

Inspection and Repair of Masonry Houses Confined whit Seismic Damage

Brian Chávez, Bachiller¹, Martín Espíritu, Bachiller¹, Junior Orihuela, Magister¹

¹Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú u201314627@upc.edu.pe,
u201517067@upc.edu.pe, pccijori@upc.edu.pe

Abstract— In this work a quick way of realizing the inspection of a house after having been subjected to seismic solicitations is exposed, through a mobile application, in order to identify damages and categorize confined masonry dwellings as total, habitable security, careful and unsafe, according to the current state of said dwelling based on the width of the cracks of the affected structural elements, such as bearing walls, beams and columns, as well as in the parameters defined in the national building regulations.

On the other hand, two repair techniques are proposed for cracked bearing walls: the use of carbon fiber and electrowelded mesh. Which will allow to increase the resistance of these walls; Subsequently, the effectiveness of this combined technique is verified through a computational analysis. The results indicate that the cut resistance increased around 100% in the most critical walls.

Keywords— Earthquake, damage, structure, wall, crack, inspection, repair, effort, computational.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.44>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Inspección y Reparación de Viviendas de Albañilería Confinada con Daño Sísmico

Brian Chávez, Bachiller¹, Martín Espíritu, Bachiller¹, Junior Orihuela, Magister¹

¹Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú
u201314627@upc.edu.pe, u201517067@upc.edu.pe, pccijori@upc.edu.pe

Resumen- En este trabajo se expone una forma rápida de realizar la inspección de una vivienda después de haber sido sometido a solicitaciones sísmicas, a través de un aplicativo móvil, con el fin de identificar daños y categorizar viviendas de albañilería confinada como seguridad total, habitable, de cuidado e insegura, según el estado actual de dicha vivienda en base al ancho de las grietas de los elementos estructurales afectados, tales como, muros portantes, vigas y columnas, así como en los parámetros definidos en los reglamentos nacionales de edificaciones.

Por otro lado, se proponen dos técnicas de reparación para muros portantes agrietados: el uso de fibra de carbono y malla electrosoldada. Las cuales permitirán incrementar la resistencia de estos muros; posteriormente se comprueba la efectividad de esta técnica combinada mediante un análisis computacional. Los resultados indican que la resistencia al corte se incrementó alrededor del 100% en los muros más críticos.

Palabras clave- Sismo, daño, estructura, muro, grieta, inspección, reparación, esfuerzo, computacional.

Abstract- In this work a quick way of realizing the inspection of a house after having been subjected to seismic solicitations is exposed, through a mobile application, in order to identify damages and categorize confined masonry dwellings as total, habitable security, careful and unsafe, according to the current state of said dwelling based on the width of the cracks of the affected structural elements, such as bearing walls, beams and columns, as well as in the parameters defined in the national building regulations.

On the other hand, two repair techniques are proposed for cracked bearing walls: the use of carbon fiber and electrowelded mesh. Which will allow to increase the resistance of these walls; Subsequently, the effectiveness of this combined technique is verified through a computational analysis. The results indicate that the cut resistance increased around 100% in the most critical walls.

Keywords- Earthquake, damage, structure, wall, crack, inspection, repair, effort, computational.

I. INTRODUCCIÓN

Después de un evento sísmico, muchas edificaciones se ven afectadas experimentando daños leves, moderados o severos en sus elementos estructurales, comprometiendo la seguridad y habitabilidad de la misma. En el ámbito latinoamericano, por ubicarse esta región sobre los límites de las placas de Nazca, Sudamericana y del Caribe; nos encontramos expuestos a terremotos de gran magnitud, como los sismos ocurridos en el Perú en el año 2007 (magnitud 8,0), en Chile en el año 2010 (8,8), Ecuador en el año 2016 (7,8), México en 2017 (7,1). Si bien es cierto que los terremotos son la causa principal de que las edificaciones sufran grandes daños, no son el único factor, en reiteradas ocasiones, las incorrectas e inadecuadas estructuraciones, sumado a las malas prácticas y negligencias

durante la ejecución de una estructura pueden determinar una exigua rigidez y poca estabilidad en la edificación para resistir un evento sísmico.

Debido a lo expuesto anteriormente, las viviendas tienden a sufrir grandes daños producto de los esfuerzos internos a los que se someten los elementos estructurales que conforman la estructura. En ese sentido, esta investigación se enfoca en la inspección y reparación de elementos estructurales dañados en viviendas de albañilería confinada en casos en lo que no haya habido un diseño o construcción profesional, lo que es común en Latinoamérica.

En cuanto a la inspección postsísmica; una referencia fundamental es el reporte ATC-20 de Applied Technology Council, el cual proporciona procedimientos y pautas con respecto al uso y habitabilidad de las edificaciones dañadas por sismos [1]. Otra propuesta para realizar evaluaciones rápidas en estructuras nos proporciona procedimientos que permiten estimar las pérdidas económicas y los daños presentes en la estructura, y pretende disminuir los accidentes de ocupantes que insistan en habitar después del sismo [2]. Por otro lado, se contempla en una investigación dos niveles de evaluación: Evaluación rápida y Evaluación detallada, la primera evaluación permite determinar de forma inmediata la seguridad de la edificación, y la segunda es un procedimiento más a fondo en el cual se determina el nivel de daño de la infraestructura [3].

En este artículo se plantea realizar inspecciones rápidas en viviendas de albañilería confinada y su respectiva categorización (segura, habitable, de cuidado o insegura); y debido a que el desarrollo de esta evaluación varía mucho de acuerdo al criterio de cada evaluador, se propone la creación de un software que ayude a sistematizar, eliminar la incertidumbre de dicho proceso de evaluación e incrementar la rapidez con la que se realiza la inspección, según el estado de la vivienda a través del ancho de grieta en muros portantes.

En cuanto a la reparación, que es el segundo aspecto de nuestro trabajo, se involucró una técnica de reparación de un muro de albañilería confinada que consiste en encamisar el muro con mallas electrosoldadas para posteriormente ser tarrajado con mortero [4]. Por otro lado, también se plantea un reforzamiento con fibras de carbono en un muro de albañilería confinada que fue sometido a cargas laterales cíclicas [5].

Con respecto a la reparación con fibras de carbono, se propone reforzar los muros portantes con un previo sellado de la mayoría de grietas localizadas, teniendo en cuenta que el 100% del cortante de agrietamiento debe de ser asumida por la banda de fibra, obteniéndose de esta manera el número de bandas que deberán ser colocadas en el muro. A su vez, se

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.44>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

plantea el reforzamiento con malla electrosoldada, la cual es ventajosamente muy flexible y maleable; para este diseño se asumió que el refuerzo de acero deberá absorber la carga producida por el agrietamiento diagonal de la albañilería.

Finalmente, para validación se hizo un análisis estructural con un programa computacional, obteniéndose como principal resultado el aumento de la resistencia al esfuerzo de corte de 5.1 kg/cm² a 10.3 kg/cm².

II. INSPECCIÓN RÁPIDA EN EDIFICACIONES

Se basa en los niveles de riesgo de la edificación para establecer el nivel de seguridad de la vivienda en estudio. Se recomienda que la evaluación rápida no debe de ser mayor a 30 minutos por edificación. Para lograrlo se usará un aplicativo para la inspección, el cual determinará el nivel de seguridad de la vivienda siguiendo ciertos parámetros ingenieriles, teniendo en cuenta que el uso de este aplicativo se dará por un personal preparado o especializado en el área estructural.

El desarrollo de estos parámetros corresponde al ancho de las grietas principalmente en muros portantes el cual es el elemento principal de la albañilería confinada; para la medición del ancho de las grietas se basó en un ensayo de muro de albañilería el cual fue sometido a una carga lateral cíclica controlándose el desplazamiento horizontal en 10 fases subdivididas a su vez en distintos ciclos [5].

Al someter el muro a las diferentes fases se fueron formando grietas las cuales varían en ancho. De esta manera se logró obtener el grosor de grieta para cada fase, así como, su respectiva categorización (ver Tabla I), con la cual se realizará la inspección rápida.

TABLA I

CATEGORÍA DE UNA EDIFICACIÓN DE ACUERDO AL ANCHO DE GRIETAS EN MUROS PORTANTES, DONDE VERDE ES “SEGURIDAD TOTAL”, MOSTAZA ES “HABITABLE” Y ROJO ES “INSEGURA”

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grietas(mm)	0	0.2	0.4	2.5	3.0	5.0	6.0	8.0	15.0	18.0
Categoría	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Para la ejecución de la inspección se necesitarán dispositivos móviles que cumplan las características mínimas expuestas (ver Tabla II).

TABLA II

REQUISITOS TÉCNICOS QUE DEBEN CUMPLIR LOS DISPOSITIVOS MÓVILES

	Sistema operativo Android	Sistema operativo Ios
Versión	Desde 4.1 Jelly Bean en adelante	Desde 7.0 en adelante
Dispositivo	Tablets, Smartphones	Tablets y Smartphones
Características requeridas	Conexión a internet (opcional), cámara.	Conexión a internet, cámara

El proceso que sigue el uso de la aplicación es el siguiente: En la Fig. 1 y Fig. 2 se describe la edificación, se establece la ubicación, antigüedad, uso, número de ocupantes y número de pisos de la edificación.

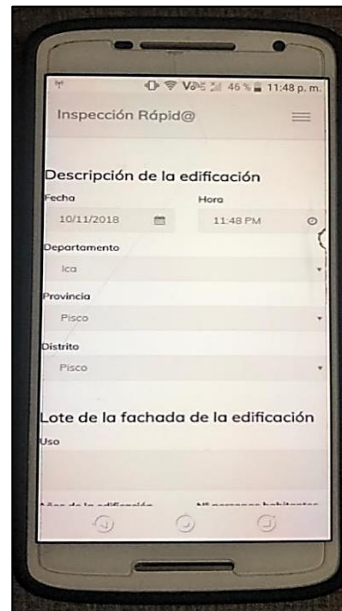


Fig. 1 Imagen tomada a un celular usando la aplicación en tiempo real, en donde se define la descripción de la vivienda en estudio



Fig. 2 Datos generales de la vivienda

En la Fig.3 y Fig. 4 se establece si es seguro o no el ingreso a la estructura, así como, el colapso parcial de muros, el máximo grosor de grieta del muro analizado, el número de muros con grietas y el número de muros portantes.



Fig. 3 Estado de la estructura



Fig. 5 Daños en columnas



Fig. 4 Identificación de grosor de grieta



Fig. 6: Daños en vigas

En la Fig. 5 se mide el grosor de grietas en las columnas obteniéndose un grosor promedio, se fija si existe pérdida de recubrimiento, presencia de acero expuesto y agrietamiento completo de la columna. Por otro lado, en la Fig. 6 se definen parámetros similares a la columna, sin embargo, en este caso se agrega la longitud de grietas que corresponden a los laterales de la viga.

Finalmente, son cuatro las posibles categorías a la que puede pertenecer la edificación según el estado en el que se encuentre, seguridad total, habitable, cuidado e insegura; para el caso de estudio se obtuvo como resultado la categoría de cuidado según la Fig. 7.



Fig. 7 Resultado final

III. MÉTODOS DE REPARACIÓN EN EDIFICACIONES

Posterior a la inspección, se procedió al levantamiento estructural de una vivienda ubicada entre la calle 28 de Julio y el pasaje Las Begonias en la provincia de Pisco, departamento de Ica. Se identificó dos niveles cuya construcción de muros portantes se realizó a base de ladrillos de albañilería artesanal cuyas características mecánicas son la resistencia a la compresión (35kg/cm^2) y el esfuerzo cortante admisible (5.1kg/cm^2).

A. Modelamiento de Edificación según el Espectro Tiempo Historia

Para el modelamiento estructural se utilizó la herramienta computacional ETABS ultimate versión 16.2.1 donde se introdujo los datos del levantamiento y las propiedades de los muros portantes principalmente. Asimismo, para determinar el espectro de respuesta que será introducido en el software, se utilizó los registros sísmicos (acelerogramas) de la estación de PCN (Parcona-Ica) del sismo de Ica 2007.

Otro factor determinante fue la existencia de dos viviendas aledañas sin juntas sísmicas, las cuales, durante el evento sísmico ocasionaron fuerzas por golpeteo a la vivienda en estudio. Estas viviendas aledañas fueron modeladas bajo los mismos parámetros sísmicos de la vivienda en estudio con el fin de obtener de la magnitud de las fuerzas de entepiso, las cuales se convierten en fuerzas externas horizontales que actúan sobre la vivienda en estudio. En la primera vivienda de 3 niveles, los resultados computacionales son en el primer nivel de 247 Tn, el segundo de 199 Tn. y el tercero de 100 Tn En la segunda vivienda de dos niveles, los resultados son el primer nivel de 156 toneladas y el segundo de 120 toneladas.

Finalmente, tras ingresar los datos pertinentes a nuestro modelo de la vivienda se identificaron 13 y 11 muros portantes en el primer nivel y segundo nivel respectivamente, los muros fueron catalogados para su identificación, cuyos resultados se muestran en la Fig. 8 para el primer nivel y la Fig. 9 para el segundo nivel.

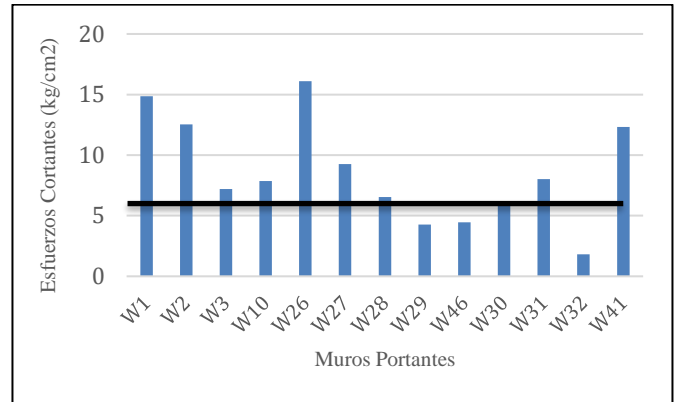


Fig. 8 Esfuerzos cortantes actuantes máximos sobre muros portantes en el primer nivel de la edificación en estado natural.

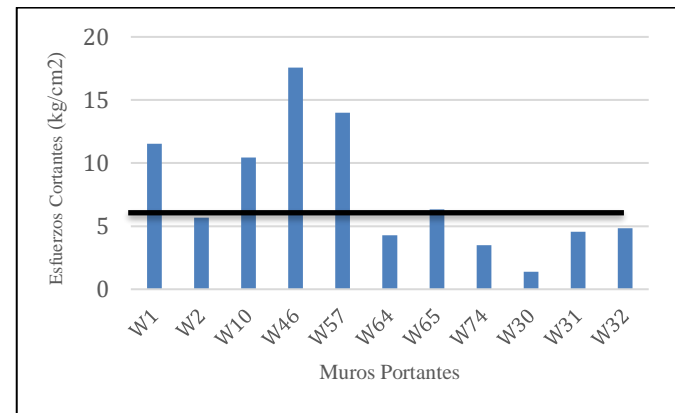


Fig. 9 Esfuerzos cortantes actuantes máximos sobre muros portantes en el segundo nivel de la edificación en estado natural.

Se puede determinar que los esfuerzos máximos sobrepasan el esfuerzo permisible de 5.1kg/cm^2 en ambos niveles, por ello se procederá a implementar métodos de reparación a los muros dañados.

B. Refuerzo por Malla Electrosoldada y Fibra de Carbono

El principal objetivo de la reparación y reforzamiento estructural de la vivienda en estudio es restablecer sus propiedades mecánicas como su resistencia, ductilidad y rigidez. Asimismo, es recomendable reparar y reforzar elementos estructurales siempre y cuando, antes del evento sísmico, se compruebe las derivas alcanzadas de la vivienda sean menores que 0.005 [6]. Para el reforzamiento de los muros dañados se utilizará malla electrosoldada de 150 mm x 150 mm de cocada y varillas de acero corrugado de 6 mm de diámetro espaciadas cada 15 o 17 cm. Tras el reforzamiento computacional con la malla electrosoldada cuya principal

propiedad es absorber el cortante de agrietamiento diagonal, se obtuvieron esfuerzos cortantes permisibles de hasta 10.3 kg/cm², incrementando así su capacidad de respuesta a las fuerzas de corte puro. Por otro lado, se reforzó mediante fibras de carbono que comúnmente es comercializado en rollos de 50 cm de ancho por 50 cm de largo y un espesor de 0.165 mm. Para el reforzamiento de la vivienda en estudio se utilizó bandas de 10 cm de ancho, los esfuerzos cortantes permisibles aumentaron entre 10 y 15 kg/cm². Los resultados computacionales tras el reforzamiento son favorables como muestra en la figura 10 que corresponde al primer nivel y en la figura 11 que corresponde al segundo nivel.

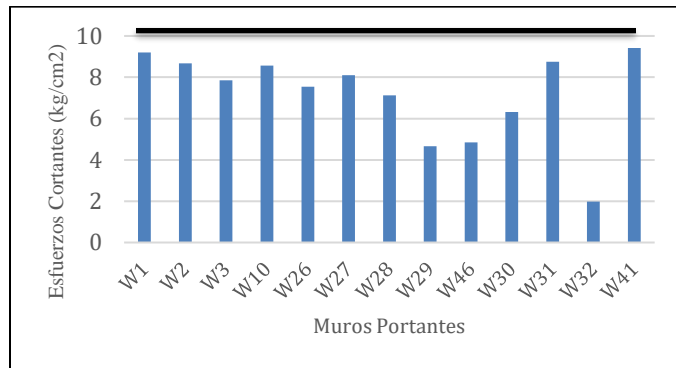


Fig. 10 Esfuerzos cortantes actuantes máximos sobre muros portantes reforzados en el primer nivel.

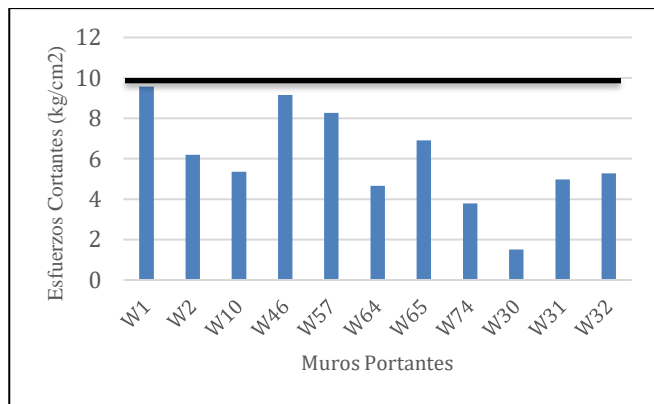


Fig. 11 Esfuerzos cortantes actuantes máximos sobre muros portantes reforzados en el segundo nivel.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha propuesto una aplicación para la inspección rápida de una vivienda con presencia de daños postsísmicos, el cual puede ser usado por cualquier persona natural sin conocimiento sobre la ingeniería estructural. Aunque la aplicación es un procedimiento preliminar de evaluación, permite determinar de manera confiable la habitabilidad o el cuidado en la vivienda después de un evento sísmico. No obstante, siempre será imprescindible realizar un estudio detallado que reporte del estado actual en el que se encuentra la vivienda y así determinar la exactitud del daño y

posibles reparos en la edificación, este análisis será llevado a cabo por un ingeniero estructural especialista.

En caso de falla postsísmica en los muros estructurales, se recomienda reparar estos muros mediante malla electrosoldada y fibra de carbono ya que incrementa la resistencia a los esfuerzos de corte. Con un ejemplo en la ciudad de Pisco (cercana al epicentro de uno de los terremotos más fuertes ocurridos en Sudamérica), se ha demostrado que los muros portantes reforzados no volverán a fallar tras un sismo moderado o severo.

Con el fin de evitar los daños que se puedan generar en las estructuras debido a eventos sísmicos, para investigaciones futuras se recomienda crear una aplicación de fácil manejo, que permita predecir si la edificación cuenta con suficiente rigidez para resistir las fuerzas de inercia en la estructura generada por las aceleraciones del suelo, esto se lograría mediante la comparación de la cortante basal en la estructura versus la cortante resistente nominal proveniente de las columnas y muros de corte.

V. REFERENCIAS

- [1] Abdun-Nur, Edward A. (1983), "Cracking of Concrete – Who Cares?," Concrete International: Design and Construction, V. 5, No. 7, Julio, pp. 27-30.
- [2] Kuroiwa, J., Salas, J. (2009). Manual para la reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería confinada dañadas por sismos. Recuperado el día 20 de Abril del 2018, de http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manuales_guias/MANUAL_AL_BA_CONFL.pdf
- [3] Rodríguez M, Castrillón E, "Manual de evaluación postsísmica de la seguridad estructural de edificaciones, basado en investigaciones realizadas para el Departamento del Distrito Federal", Series del Instituto de Ingeniería 569, ISSN 0185-2345, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, D. F., México, 57 páginas, 1995.
- [4] Plinio, Q. (2015). Comportamiento mecánico de muros de albañilería tubular confinada reforzados con malla electrosoldada ante cargas sísmicas y gravitacionales (disertación doctoral, Universidad Católica del Peru, 2015)
- [5] Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Buildings, Applied Technology Council, Redwood City, California, USA, 152 páginas, 1989.
- [6] Geeks, C. (2018). Diferencias y comportamientos de diafragmas rígidos y flexibles. Recuperado el día 02 de Enero del 2018 de: <https://civilgeeks.com/2011/08/21/diferencias-y-comportamientos-de-diafragmas-rigidos-y-flexibles/>
- [7] Evaluación postsísmica de edificaciones afectadas por terremotos, Pinto y Torres. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507551271007/507551271007.pdf>

- [8] Treviño, E., Buentello, H., González, R. (2011) rehabilitación de una estructura de concreto reforzado, severamente deteriorada por exposición a un ambiente industrial agresivo. http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_11/25.PDF
- [9] Reparación de un muro de albañilería confinada, San Bartolomé, Castro M. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2007/04/Reparaci%C3%B3n-Muro-Confinado-.pdf>
- [10] Reparación y reforzamiento de un muro de albañilería confinada mediante fibra de carbono, San Bartolomé y Coronel. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2011/08/Reparacion-fibra-de-carbono.pdf>
- [11] San Bartolomé, A & Quiun, D & Sil, W. Diseño y construcción de estructuras Sismorresistente de Albañilería, vol2, 2018.
- [12] Moreno R. (2006), “Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona” (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2006).
- [13] Yépez F. (1996), “Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación” (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 1996).
- [14] Gambarotta L., Lagomarsino S., Damage model for the seismic response of brick masonry shear walls. Part II: the continuum model and its applications, *Earthquake Engineering Structural Dynamics* Vol. 26, 441–462 (1997).
- [15] Vargas J. (2010), “The Conservation of Earthen Architectural Heritage in Seismic Areas”. 7° International Conference on Structural Analysis of Historic Constructions. SAHC 2010. Shanghai. China.
- [16] Vargas J. (2012), “EL Patrimonio Cultural en Tierra del Perú y la Influencia de los Desastres en su Historia. Una Propuesta de Conservación”. XI Conferencia Internacional sobre el Estudio y Conservación del Patrimonio Arquitectónico de Tierra. Terra 2012, Lima, Perú.
- [17] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (mvcs). (2009). manual para la reparación y reforzamiento de viviendas de albañilería confinada dañadas por sismos recuperado de <http://eird.org/publicaciones/doc18144-contenido.pdf> [consulta: 29 de abril de 2018].