

Using elastomeric insulators to measure the seismic performance in reinforced concrete structures and confined masonry

Marco Tulio Herrera Mena, Bachiller en Ingeniería Civil ¹

¹Universidad de Piura, Perú, marco.herrera@udep.pe

Abstract– Seismic insulators are widely used to improve the resistance of buildings against earthquakes, and elastomeric isolators with lead core (LRB) have been developed the most over the years. In this research, using the ETABS software package and data of five earthquakes that occurred on the coast of South America, a nonlinear time-history analysis was performed to evaluate the performance of these devices in housing buildings. In total, we worked with six structures, three of which were reinforced concrete entrance frames, while the remaining three were confined masonry. Based on the results over time, lateral displacements, mezzanine drifts, and shear force at the base, a comparison was made to evaluate the differences between the two construction systems considered herein. Our findings showed that LRB was efficient for both systems, which led to the reduction of the basal shear and increased the period to yield values that were similar for the two systems. However, the variation ratio for confined masonry was much higher than that for reinforced concrete entrance frames.

Keywords– Seismic insulators, basal shear, period, maximum drift.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.204>

ISBN: 978-0-9993443-0-9

ISSN: 2414-6390

Desempeño sísmico en estructuras aporticadas de concreto armado y de albañilería confinada utilizando aisladores elastoméricos

Marco Tulio Herrera Mena, Bachiller en Ingeniería Civil¹

¹Universidad de Piura, Perú, marco.herrera@udep.pe

Resumen– Los aisladores sísmicos son muy utilizados para mejorar el desempeño de las edificaciones frente a terremotos y los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) son los dispositivos que más desarrollo han tenido a lo largo de los años. En este trabajo de investigación, utilizando el software ETABS y con los datos de cinco sismos ocurridos en la costa sudamericana, se realizó un análisis tiempo historia no lineal para evaluar el desempeño de estos dispositivos en edificaciones destinadas para vivienda. En total se trabajó con seis estructuras, tres de pórticos de concreto armado y tres de albañilería confinada. Con los resultados del periodo, desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y fuerza cortante en la base, se efectuó una comparación para evaluar las diferencias entre los dos sistemas constructivos considerados. Las conclusiones mostraron que los LRB son eficientes para ambos sistemas, reduciendo la cortante basal e incrementando el periodo a valores similares para los dos sistemas. Sin embargo, el ratio de variación es mucho mayor para la albañilería confinada.

Palabras claves: Aisladores sísmicos, cortante basal, periodo, deriva máxima.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando una estructura se somete a un evento significativo de terremoto, esto puede dar lugar a importantes pérdidas económicas directas (es decir, sustitución / reparación), pérdidas económicas indirectas (es decir, interrupción) y tragedias humanas (lesiones / pérdida de la vida). Actualmente, una de las formas más eficaces de reducir la demanda sísmica en una estructura es a través del aislamiento sísmico [1].

El aislamiento de vibraciones es una estrategia de diseño basada en la premisa que un objeto puede ser desacoplado o aislado de las perturbaciones externas, protegiendo así al objeto de efectos dañinos. [2]

En el caso de una edificación, para mejorar el comportamiento de la estructura los aisladores incrementan el valor del periodo fundamental y limitan el valor de la fuerza cortante en la base. El nuevo período del modo de vibración fundamental se encuentra en la parte baja del espectro de respuesta de diseño y la cortante basal de la estructura se reduce con respecto a la cortante generada en una estructura de base fija [3]. Disminuyendo el valor de la cortante basal, todas las fuerzas sísmicas aplicadas en cada piso también decrecerán. Esto puede ser de mucha utilidad debido a que las estructuras

de baja altura normalmente tienen periodos muy bajos, y por ende una alta rigidez.

Existen dos tipos de aisladores elastoméricos que se encuentran más desarrollados, que son los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento LRD, y los aisladores elastoméricos con un núcleo de plomo LRB. El comportamiento de ambos dispositivos es muy similar, puesto que el núcleo de plomo no incrementa la rigidez del dispositivo, sin embargo, si proporciona un amortiguamiento más alto. [4]

Los LRB se componen de una serie de caucho y capas de acero (Figura 1), que se vulcanizan en conjunto a una temperatura muy alta. Debido a la presencia de las placas de acero, se limita la deformación horizontal y además se obtiene una rigidez vertical muy alta. Asimismo, debido a la baja rigidez en la dirección horizontal y buena capacidad de deformación del caucho, el aislador puede tener una gran deformación en la dirección horizontal mientras soporta la presión. Esto prolongará el periodo del edificio aislado y luego reducir la fuerza aplicada a la estructura durante un terremoto. [5]

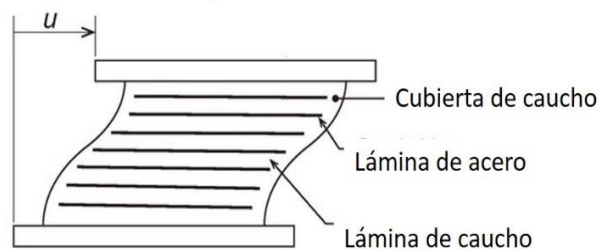


Fig. 1 Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) [6]

En la actualidad, los aisladores elastoméricos son muy utilizados en estructuras de gran importancia. Se han realizado estudios sobre el comportamiento de las estructuras en edificaciones destinadas para escuelas, oficinas, industrias, centros comerciales, universidades; como lo hicieron [3] y [7]. Sin embargo, es común que en una ciudad la mayor parte de edificaciones estén destinadas a viviendas unifamiliares de no más de cuatro pisos de altura y con poca área en planta. Las cuales tienen un comportamiento muy distinto al resto de estructuras. El comportamiento de los aisladores sísmicos se puede resumir en una protección de las estructuras frente a

fuertes terremotos a través de una reducción de rigidez y un incremento del amortiguamiento [7]. Y dado que las estructuras de vivienda poseen una rigidez mayor, se espera que tengan un buen comportamiento.

Debido a razones económicas y por poseer menos complejidades constructivas, los sistemas constructivos más utilizados en vivienda son la albañilería confinada y los pórticos de concreto armado. Por lo tanto, se evalúa la influencia de los aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento con núcleo de plomo en el desempeño sísmico de estructuras de viviendas construidas con ambos sistemas constructivos. Se espera encontrar diferencias en la influencia de los LRB cuando se utiliza en cada uno de los sistemas constructivos.

II. METODOLOGÍA

A. Estructuras escogidas

Se han trabajado con tres edificaciones típicas que están destinadas para viviendas unifamiliares. Tienen dos, tres y cuatro pisos de altura respectivamente, cada una con una altura constante de entrepiso de 2.7 metros y con la misma distribución en planta. Cada modelo ha sido diseñado utilizando dos sistemas constructivos: albañilería confinada y pórticos de concreto armado, teniendo en total seis estructuras, tres de albañilería y tres aporticadas. En la Tabla I se muestran las propiedades geométricas de los seis modelos. En la Figura 2 y en la Figura 3 se presenta la vista en planta de las estructuras aporticadas y de albañilería confinada respectivamente. En esta última se aprecia la distribución de los muros.

TABLA I
DETALLES DE LOS MODELOS

Modelo	Pisos	Altura (m)	Esbeltez (adimensional)	Sistema
G1.M1	2	5.40	0.50	Aporticado
G1.M2	3	8.10	0.75	Aporticado
G1.M3	4	10.80	1.00	Aporticado
G2.M1	2	5.40	0.50	Confinado
G2.M2	3	8.10	0.75	Confinado
G2.M3	4	10.80	1.00	Confinado

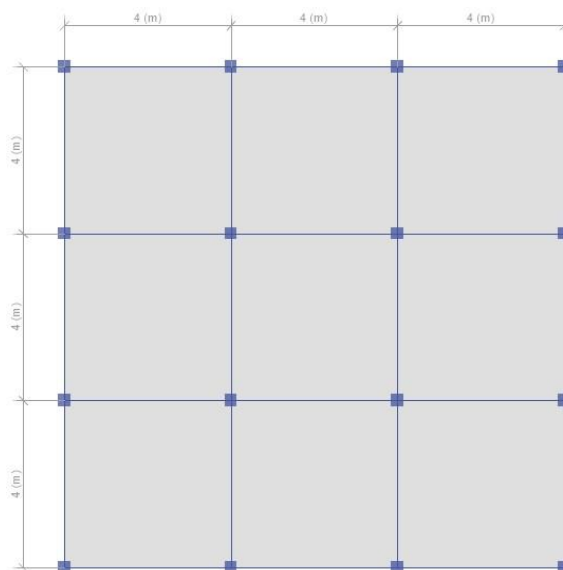


Fig. 2 Vista en planta modelos G1.M1, G1.M2, G1.M3.

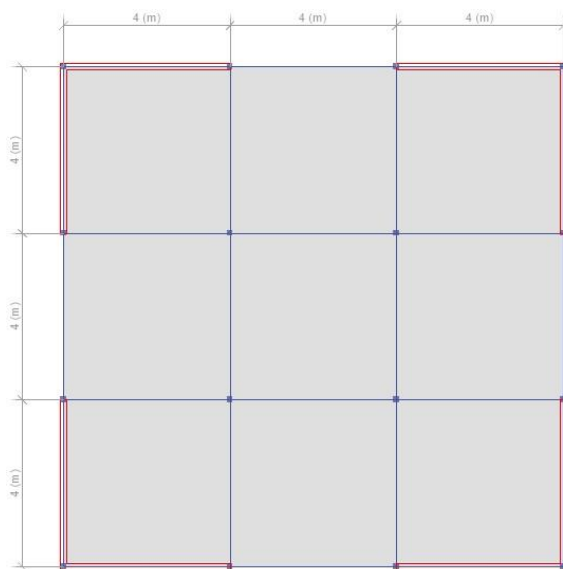


Fig. 3 Vista en planta modelos G2.M1, G2.M2, G2.M3.

B. Diseño de los LRB

Para el diseño de los LRB se usaron las formulaciones propuestas por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) [8], utilizando un procedimiento iterativo en donde se propone un valor de período del sistema aislado y un valor de amortiguamiento efectivo para iniciar los cálculos. El propósito es determinar el área neta de caucho, que se obtiene con la Ecuación 1. El área obtenida debe garantizar que cada aislador pueda resistir las cargas provenientes de la estructura sin deformarse verticalmente.

$$\text{Área neta} = \frac{P_{u,m\acute{a}x}}{\sigma_{m\acute{a}x perm}} \quad (1)$$

$P_{u,máx}$ es la carga que recibe cada aislador y se obtiene a partir de la combinación de carga vertical 1.25CM+1.25CV. El esfuerzo axial permisible $\sigma_{máx perm}$ está especificado en las características del aislador o se puede tomar como valor referencial 815 t/m² [9], correspondiente a la resistencia del caucho.

Asimismo, el comportamiento de los aisladores se puede idealizar de una forma bilineal [6], tal como en la Figura 4.

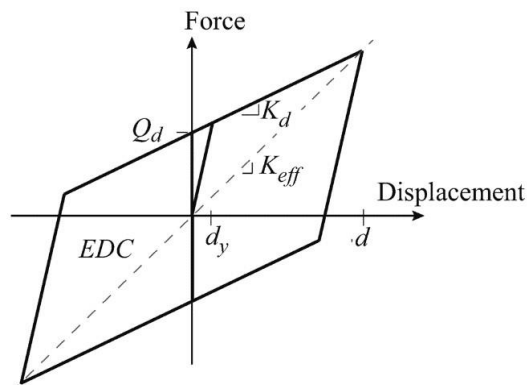


Fig. 4 Gráfico fuerza vs desplazamiento característico de un aislador elastomérico. [6]

Donde el parámetro K_d , que se obtiene con la Ecuación 2:

$$K_d = \frac{\text{Área neta caucho} * G}{H_i} = \frac{\pi * (D_i^2 - D_p^2) * G}{4 * H_i} \quad (2)$$

donde H_i es la altura neta de caucho, D_i es el diámetro del aislador, D_p es el diámetro del núcleo de plomo y G es el módulo de corte del caucho cuyo valor se aproxima a 54 t/m² para propósitos de diseño. El procedimiento iterativo culmina con la elección de un tipo de aislador con dimensiones comerciales muy cercanas a las requeridas. Asimismo, el amortiguamiento efectivo β_{eff} se calcula con la Ecuación 3 de [8].

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} * \frac{E_{loop}}{K_{eff} * (2d)^2} \quad (3)$$

donde E_{loop} , es la energía disipada en un ciclo de carga y descarga y K_{eff} , es la rigidez efectiva calculada para el desplazamiento lateral máximo d .

Luego de efectuar el diseño utilizando las recomendaciones y formulaciones de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) [8], se obtuvieron las características y propiedades de los aisladores elastoméricos que serán utilizados. Las cuales, deberán ser colocadas en el software ETABS para una correcta modelación. Las propiedades se muestran en la Tabla II.

TABLA II
PROPIEDADES DE LOS AISLADORES UTILIZADOS

Propiedad	Modelo G1.M1; G2.M1 (2 pisos)	Modelo G1.M2; G2.M2 (3 pisos)	Modelo G1.M3; G2.M3 (4 pisos)
Diámetro del aislador (m)	0.305	0.305	0.35
Diámetro del núcleo de plomo (m)	0.05	0.05	0.06
Altura efectiva de caucho (m)	0.24	0.21	0.21
Rigidez lateral (KN/m)	160	180	240
Fuerza Qd (KN)	20	20	30
Rigidez efectiva (KN/m)	260	280	380
Rigidez Vertical (KN/m)	138000	190000	280000

C. Análisis tiempo-historia

El análisis tiempo-historia se realizó utilizando el software ETABS, dado que en este programa se puede representar de mejor manera ambos sistemas constructivos, albañilería confinada y aporticado. Para el análisis, tal como dice [10], se han tomado en cuenta cinco sismos reales ocurridos en la costa sudamericana, que fueron aplicados a la base de cada modelo con la finalidad de evaluar la respuesta de cada estructura ante eventos sísmicos de magnitud considerable. De la Figura 5 a la Figura 9 se presentan los registros sísmicos usados en este trabajo. Los cuales corresponden a sismos ocurridos en Pisco, Piura, Tarapacá, Huánuco e Ica. (Zona del cinturón de fuego del pacífico).

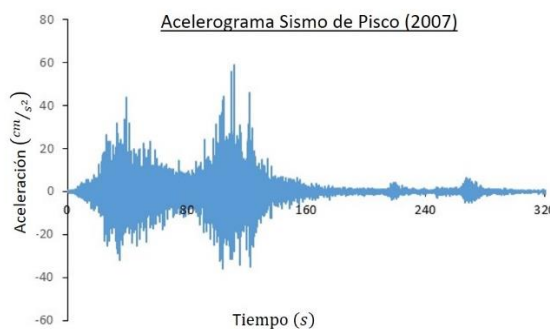


Fig. 5 Acelerograma sísmico de Pisco

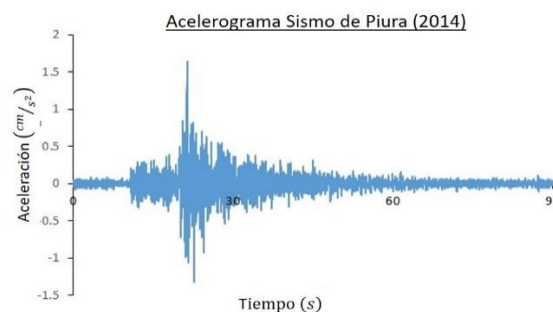


Fig. 6 Acelerograma sísmico de Piura

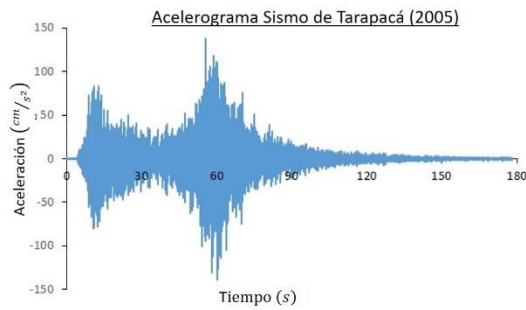


Fig. 7 Acelerograma sismo de Tarapacá

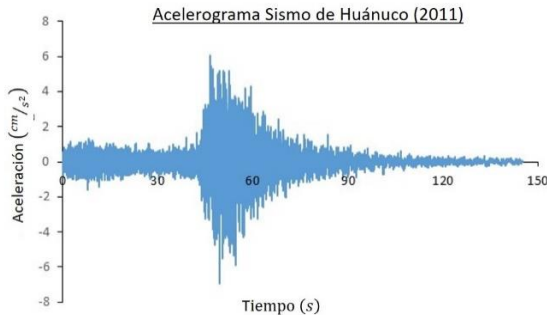


Fig. 8 Acelerograma sismo de Huánuco

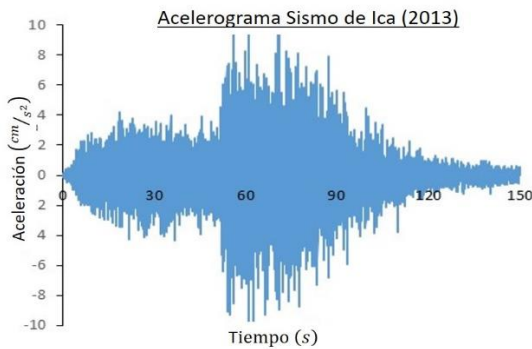


Fig. 9 Acelerograma sismo de Ica

III. RESULTADOS

A. Período

El primer parámetro obtenido del ETABS fue el período del modo fundamental de las estructuras. Su valor sirve para estimar los cambios en la rigidez al implementar los aisladores elastoméricos. En las Tablas III y IV se muestran los valores del período fundamental para cada modelo. Asimismo, en la Figura 10 se presenta la relación entre el período de los modelos con aisladores y sin aisladores. Cabe indicar que, dado que se espera que aisladores incrementen notablemente el período de la estructura, no se recomienda el uso de estos dispositivos en estructuras apoyadas sobre suelos blandos.

TABLA III
PERÍODOS FUNDAMENTALES EN LOS MODELOS DE PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO

Modelo	Período sin aisladores (s)	Período con aisladores (s)
G1.M1	0.36	1.48
G1.M2	0.52	1.78
G1.M3	0.76	2.02

TABLA IV
PERÍODOS FUNDAMENTALES EN LOS MODELOS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Modelo	Período sin aisladores (s)	Período con aisladores (s)
G1.M1	0.13	1.45
G1.M2	0.18	1.73
G1.M3	0.28	1.85

Los resultados muestran que los aisladores incrementan sustancialmente el valor del período de la estructura, disminuyendo considerablemente la rigidez de la misma. Sin embargo, observando la Figura 10 se aprecia que el incremento del período es mucho mayor en las estructuras de albañilería confinada. Ese incremento del período refleja una mejora en el comportamiento, dado que disminuyen las aceleraciones sísmicas y las fuerzas que ingresan al sistema. Por lo tanto, se espera un menor daño.

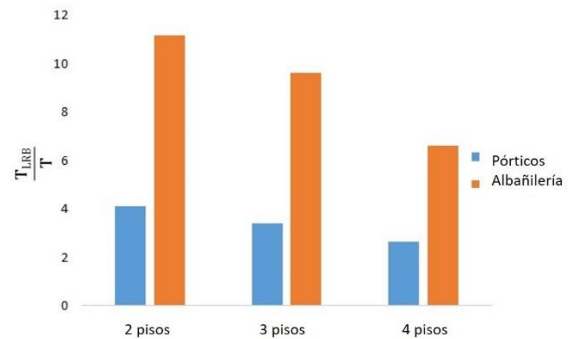


Fig. 10 Relación entre período con aisladores y sin aisladores

B. Deriva máxima de entrepiso

Según la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) [8] y la Asociación de Ingenieros Estructurales de California [11], un parámetro esencial para medir el desempeño sísmico es la deriva máxima de entrepiso. Asimismo, se sabe que el daño en la estructura está directamente relacionado con los desplazamientos laterales [10]. Es por eso que en las estructuras flexibles, a pesar de tener bajas aceleraciones, los desplazamientos laterales excesivos pueden ocasionar daños en los elementos estructuras y no estructurales. Dado esto, será necesario controlar los desplazamientos horizontales, y se espera que con la adición de los LRB se logre reducir considerablemente el valor de las derivas de entrepiso. De la Figura 11 a la Figura 16 se presentan los valores de las derivas

máximas de entrepiso obtenidas en cada uno de los modelos para cada uno de los sismos aplicados. En las figuras, las líneas punteadas representan las derivas cuando se utilizan LRB.

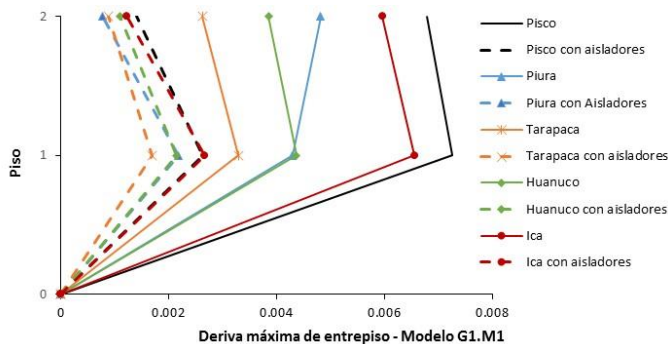


Fig. 11 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G1.M1

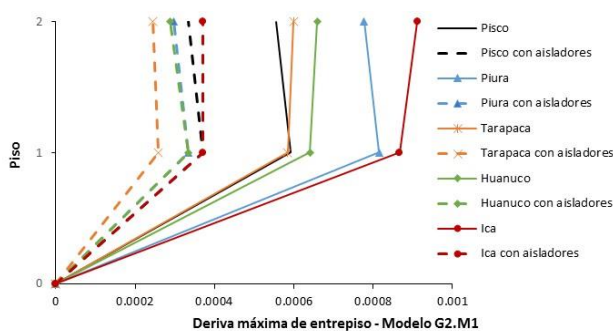


Fig. 12 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G2.M1

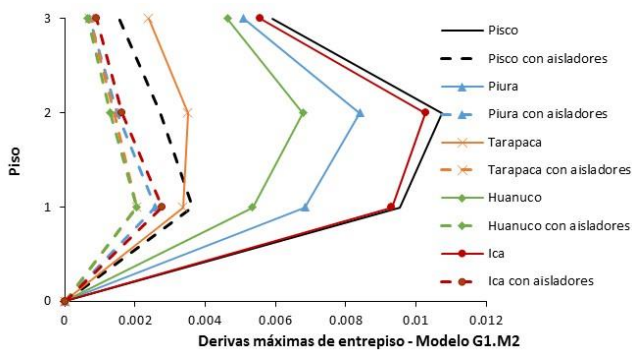


Fig. 13 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G1.M2

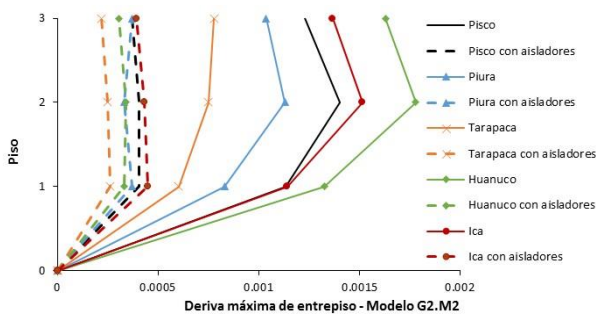


Fig. 14 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G2.M2

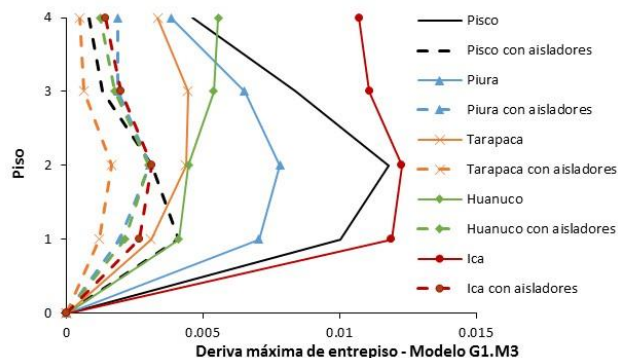


Fig. 15 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G1.M3

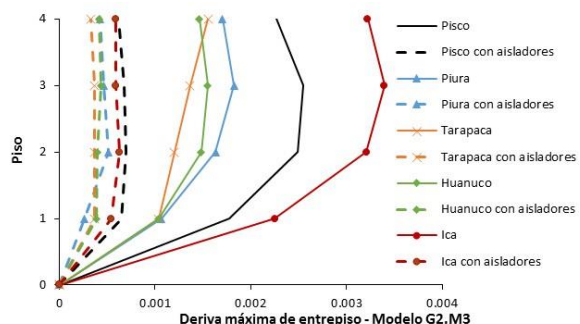


Fig. 16 Deriva máxima de entrepiso – Modelo G2.M3

Luego de observar las figuras se deduce que, tanto en edificaciones aporricadas y de albañilería confinada, la deriva se redujo considerablemente para todos los sismos aplicados. Dado que la deriva de entrepiso está relacionada con el daño en la estructura [8], al disminuirse su valor, la estructura sufrirá menos daños, mejorando su desempeño sísmico.

Con la finalidad de poder cuantificar la reducción de la deriva máxima de entrepiso, para cada uno de los seis modelos analizados se calculó la relación entre la deriva máxima con aisladores y deriva máxima sin aisladores, de esta forma se podrán comparar los seis modelos entre sí. Para esto se promedió el ratio de cada uno de los cinco sismos aplicados a cada modelo y se presenta en la Figura 17.

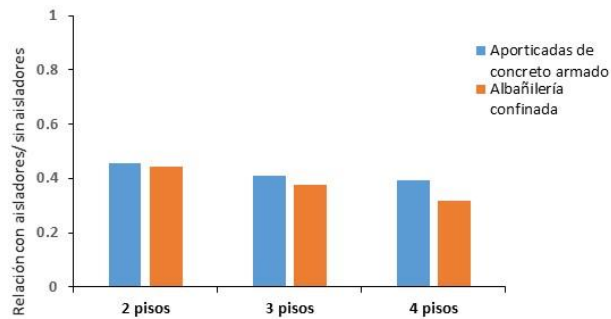


Fig. 17 Relación promedio deriva máxima con aisladores/ deriva máxima sin aisladores

Se espera que con el uso de los aisladores el ratio sea lo menor posible, y tal como aprecia en las figura, la deriva máxima de entrepiso se reduce en proporciones muy similares en ambos sistemas. No obstante, se aprecia un comportamiento ligeramente mejor por parte de las estructuras de albañilería confinada, dado que su ratio entre la deriva máxima con y sin aisladores, es levemente menor.

C. Cortante basal máxima

El siguiente parámetro obtenido fue la cortante basal, que es importante para obtener la magnitud de las fuerzas internas que se desarrollan en los elementos estructurales. Cuando este parámetro es menor, las fuerzas internas en los elementos estructurales serán menores.

Dado que las estructuras tienen un valor bajo de esbeltez y un bajo periodo fundamental, se espera encontrar un gran desempeño en la reducción de la cortante máxima en la base. De la Figura 18 a la Figura 23 se muestran las cortantes basales sin y con LRB para cada modelo. Se utilizó el software ETABS para la obtención de los valores de cortante basal máxima ocasionada por cada uno de los cinco sismos utilizados.

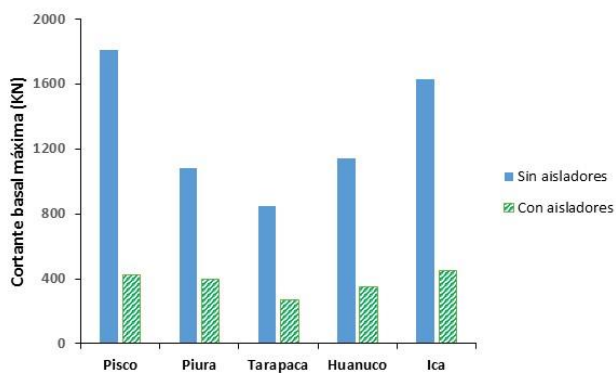


Fig. 18 Cortante basal máxima- Modelo G1.M1

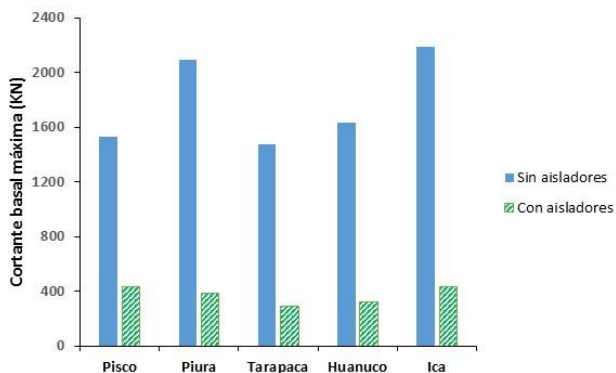


Fig. 19 Cortante basal máxima- Modelo G2.M1

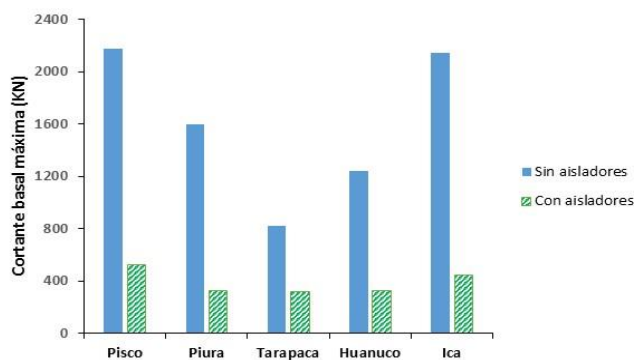


Fig. 20 Cortante basal máxima- Modelo G1.M2

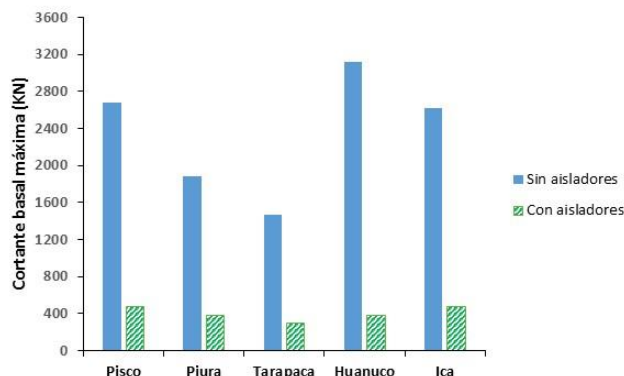


Fig. 21 Cortante basal máxima- Modelo G2.M2

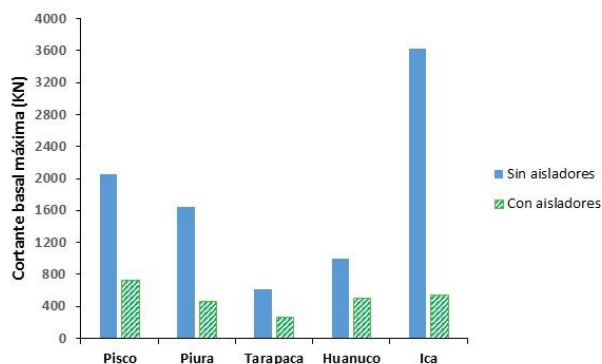


Fig. 22 Cortante basal máxima- Modelo G1.M3

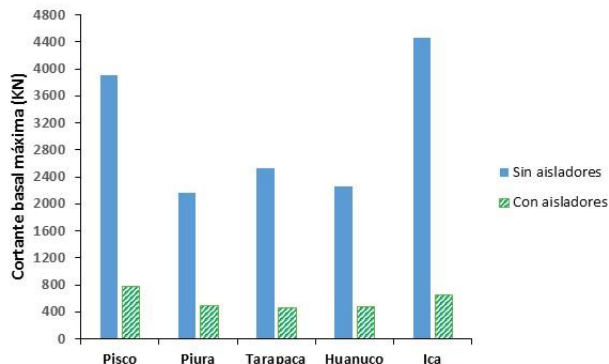


Fig. 23 Cortante basal máxima- Modelo G2.M3

Las gráficas demuestran que los LRB disminuyen considerablemente los valores de la cortante basal máxima, tanto en edificaciones de albañilería confinada como de pórticos de concreto armado. Asimismo, al usar LRB se obtienen valores similares de cortante basal máxima para los modelos con igual tamaño, sin importar que tengan distinto sistema constructivo. Esto ocurre porque la cortante basal máxima dependerá de las propiedades de los LRB más que del sistema constructivo utilizado.

De la misma manera que para la deriva máxima de entrepiso, se calculó la relación entre la cortante basal máxima que tienen los modelos al utilizar aisladores elastoméricos. Se promediaron los valores de los cinco sismos aplicados en cada uno de los modelos. Finalmente, estos se presentan en la Figura 24.

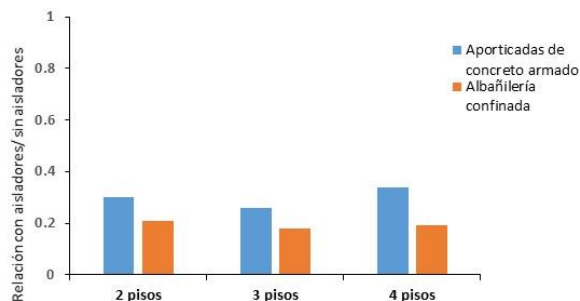


Fig. 24 Relación promedio cortante basal máxima con aisladores/sin aisladores

Como se aprecia en la figura, para ambos sistemas el ratio se encuentra por debajo de 0.4, por lo tanto, al cortante basal se reduce como mínimo en un 60% en todos los casos. Asimismo, se aprecia que la reducción siempre es mayor en los modelos de albañilería confinada. Esto refleja que los modelos con este sistema constructivo mejoran mucho más su comportamiento en relación a su comportamiento sin aisladores.

IV. CONCLUSIONES

El análisis tiempo-historia realizado a los seis modelos utilizando el ETABS, permitió realizar una comparación entre la eficiencia de los LRB en viviendas de pórticos de concreto armado y albañilería confinada, llegando a las siguientes conclusiones:

Los aisladores LRB flexibilizan la estructura, reflejando un incremento en el valor del periodo de cada modelo. Tanto en estructuras aporticadas y de albañilería confinada el periodo con LRB resulta el mismo valor. Sin embargo, dado que el periodo original de las estructuras con albañilería confinada es mucho menor que el periodo original de los modelos aporticados, el incremento para el sistema de albañilería es mucho más notorio y se genera una mayor flexibilización en las estructuras.

Las derivas máximas de entrepiso se redujeron en igual magnitud en ambos sistemas al usar LRB. Esto significa que, si

se evalúa solamente este parámetro, será indiferente si se utilizan aisladores en viviendas de albañilería confinada o aporticadas de concreto armado.

La reducción de la cortante basal usando los LRB fue mucho más evidente en las edificaciones de albañilería confinada, mostrando un mejor comportamiento. Asimismo, dado que el sistema de albañilería tiene una menor resistencia en comparación al sistema de concreto armado, cuando se trabaja con albañilería se debe tener un mayor control de las fuerzas sísmicas en la estructura. Por lo tanto, el uso de LRB prevendrá problemas en los muros de corte que conforman el sistema estructural.

Teniendo en cuenta las tres conclusiones mencionadas anteriormente, se puede reafirmar que los LRB tienen un mejor desempeño sísmico en estructuras de albañilería confinada en comparación a estructuras aporticadas. Esto para estructuras de poca altura y esbeltez, que son el tipo de edificación más utilizada para vivienda.

REFERENCIAS

- [1] Yasser M. Al-Anany, Michael J. Tait (2015): "A numerical study on the compressive and rotational behavior of fiber reinforced elastomeric isolator (FREI)". McMaster University, Canada.
- [2] P. Scott Harvey, Karah C. Kelly (2016): "A review of rolling-type seismic isolation: Historical development and future directions". Duke University, USA.
- [3] D. Cancellara, F. De Angelis (2016): "A base isolation system for structures subject to extreme seismic events characterized by anomalous values of intensity and frequency content" University of Naples Federico II, Italy.
- [4] Manish Kumar, Andrew S. Whittaker, Michael C. Constantinou (2015): "Experimental investigation of cavitation in elastomeric seismic isolation bearings". University of Buffalo, USA.
- [5] Chao-yong Shen, Ping Tan, Jie Cui, Yu-hong Ma, Xiang-yun Huang (2016): "Critical tension-shear load of elastomeric seismic isolators: An experimental perspective". Guangzhou University, China.
- [6] Gordon P. Warn, Keri L. Ryan (2012): "A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs"
- [7] Cenk Alhan, Henri Gavin (2003): "A parametric study of linear and non-linear passively damped seismic isolation systems for buildings". Duke University, USA.
- [8] Federal Emergency Management Agency 274 (1994), "Nerhp guidelines for the Seismic rehabilitation of buildings". Chapter 9.
- [9] Dynamic Isolation Systems (2007): "Aislamiento sísmico para edificaciones y puentes"
- [10] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016): "Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente".
- [11] SEAOC. Vision 2000: Performance based seismic engineering of buildings, vols. I and II: Conceptual framework. Sacramento (CA): Structural Engineers Association of California, 1995.