión límite de 5‰, considerando una altura de muro de 2.55 m al nivel de la losa aligerada, se obtiene un desplazamiento máximo de 12.75 mm. Dicho desplazamiento fue superado en el paso 28 el cual equivale a una altura máxima del tren de ola de 3.24 m.

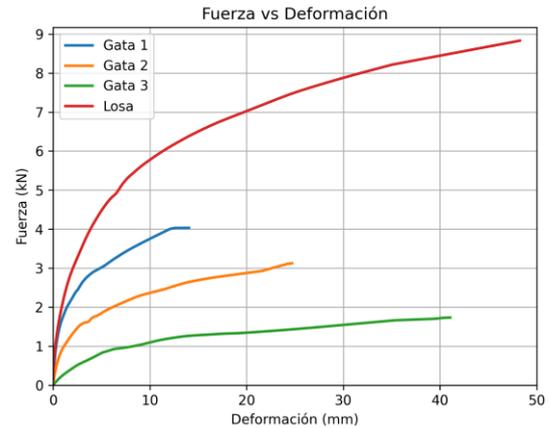


Fig. 12. Grafica Fuerza vs Deformación – Ensayo 1 – Espécimen MTSU01

Tras analizar los resultados del primer ensayo, se llegó a la conclusión de que la transmisión de carga no era la adecuada en la región de ladrillos del muro de albañilería confinada. Esto se explica debido a la diferencia de rigideces entre las placas de concreto y la zona de ladrillos. Esto se evidenció en la Fig. 13 al notar que las deformaciones en la región inferior y central del muro eran menores en comparación con las observadas en la parte superior del muro, a pesar de que la carga perpendicular fue aplicada con mayor magnitud en la zona inferior y media del muro.

La Fig. 14 y Fig. 15 muestra el patrón de grietas obtenido durante el ensayo donde se identifica un mayor daño en la zona inferior del muro.

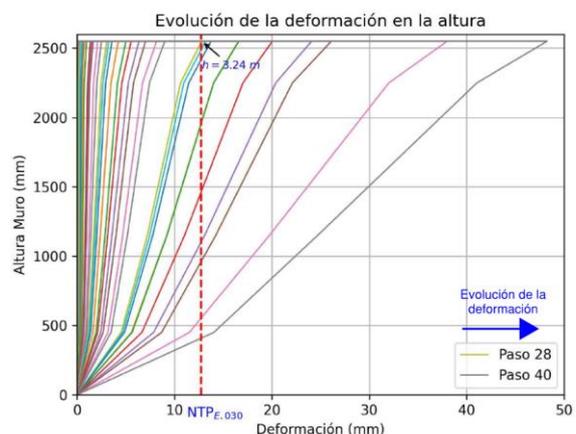


Fig. 13. Deformación del muro en la altura – Ensayo 1 – Espécimen MTSU01

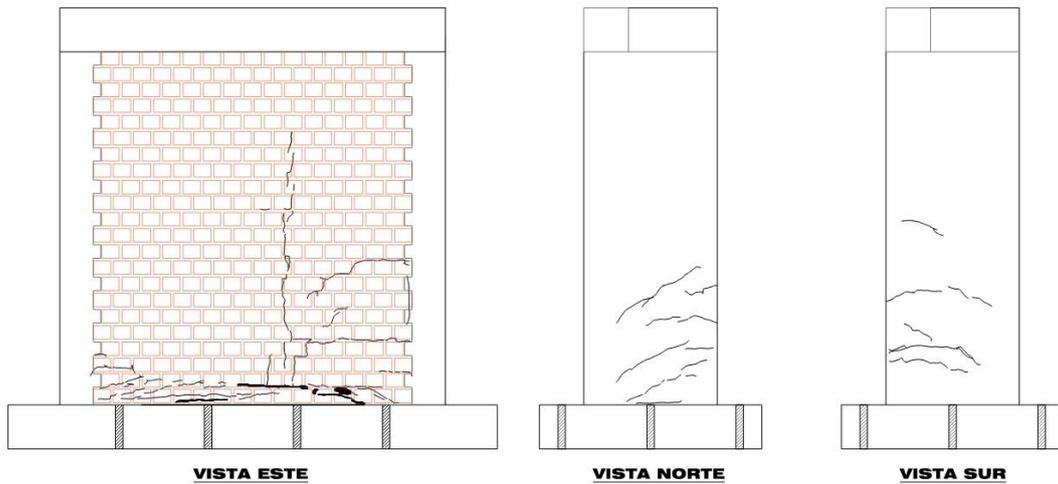


Fig. 14. Mapeo de Grietas – Vista en Elevación– Ensayo 1 – Espécimen MTSU01

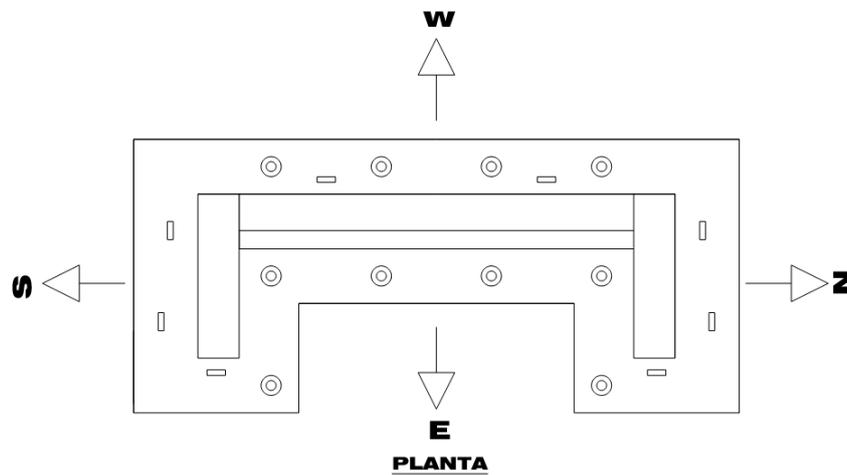


Fig. 15. Vista en planta – Ensayo 1 – Espécimen MTSU01

4.2. ENSAYO 2: Espécimen MTSU02

En este ensayo con el fin de garantizar una transmisión de carga adecuada en la región de ladrillos se redujo el largo de la almohadilla de caucho al ancho del área comprendida por los ladrillos y garantizar de esta forma una mejor transmisión de cargas hacia el muro en dicho sector.

La Fig. 16 muestra los desplazamientos obtenidos durante el ensayo 2. Se alcanzó el paso 34 de la Tabla II el cual corresponde a la carga equivalente a una altura de máxima del tren de olas de 3.95 m lo cual corresponde a una distorsión de 1/75 al nivel de la losa aligerada.

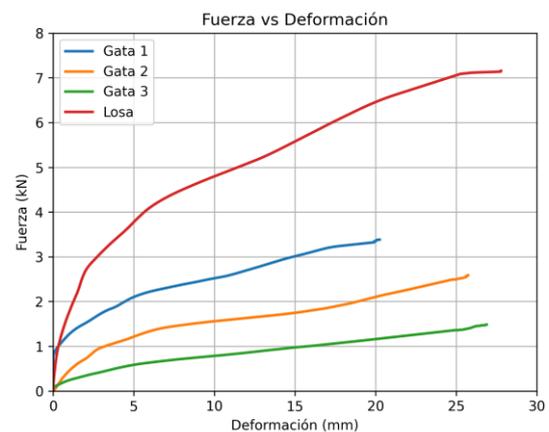


Fig. 16. Grafica Fuerza vs Deformación – Ensayo 2 – Espécimen MTSU02

En la Fig. 17 se observa la evolución de deformaciones en el muro, se observa que se produjeron mayores deformaciones en la parte central del muro, al nivel de la segunda gata hidráulica. Además,

se superó el desplazamiento máximo permitido por la NTP. E030 [16] de 12.75 mm, para el paso 26 el cual equivale a una altura máxima del tren de olas de 3.00 m al nivel de la losa aligerada.

El patrón de grietas se muestra en la Fig. 18 y Fig. 19, en donde se produjo una falla por flexión perpendicular al muro, generándose una grieta horizontal importante en la parte inferior del muro.

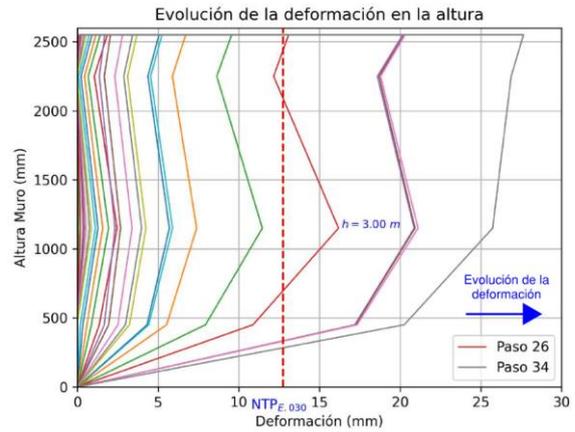


Fig. 17. Deformación del muro en la altura – Ensayo 2 – Espécimen MTSU02

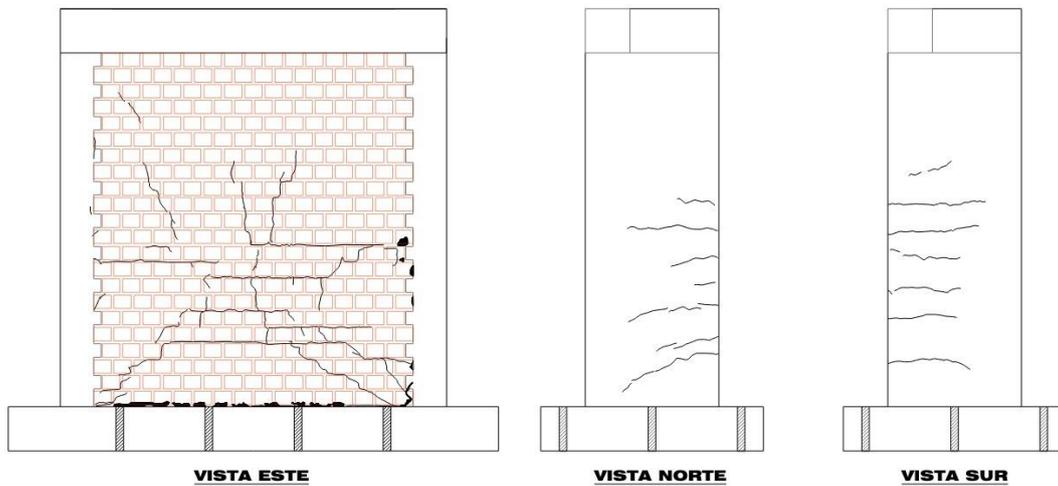


Fig. 18. Mapeo de Grietas – Vista en Elevación – Ensayo 2 – Espécimen MTSU02

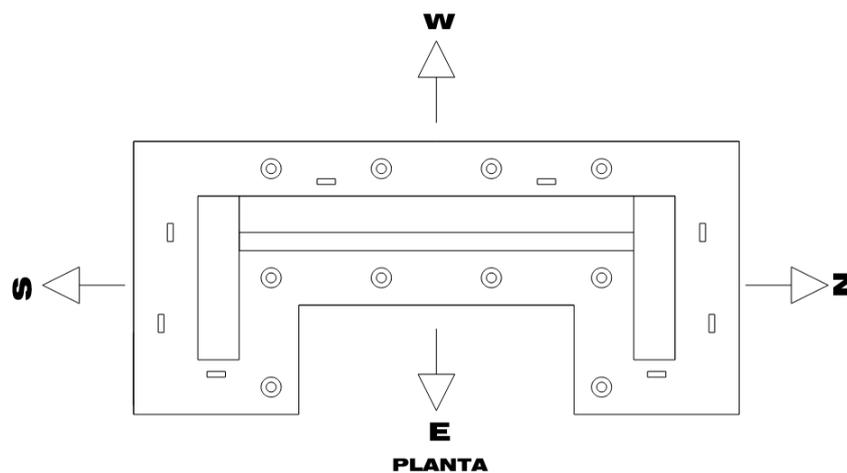


Fig. 19. Vista en planta– Ensayo 2 – Espécimen MTSU02

CONCLUSIONES

- Se construyó dos especímenes de muros de albañilería de espesor de 21 cm de aparejo cabeza confinados por dos columnas de concreto de 90 cm de longitud con el objetivo de simular el aporte de rigidez y resistencia de los muros perpendiculares a su plano.
- El presente estudio a diferencia de los estudios previos realizados por [8], [9] y [10] considera el uso del sistema de muros de albañilería confinada. Además, considera el estudio del muro ante cargas de tsunami junto con unidades de albañilería de propiedades y características locales de la ciudad de Lima Metropolitana y el Callao.
- El modelo considerado para estimación de las presiones y fuerzas fue el de Asakura et al. [11], el cual considera en su propuesta un enfoque experimental, donde estima las presiones generadas por un tren de olas en laboratorio, siendo uno de sus parámetros la altura máxima del tren de olas durante el impacto, siendo aproximado por medio de franjas de presiones transmitidas por 3 gatas hidráulicas, cantidad que depende de las posibilidades de montaje y distribución en altura de las gatas hidráulicas.
- De los resultados obtenidos en ambos especímenes se concluye que la transmisión de fuerzas no fue perfecta, ya que el uso de almohadillas de caucho fue un medio de aproximar la transmisión de fuerzas uniforme que generaría el tsunami al impactar sobre una superficie, por lo que se recomienda mejorar el sistema de transmisión de carga.
- Se obtuvo una mejor transmisión de cargas haciendo uso de almohadillas de caucho sobre el área de ladrillos verificándose por las deformaciones obtenidas durante el ensayo 2, encontrando mayores deformaciones en la zona media y baja del muro, lo cual se esperaba ya que las fuerzas son mayores en esa zona.
- Se obtuvo durante el ensayo 1 una falla del muro para una carga equivalente a 4.67 m de altura máxima del tren de ola, generando una distorsión de 1/50 a nivel de la losa aligerada. Además, se superó el desplazamiento límite indicado en la NTP Eo.30 [16] al nivel de la losa aligerada para un nivel de carga equivalente a una altura máxima del tren de ola de 3.24 m.
- Se obtuvo durante el ensayo 2 una falla del muro para una carga equivalente a 3.95 m de altura máxima del tren de ola, generando una

distorsión de 1/75 a nivel de la losa aligerada. Además, se superó el desplazamiento límite indicado en la NTP Eo.30 [16] al nivel de la segunda gata hidráulica para un nivel de carga equivalente a una altura máxima del tren de ola de 3.00 m.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación - UNI por subsidiar esta investigación, al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), al personal técnico y profesional y al equipo de investigación del laboratorio de estructuras denominados "EQTSU-Lab" a quienes agradecemos por el apoyo brindado durante los ensayos experimentales.

REFERENCIAS

- [1] E. Flores, M. Diaz y C. Zavala, "Development of Fragility Function for Typologies of Confined Masonry Dwelling in Metropolitan Lima and Callao cities", *Tecnia*, vol. 29, no. 2, pp. 151-158, ago.2019, doi: 10.21754/tecnica.v29i2.717
- [2] L. Dorbath, A. Cisternas y C. Dorbath, "Assessment of the size of large and great historical earthquakes in Peru", *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 80, no. 3, pp. 551-576, jun.1990. [En línea]. Disponible: <https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/80/3/551/119293/Assessment-of-the-size-of-large-and-great?redirectedFrom=fulltext>
- [3] N. Pulido, Z. Aguilar, H. Tavera, M. Chlieh, D. Calderón, T. Sekiguchi, S. Nakai y F. Yamazaki, "Scenario source models and strong motion for future mega-earthquakes: Application to Lima, Central Peru", *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 105, no. 1, feb.2015, doi: 10.1785/0120140098
- [4] B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez, y H. Yanagisawa, "Tsunami Inundation Mapping in Lima, for Two Tsunami Source Scenarios", *Journal of Disaster Research*, vol. 8, no. 2, pp. 274-284, 2013, doi: 10.20965/jdr.2013.p0274
- [5] P. Gibu y C. Serida, "Muros de Albañilería Confinada sujetos a carga Lateral", tesis de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1993.
- [6] M. Diaz, C. Zavala, E. Flores y L. Cardenas, "Development of analytical models for confined masonry walls based on experimental results in Lima city", *Tecnia*, vol. 29, no.2, pp. 23-29, ago.2019, doi: 10.21754/tecnica.v29i2.711
- [7] C. Zavala, M. Diaz, E. Flores y L. Cardenas, "Damage limit states for confined masonry walls based on experimental test", *Tecnia*, vol. 29, no. 2, pp. 135-141, ago.2019, doi: 10.21754/tecnica.v29i2.715
- [8] H. Derakhshan y J. Ingham, "Out-of-Plane testing of an unreinforced masonry wall subjected to one-way bending", en *2008 Australian Earthquake Engineering Conference*, 2008.
- [9] T. Bui, A. Limam, D. Bertrand, E. Ferrier, y M. Brun "Masonry walls submitted to out-of-plane loading: Experimental and numerical study", *8th International Masonry Society Proceedings*, 2010.

- [10] N. Ismail y J. Ingham, "In-plane and out-of-plane testing of unreinforced masonry walls strengthened using polymer textile reinforced mortar", *Engineering Structures* 118, mar.2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2016.03.041
- [11] R. Asakura, K. Iwase, T. Ikeya, M. Takao, T. Kaneto, N. Fujii y M. Ohmori "The Tsunami Wave Force Acting on Land Structures", *Coastal Engineering* 2002, pp. 1191-1202, 2003, doi: 10.1142/9789812791306_0100
- [12] Y. Nakano, "Structural Design Requirements for Tsunami Evacuation Buildings In Japan", *University of Tokyo*, 2013.
- [13] P. Lukkunaprasit, A. Ruangrassamee, y N. Thanasisathit, "Tsunami Loading on Buildings with Openings", *Science of Tsunami Hazards*, vol. 28, no. 5, pp. 303-310, 2009.
- [14] K. Nanayakkara y W. Dias, "Fragility curves for structures under tsunami loading", *Natural Hazards*, vol.80, pp. 471-486, 2016, doi: 10.1007/s11069-015-1978-1
- [15] C. Chinnarasri, N. Thanasisathit, A. Ruangrassamee, S. Weesakul y P. Lukkunaprasit, "The Impact of Tsunami-Induced Bores on Buildings", *Maritime Engineering*, vol. 161, no. 1, mar.2013, doi: 10.1680/maen.2010.31
- [16] Ministerio de Vivienda, Diseño Sismorresistente, NTP E.030, Construcción y Saneamiento, 2020. [En línea]. Disponible: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686410/E.030%20Dise%C3%B1o%20Sismo%20resistente.pdf>



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY 4.0. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo revistas@uni.edu.pe