

## Manufactura y caracterización de aisladores sísmicos con placas de acero y deformación vertical controlada

G. Gioacchini (1), M. Tornello (2), M. Zevallos (3), J. Rodriguez (4)

- (1) *Phd, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza, [ggioaccini@frm.utn.edu.ar](mailto:ggioaccini@frm.utn.edu.ar)*  
(2) *Phd, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, [miquel.tornello@docentes.frm.utn.edu.ar](mailto:miquel.tornello@docentes.frm.utn.edu.ar)*  
(3) *Magister, Universidad de Portoviejo, Ecuador, [marcoszevallos66@yahoo.com](mailto:marcoszevallos66@yahoo.com)*  
(4) *Magister, Universidad de Portoviejo, Ecuador, [jorgepalacios\\_54@hotmail.com](mailto:jorgepalacios_54@hotmail.com)*

### Resumen

Los efectos de terremotos importantes, ocurridos en distintas regiones sísmicas del mundo, han mostrado que el empleo de técnicas de protección sísmica es una estrategia eficiente para controlar el daño, la seguridad de vida y contenidos. Basado en esos antecedentes, el uso de dichas técnicas ha tenido un incremento importante en las últimas décadas en distintos países sísmicos del mundo, entre ellos, algunos de Latinoamérica. Para tener acceso a distintos dispositivos de protección sísmica estos países, generalmente deben importar los dispositivos con el consecuente impacto económico que ello representa. Los dispositivos importados de protección sísmica poseen una amortización razonable en proyectos de gran envergadura, pero eso no sucede para proyectos menores, situación que desalienta su uso. El trabajo describe el diseño y manufactura de un aislador elastomérico reforzados con placas de acero y núcleo de plomo, para deformación vertical controlada, utilizando materiales y tecnología local con el objeto de facilitar, desde el punto de vista económico, el empleo de la técnica de protección sísmica en una mayor cantidad de proyectos. Además, se describe la caracterización de los dispositivos a través de ensayos de laboratorios. Los resultados obtenidos indican que los principales parámetros que caracterizan a los aisladores, se encuentran dentro de los rangos que poseen los dispositivos que tienen sus propias patentes. Se ha comprobado, además, un comportamiento adecuado de los dispositivos tanto en términos de fabricación, como de respuesta sísmica.

*Palabras-Clave: protección sísmica, aislamiento sísmico, manufactura de dispositivos.*

### Abstract

The effects of major earthquakes, which occurred in different seismic regions of the world, have shown that the use of seismic protection techniques is an efficient strategy to control damage, safety of life and contents. Based on this background, the use of these techniques has had a significant increase in recent decades in different seismic countries of the world, including some in Latin America. In order to have access to different seismic protection devices, these countries generally must import the devices with the consequent economic impact that this represents. Imported seismic protection devices have a reasonable amortization in large-scale projects, but this does not happen for smaller projects, a situation that discourages their use. The paper describes the design and manufacture of an elastomeric isolation device reinforced with steel plates and a lead core, for controlled vertical deformation, using local materials and technology in order to facilitate, from the economic point of view, the use of the technique of seismic protection in a larger number of projects. In addition, the characterization of the devices through laboratory are described. The results obtained indicate that the main parameters that characterize of the isolation device are within the ranges of the devices that have their own patents. In addition, adequate behavior of the devices has been verified, both in terms of manufacturing and seismic response.

*Keywords: seismic protection, seismic isolations, device manufacturing.*

## 1. Introducción

La ingeniería sísmica ha focalizado su esfuerzo a lo largo de los años en el diseño de sistemas estructurales resistentes a terremotos. Las técnicas convencionales de protección sísmica en edificaciones apuntan a garantizar la seguridad de sus ocupantes, evitando la pérdida de vidas humanas. Para ello, buscan impedir el colapso de una estructura durante un evento sísmico, permitiendo la disipación de energía mediante la aceptación de un nivel de daño controlado. Este grado de desempeño ocasiona grandes pérdidas económicas, asociadas a la operatividad posterior del edificio y el daño de sus componentes no estructurales [1].

El valor de los componentes no estructurales en un edificio comercial típico, representa entre el 80 y el 90% del costo total de un edificio, superando ampliamente el valor de los componentes estructurales. En virtud de lo anterior, y del hecho de que el daño no estructural ocurre a niveles de intensidad sísmica menores a los necesarios para ocasionar daño estructural, se espera que la mayor parte de las pérdidas económicas resultantes de un sismo importante sean atribuibles no sólo al daño estructural sino también al no estructural. Por ejemplo, el terremoto de Northridge en 1994 ocasionó pérdidas por más de 3400 millones de dólares en hospitales, y la mayor parte de esa cifra se debió al daño no estructural [2]. Una descripción detallada de daños en componentes no estructurales durante distintos eventos sísmicos puede encontrarse en [3].

Para instalaciones críticas, como hospitales, centros de operaciones de emergencia y estaciones de policía y bomberos, la funcionalidad continua, durante y después del evento sísmico, es de suma importancia, y para ello es fundamental el resguardo de los elementos no estructurales. Por ejemplo, en el terremoto de El Salvador en 2001, la pérdida de funcionalidad del sistema de salud se debió principalmente al daño de elementos no estructurales, equipos médicos y suministros [4]. También se registró interrupción de la funcionalidad del Hospital de la Universidad de Tohoku, debido a daños en componentes no estructurales, después del terremoto de Japón en 2011, [5].

Durante un terremoto, los equipos y componentes ubicados en distintos niveles del edificio pueden vibrar, colapsar, soltarse de sus dispositivos de sujeción, deslizarse, balancearse, saltar, torcerse, volcar, caerse, impactar contra otros componentes, personas o paredes vecinas, o incluso moverse hasta obstruir vías de evacuación [6]. La respuesta sísmica de los objetos independientes ha sido ampliamente estudiada, destacándose, según el tipo de objeto y la superficie de apoyo, dos modos de respuesta fundamentales: el balanceo o rocking [7] y el deslizamiento o sliding [8]. Para verificar la respuesta de estos objetos, también se han realizado ensayos experimentales a escala en mesa vibradora [9].

El aislamiento sísmico es una técnica de diseño para mitigar el daño de un terremoto. A diferencia del enfoque tradicional, cuyo objetivo es aumentar la capacidad de la estructura, el aislamiento sísmico busca reducir la demanda sísmica, protegiendo tanto el sistema estructural como los componentes no estructurales. Esto se logra desacoplando el edificio del movimiento del suelo, mediante la colocación de dispositivos con baja rigidez lateral entre la fundación y la superestructura. De este modo, el período fundamental del sistema aumenta, y la deriva y las aceleraciones de piso disminuyen. Esto ha sido verificado en numerosos estudios, algunos de ellos en modelos a escala real [10].

La primera aplicación de aislamiento sísmico en Chile se plasmó el año 1992, con la construcción de un edificio aislado sísmicamente en la Comunidad Andalucía, Comuna de Santiago [11]. Consiste en un edificio de hormigón armado y albañilería confinada de 4 pisos sostenido por 8 aisladores de goma

natural reforzada de alto amortiguamiento. Tanto la goma como los aisladores fueron desarrollados en la Universidad de Chile y fabricados en una industria local. Este edificio, junto a otro gemelo sin sistema de aislamiento, ha sido monitoreado en forma permanente mediante una red de acelerómetros, obteniéndose invaluable información sobre el comportamiento de los edificios. Entre ellos se encuentra el terremoto del Maule del 27-02-2010 donde, las aceleraciones máximas a nivel de techo fueron, en dirección longitudinal, la quinta parte en el edificio aislado de las registradas en la misma ubicación en el edificio de base fija.

Trabajos previos realizados en la línea de la presente investigación [12] permitieron verificar la calidad de los materiales y la fabricación de los dispositivos a pesar de que el procedimiento fue realizado totalmente artesanal. Los ensayos realizados en los prototipos a cargas horizontales y verticales permitieron alcanzar los valores máximos de desplazamientos laterales sin ningún tipo de falla en los dispositivos. La rigidez efectiva de los dispositivos no evidenciaron una significativa degradación cuando se incrementa la carga vertical y horizontal. El amortiguamiento efectivo que se obtuvo fueron aceptables, del orden del 10% al 20% similar a un dispositivo elastomérico comercializado con sus propias patentes.

Los dispositivos de aislamiento que hoy existen comercialmente podrían utilizarse localmente, los mismos tienen algunos inconvenientes para su inmediata implementación situación que desalienta su uso especialmente porque deben importarse. Debido entonces a los antecedentes, el presente trabajo propone como objetivo el diseño, fabricación y ensayos a cargas verticales de aisladores elastoméricos reforzados con placas de aceros y núcleos de plomo utilizando materiales y tecnología local.

El trabajo muestra el grado de avance del diseño de los dispositivos que en esta etapa incluye, diseño preliminar, fabricación, ensayos a cargas verticales y comparación de los resultados obtenidos experimentalmente con los de un modelo numérico. Trabajos posteriores pretenden determinar las leyes constitutivas de los dispositivos para cargas horizontales y verticales.

## **2. Metodología empleada**

### **2.1 Diseño de los dispositivos**

Con el objeto de obtener la caracterización geométrica y propiedades mecánicas del dispositivo de aislamiento se ha realizado un pre diseño del aislador elastomérico, utilizando la teoría clásica de estructuras aisladas [13].

Las propiedades de la goma que se emplearon para la construcción del aislador, están en función de los compuestos utilizados para la fabricación de los mismos, de acuerdo a las cantidades de los componentes como son, el neopreno, el óxido de zinc, el ácido esteárico, el negro humo, el dutrex, el vulcanox, el antilux, el azufre y PVI, entre otros, es posible obtener diferentes propiedades mecánicas de la goma. Las especificaciones del compuesto de base para la fabricación de los dispositivos, pueden considerarse dentro de los siguientes parámetros: Dureza: [Shore] 60 +/- 10; Tensión Máxima: > 17 [MPa]; Elongación Máxima: > 400 %; Amortiguamiento > 8 %; Modulo de Corte:  $0,7 \% < G < 0,8$  [MPa], [12]. Las propiedades geométricas de los dispositivos se presentan en las Fig. 1 y 2.

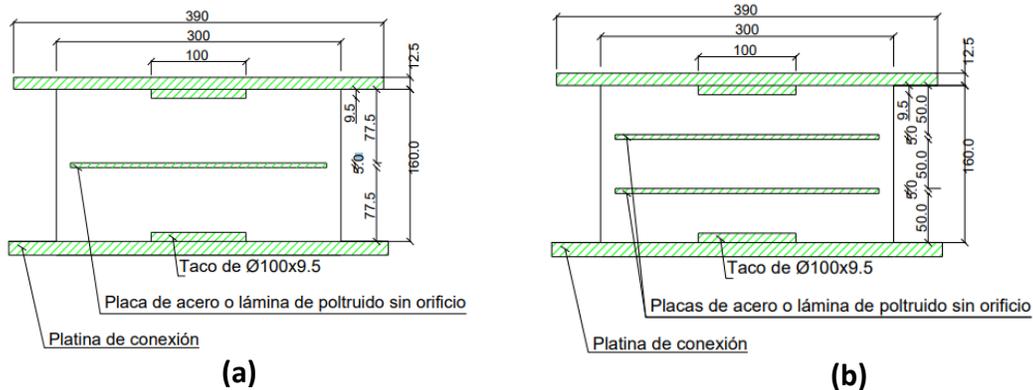


Fig. 1 – Características geométricas de los aisladores de la primera y segunda serie

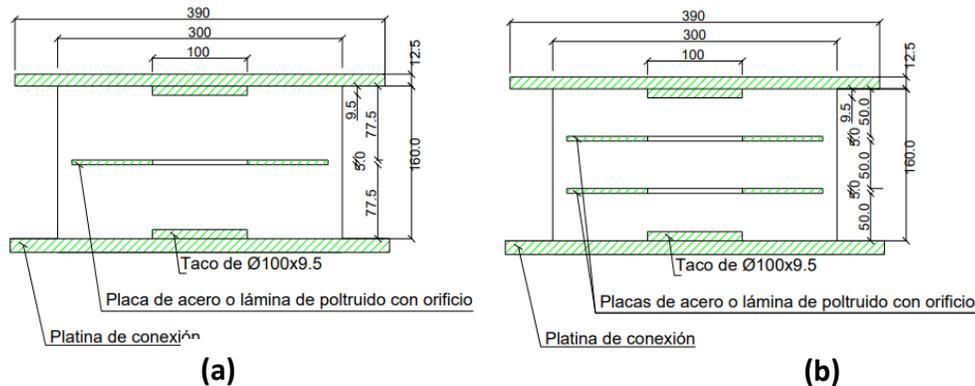


Fig. 2 – Características geométricas de los aisladores de la tercera y cuarta serie

Los prototipos están conformados por dos placas de conexión de 390 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor, superior e inferior el cual posee un crecimiento de 9.50 mm de espesor y 100 mm de diámetro con el objeto de aumentar el área de contacto de la vulcanización con la goma. En una primera instancia se han fabricado ocho prototipos los cuales se dividen en cuatro series de dos prototipos cada una. La primera serie cuenta con una placa de acero intermedia de refuerzo, de 270 mm de diámetro y 5 mm de espesor (Fig. 1-a). La segunda serie está conformada con dos placas de acero intermedias de refuerzo de las mismas dimensiones que la placa de la serie anterior (Fig. 1-b). La tercera serie cuenta con una placa de acero intermedia de acero pero a diferencia de la placa de la primera serie. Posee una perforación de 100 mm de diámetro para alojar el núcleo de plomo de 100 mm de diámetro y 142 mm de altura (Fig. 2-a). Finalmente la cuarta serie cuenta con dos placas de acero perforadas, el orificio de estas placas tienen las mismas dimensiones que la placa de la tercera serie (Fig. 2-b).

Con el objeto de definir una determinada rigidez lateral del sistema de aislamiento se ha supuesto que el mismo está conformado por un conjunto de nueve aisladores con un peso total de la construcción de  $We = 1800 \text{ KN}$  lo que implica que cada dispositivo toma aproximadamente una carga axial de 200 KN. El peso de la construcción ha sido asumido al de una vivienda con estructura de hormigón armado, con losa de entrepiso y de cubierta diseñada para un periodo el modo fundamental de 2 s.

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{We}{K_{min} * g}} \Rightarrow K_{min} = \left(\frac{2\pi}{T_i}\right)^2 * \frac{We}{g} = 1811 \frac{N}{mm} \tag{1}$$

Por lo tanto la rigidez requerida, mínima para cada aislador resulta  $K_i = 201.22 \text{ N/mm}$

Para definir la sección transversal del aislador se utiliza la capacidad axial de los materiales componentes del dispositivo.

$$\sigma_c = \frac{4D}{\pi D^2} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4N}{\pi * \sigma_c}} = 327 \text{ mm} \quad (2)$$

Para evaluar la rigidez lateral se trabaja con un dispositivo de 300 mm de diámetro y una altura total de la goma de 160 mm.

$$K_h = G \frac{A_i}{H_g} = 0.50 \text{ MPa} \frac{70686 \text{ mm}^2}{160 \text{ mm}} = 220.90 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (3)$$

Las variables consideradas en las ecuaciones (2) y (3) corresponden a una carga axial  $N = 200000 \text{ N}$ , módulo de corte elástico  $G = 0.50 \text{ MPa}$ ; área de la sección transversal del dispositivo,  $A_i = 70686 \text{ mm}^2$ ; altura total de la goma  $H_t = 160 \text{ mm}$ ; tensión de compresión de la goma  $\sigma_c = 2.38 \text{ MPa}$  y diámetro del dispositivo  $D = 300 \text{ mm}$ . En consecuencia la rigidez total del sistema de aislamiento resulta  $K_{h_{total}} = 220.90 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 9 = 1988.10 \text{ N/mm}$ . Considerando a la estructura aislada como un sistema de un grado de libertad traslacional, el periodo fundamental de vibración de la estructura aislada aproximado viene dado por la ecuación (4).

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{W_e}{K_{h_{total}} * g}} = 1.91 \text{ s} \cong 2 \text{ s}. \quad (4)$$

la rigidez vertical del dispositivo viene dado por la ecuación (5); donde el módulo de compresión confinado resulta  $E_c = (f_1 + f_2)E$ ; donde  $E = 5.90 \text{ MPa}$  [14], mientras que los valores de  $f_1$  y  $f_2$  se determinan con las expresiones (6); [15].

$$K_v = \frac{E_c * A}{tr} \quad (5)$$

$$f_1 = 1.00 ; f_2 = 2 \frac{D^2}{16 t_r^2} = 2s^2 \quad (6)$$

Dónde ( $s$ ) es el factor de forma definida como la razón entre el área de la cara cargada y el área libre de pandeo determinado con la ecuación (7).

$$s = \frac{D}{4tr} = \frac{300 \text{ mm}}{4 * 77.50 \text{ mm}} = 0.97 \quad (7)$$

Por lo tanto  $E_c = 16.95 \text{ MPa}$  y  $K_v = 154.60 \text{ KN/cm}$ .

## 2.2. Fabricación de los dispositivos de aislamiento

Para la fabricación de los dispositivos se utilizaron moldes de acero macizo de espesores necesarios para controlar las deformaciones durante el proceso de vulcanizado de la goma, el cual conlleva a altas presiones y temperaturas. Los moldes están conformados por dos medias lunas interiores, con un espesor de pared de 50 mm y una altura de 160 mm, que luego de unirlos forman un tubo de 300 mm de diámetro interior y un diámetro exterior de 400,8 mm. El cilindro hueco exterior, tiene un espesor de 30 mm, un diámetro interior de 408 mm, un diámetro exterior de 460,8 mm y un alto de 200 mm.

Este cilindro está reforzado por cinco anillos de 30 mm de espesor, separados de forma equidistante. La finalidad que tiene dicho cilindro es mantener unidas las medias lunas que forman el cilindro interior. En la Fig. 3 se muestra la conformación de los dos cilindros.



Fig. 3 – (a) Cilindro interior y exterior del molde; (b) cilindros del molde acoplados

Las placas de conexión superior e inferior son de acero macizo de 12,5 mm de espesor y de 390 mm de diámetro, además tiene un sobre espesor de 9,5 mm en la parte central, diámetro de 100 mm, para permitir una mayor adherencia entre las placas de conexión y la goma. Las placas que confina al dispositivo posee cuatro orificios equidistantes, para pernos de 20 mm que sirven de conexión con la estructura de fundación y la superestructura según sea el caso de las placas (Fig. 4).

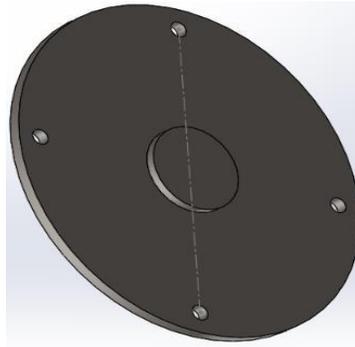


Fig. 4 – Placas de acero superior e inferior, de confinamiento del paquete de goma

La fabricación de los dispositivos se realiza de manera artesanal, por lo que la participación de los operarios tiene un efecto importante en el resultado final (Fig. 5). El primer paso de la fabricación de los aisladores es combinar los componentes en una mezcladora mecánica. Una vez que el material toma la consistencia deseada es colado en el molde y llevado a la prensa para su vulcanización. Previo a ello, en el interior del molde se aplica un aditivo antiadherente que permite un fácil desmoldado. Para lograr una mejor adherencia entre las pletinas de conexión y el elastómero, se pintan las primeras con un adhesivo especial. El proceso de vulcanización consiste en someter al compuesto de goma a una presión de 2500 KN a una temperatura de 150°C por un lapso de tiempo de ocho horas. La presión, temperatura

y tiempo dependen de las dimensiones de la pieza que se pretende fabricar. Una vez retirados de la prensa se dejan enfriar y se realiza el desmolde de la probeta. En la Fig. 6 se muestran los prototipos posteriormente a ser desmoldados.



Fig. 5 - Moldeo manual del dispositivo



Fig. 6 – Dispositivos desmoldeados y finalizado el proceso de vulcanización



### 2.3 Caracterización del dispositivo a cargas verticales

En una primera etapa, se ha trabajado en ocho prototipos divididos en cuatro series de dos prototipos cada serie. La Fig. 7 se muestra, cualitativamente las características geométricas de las cuatro series de los dispositivos.

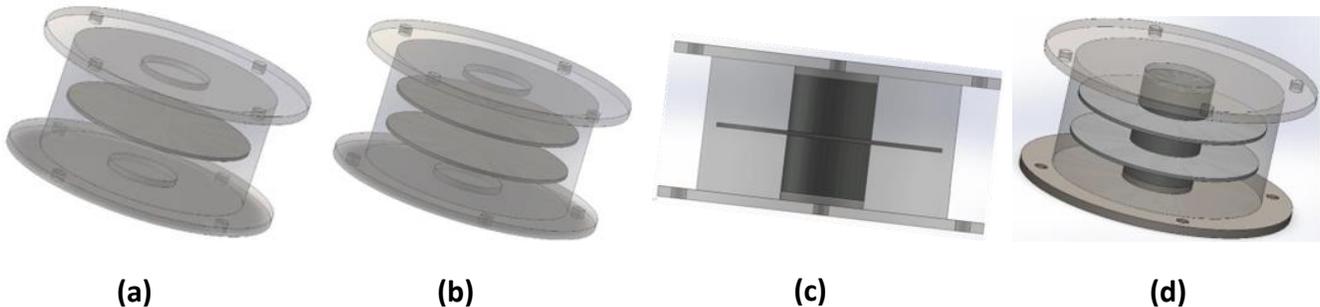


Fig. 7 – Dispositivos ensayados a cargas verticales; (a): Serie 1, (b): Serie 2; (c): Serie 3; (d): Serie 4.

Los ensayos a carga vertical de las cuatro series de los prototipos se realizó con una prensa hidráulica de velocidad y desplazamiento controlado de capacidad máxima de 1000 KN, (Fig. 8). La primera serie (APA-1) está conformada por dos aisladores con refuerzo de una placa de acero de 5 mm de espesor. La segunda serie (APA-2) también la conforman dos aisladores pero con dos placas de acero de 5 mm de espesor, la tercera serie (APAN-1) la conforman dos aisladores con refuerzo de una placa de acero de 5 mm de espesor perforada y un núcleo de plomo de 100 mm de diámetro y 142 mm de alto y la cuarta serie (APAN-2) esta conforma por dos aisladores con dos placas de acero de 5 mm de espesor y el núcleo de plomo de la mismas dimensiones que los de la serie anterior.



Fig. 8 – Caracterización de los dispositivos a cargas verticales

A cada prototipo se le realizaron dos ensayos de los cuales se obtuvo el promedio de los desplazamientos verticales. A los prototipos de las dos primeras series (sin núcleo de plomo) se les aplico una carga vertical creciente dentro del entorno de 0.00-300 KN. A los dispositivos de las series tres y cuatro se les aplico una carga vertical creciente dentro del entorno de 0.00-350 KN.

### 3. Resultados y análisis

#### 3.1. Resultados experimentales

La Fig. 9 muestra la relación de carga axial vs. desplazamiento vertical para la serie APA-1, con una placa de refuerzo. La Fig. 10 muestra la relación de carga axial vs. desplazamiento vertical para la serie APA-2, con dos placas de refuerzo. En los mismos gráficos se observan los valores de rigideces de cada serie de dispositivos.

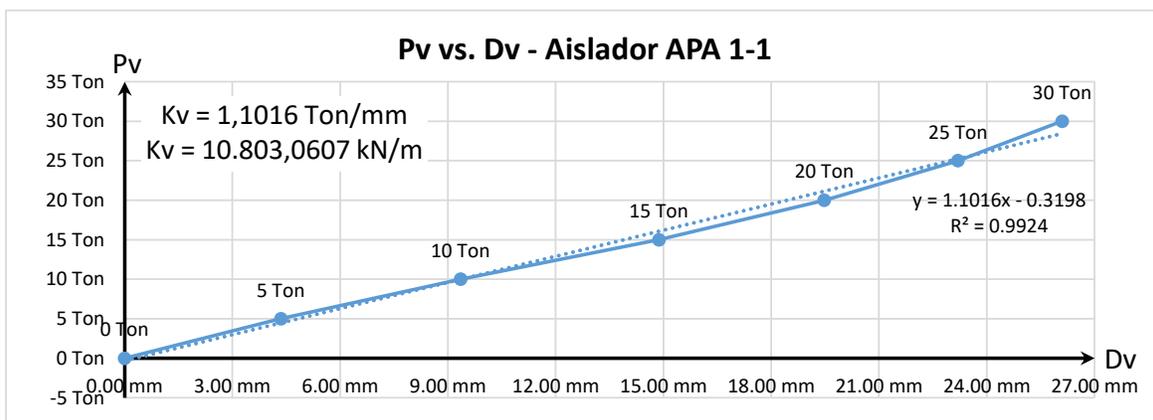


Fig. 9 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APA-1.

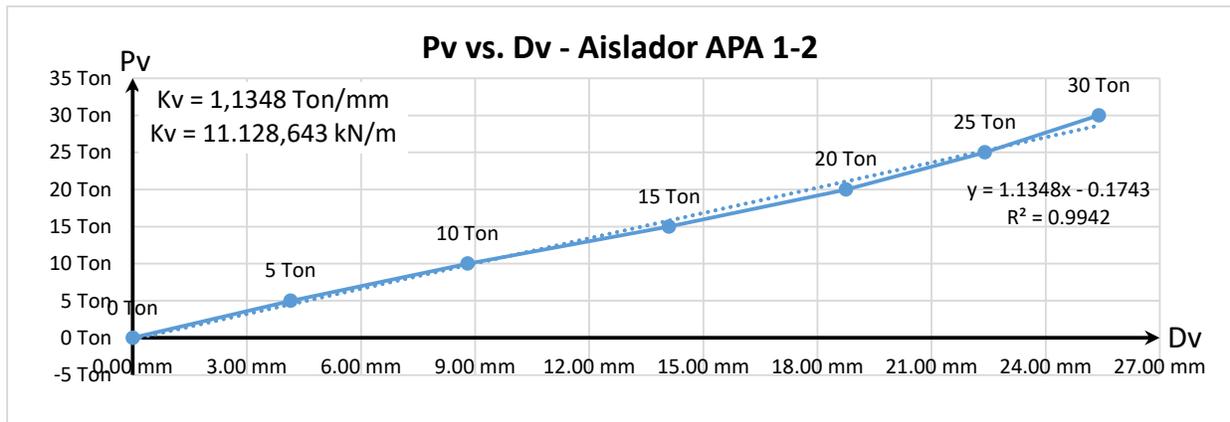


Fig. 9 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APA-1 (Continuación).

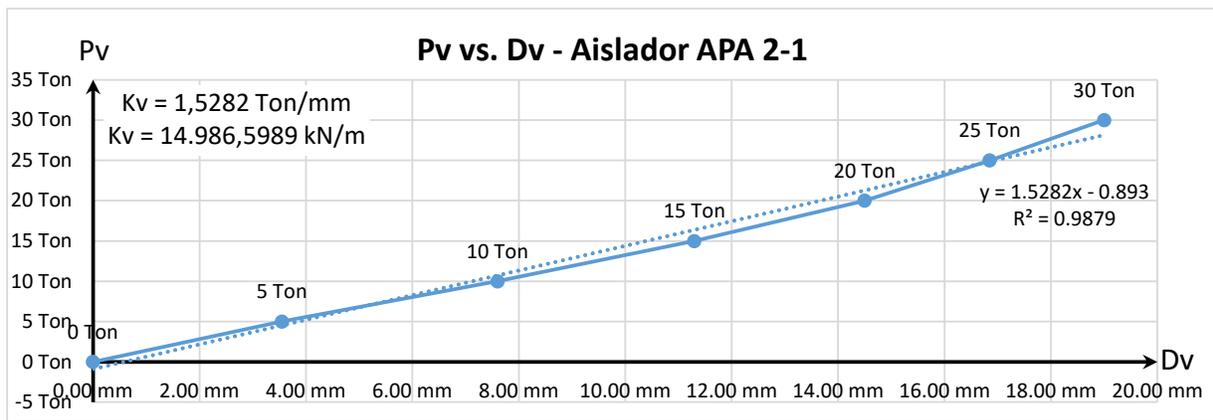


Fig. 10 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APA-2.

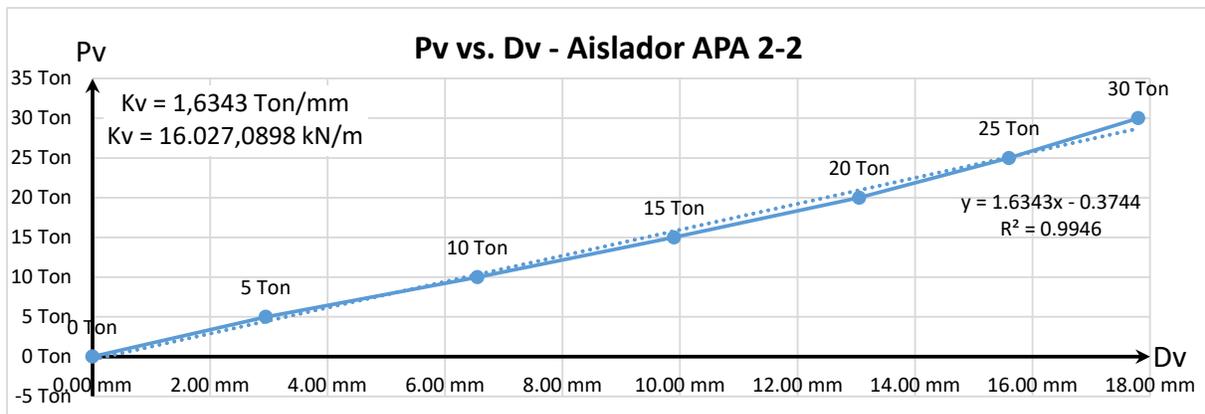


Fig. 10 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APA-2

La Fig. 11 muestra la relación de carga axial vs. desplazamiento vertical para la serie APAN-1, con una placa de refuerzo y núcleo de plomo. La Fig. 12 muestra la relación de carga axial vs. desplazamiento vertical para la serie APAN-2, con dos placas de refuerzo y núcleo de plomo. En los mismos gráficos se observan los valores de rigideces de cada serie de dispositivos.

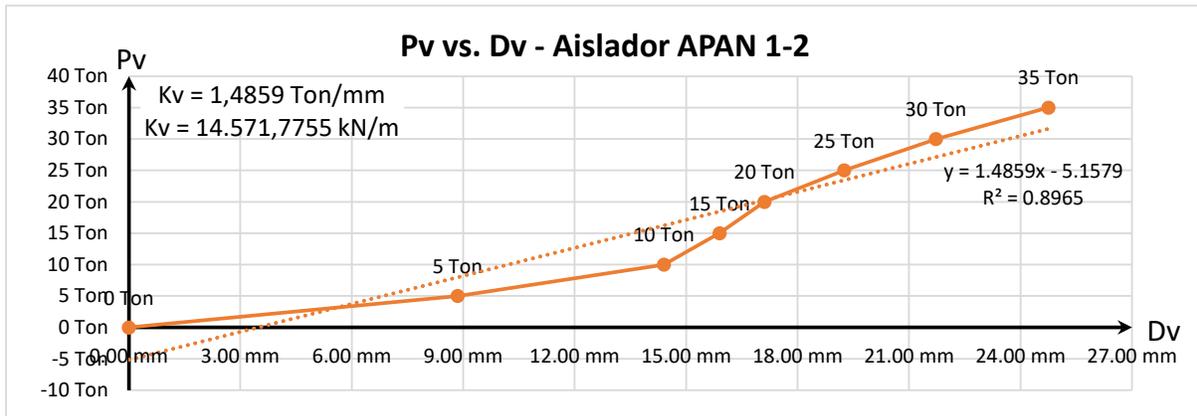
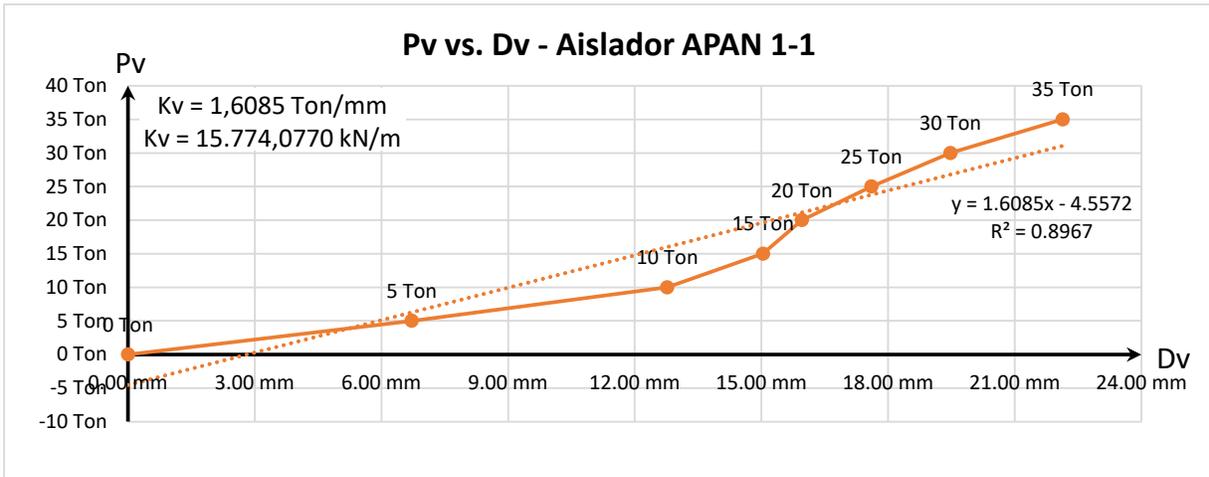


Fig. 11 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APAN-1.

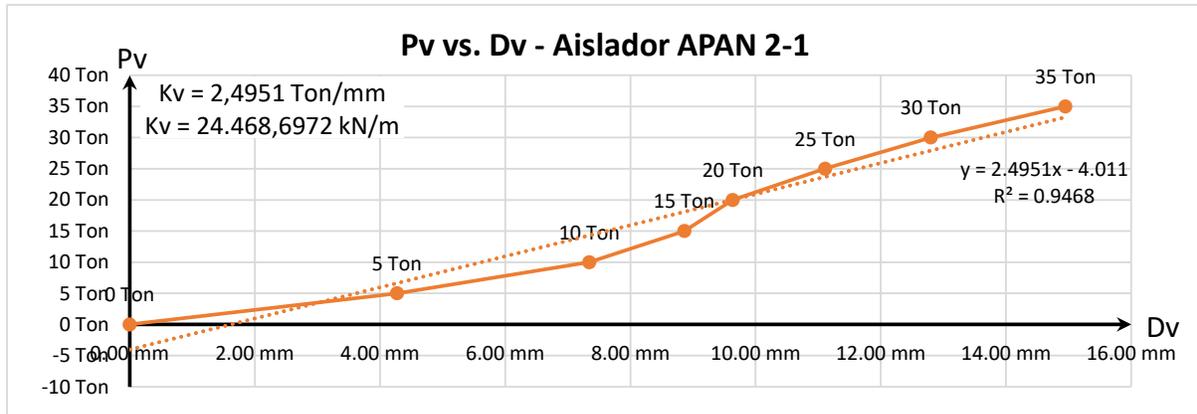


Fig. 11 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APAN-2.

El valor teórico de la rigidez vertical, según la teoría clásica del aislamiento sísmico [29], ecuación (5), conduce a un valor de rigidez de 15460 KN/m. Los resultados experimentales de los dispositivos con una única placa central de acero (APA 1-1 y APA 1-2) indican un valor promedio de rigidez vertical de 10967 KN/m es decir, un 41% menos que el valor teórico. Los resultados experimentales de los dispositivos con dos placas de acero (APA2-1 y APA2-2) poseen un valor promedio de rigidez vertical de 15506 KN/m, es decir, un 0.29% mayor que el valor teórico.

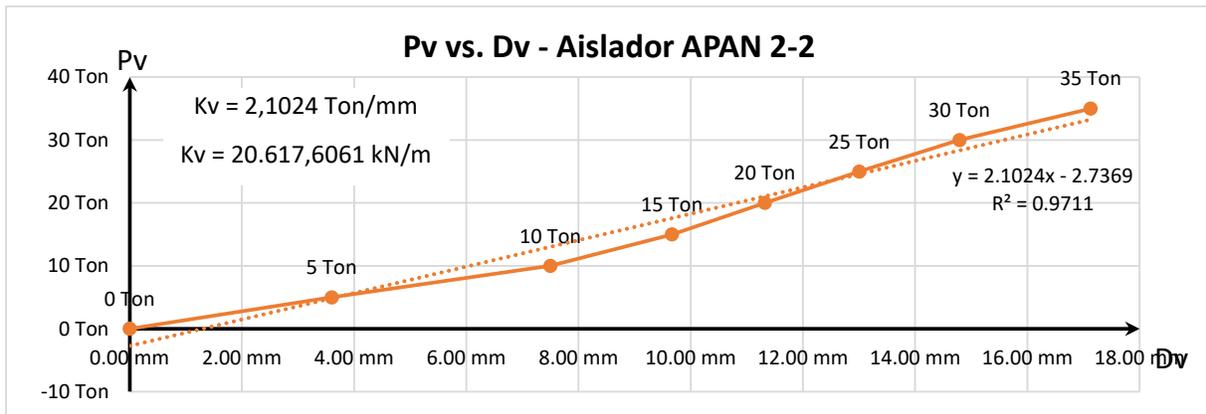


Fig. 11 – Cargas axiales vs. Desplazamientos verticales para la serie APAN-2 (Continuación)

Los aisladores con núcleo de plomo y una placa de acero (APAN 1-1 y APAN 1-2) tienen una rigidez vertical promedio de 15173 KN/m, es decir, un 1.89% menos que el valor teórico. Finalmente los ensayos experimentales de los dispositivos con núcleo de plomo y con dos placas de acero (APAN 2-1 y APAN 2-2) indican un valor promedio de la rigidez vertical de 22543 KN/m, es decir, un 45.81% mayor que el valor teórico.

#### 4. Conclusiones

Las diferencias entre la rigidez vertical teórica y la experimental de los dispositivos tipo (APA 1) y (APAN 2) difieren entre sí en más de un 40%.

Las diferencias entre la rigidez vertical teórica y la experimental de los dispositivos tipo (APA 2) y (APAN 2) son muy pequeñas y difieren entre sí entre el 0.29% y el 1.89 %.

El parámetro relacionado con el espesor de la lamina de goma de la expresión teórica de la rigidez vertical,  $t_r$ , ecuación (5), tiene una incidencia importante en el valor final de la rigidez vertical y podría no ser efectivo extrapolarlo al diseño de los dispositivos que se han estudiado en el presente trabajo. Para este caso debería utilizarse un coeficiente de corrección para darle mayor certeza a la expresión teórica en relación a los resultados experimentales encontrados.

Si bien los resultados de la rigidez vertical experimental de los dispositivos con núcleo de plomo, para la serie (APAN 2-1), arrojaron poca diferencias con el resultado teórico, no se registró lo mismo para las series (APAN 2-2). Cuando las deformaciones verticales exceden ciertos valores se observa que el núcleo de plomo comienza a tomar cargas verticales situación que conduce a mayores valores de rigideces verticales.

#### 5. Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación UTI4335TC. Se agradece a la UTN por el apoyo económico otorgado para el desarrollo del proyecto.

## Referencias

- [1] Kircher CA, 2003. ATC 29-2 Seminar on Seismic Design, Performance and Retrofit of Nonstructural Components in Critical Facilities. *It makes dollars and sense to improve non-structural system performance*. Applied Technology Council, Newport Beach, CA, Proc.
- [2] Taghavi S, Miranda E, 2003. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, *Response assessment of non-structural building elements*. Report No. PEER-2003/05.
- [3] NIST GCR 17-917-44, 2017. National Institute of Standards and Technology, Applied Technology Council. *Seismic Analysis, Design, and Installation of Nonstructural Components and Systems – Background and Recommendations for Future Work*.
- [4] Boroschek RL, 2004. Geological Society of America, Special Papers 375. *Seismic vulnerability of the healthcare system in El Salvador and recovery after the 2001 earthquakes*.
- [5] Shenton III HW, 1996. Journal of Engineering Mechanics (ASCE). *Criteria for initiation of slide, rock, and slide-rock rigid-body modes*. Vol. 122, no. 7, pp. 690-693.
- [6] Shao Y, Tung C, 1999. Earthquake Spectra, vol. 15, no. 3, pp. 523-536. *Seismic response of unanchored bodies*.
- [7] Housner GW, 1963. Bulletin of the Seismological Society of America. *The behaviour of inverted pendulum structures during earthquakes*. Vol. 53, no. 2, pp. 404-417.
- [8] Choi B, Tung CCD, 2002. Earthquake Spectra. *Estimating sliding displacement of an unanchored body subjected to earthquake*. Vol. 18, no. 4, pp. 601-613.
- [9] Konstantinidis D, Makris N, 2009. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. *Experimental and analytical studies on the response of freestanding laboratory equipment to earthquake shaking*. Vol. 38, no. 6, pp. 827-848.
- [10] Kelly JM, Hsiang-Chuan T, 1985. Earthquake Engineering and Structural Dynamics. *Seismic response of light internal equipment in base-isolated structures*. Vol. 13, no. 6, pp. 711–732.
- [11] Guendelman T., Sarrazin M., 2022. Revista Chilena de Ingeniería sísmica y sismológica. *Análisis Sísmico de Edificios*. Vol 1. N° 2. Diciembre 2022.
- [12] Gioacchini G., Tornello M. Frau C, 2019. Quest Journal. Journal of Architecture and Civil Engineering. *Design, manufacture and simulation of seismic isolation device for a low-level axial load*. Vol. 4. Issue 1. Pp: 50-75.
- [13] Kelly, J. M. 1996 2nd ed. Springer – Verlag. London. *Earthquake-Resistant Design with Rubber*.
- [14] Wood L. A., Martin G. M., 1964. National Bureau of Standards. Washington DC. Rubber Chemistry and Technology. *Compressibility of natural rubber at pressures below 500 kg/cm<sup>2</sup>*. 37. 850-856.
- [15] Gent A. N., Meinecke E. A. 1970. Institute of Polymer Science. University of Akron. Ohio. Polymers Engineering and Science. *Compression, Bending and Shear of Bonded Rubber Blocks*. Vol. 10. N° 1.