



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i3>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo*

*Design, construction and vertical load testing of elastomeric seismic insulators for controlled axial capacity, with the addition of reinforcing steel plates*

*Projeto, construção e ensaios de carga vertical de isoladores sísmicos elastoméricos para carga axial controlada, com adição de chapas de aço de reforço*

Jorge Luis Palacios Rodriguez <sup>I</sup>  
[jorgepalacios\\_54@hotmail.com](mailto:jorgepalacios_54@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-8578-4630>

Marcos Geovanny Zevallos Loor <sup>II</sup>  
[marcos.zevallos@utm.edu.ec](mailto:marcos.zevallos@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7979-8363>

Lincoln Javier Garcia Vinces <sup>III</sup>  
[lincoln.garcia@utm.edu.ec](mailto:lincoln.garcia@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8659-3190>

Miguel Eduardo Tornello <sup>IV</sup>  
[mtornell@frm.utn.edu.ar](mailto:mtornell@frm.utn.edu.ar)  
<https://orcid.org/0000-0001-8164-6900>

Gustavo Gioacchini <sup>IV</sup>  
[ggiochini@frm.utn.edu.ar](mailto:ggiochini@frm.utn.edu.ar)  
<https://orcid.org/0000-0002-8683-4182>

**Correspondencia:** [rcabrera@istte.edu.ec](mailto:rcabrera@istte.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de agosto del 2022 \***Aceptado:** 12 de septiembre de 2022 \* **Publicado:** 06 de octubre de 2022

- I. Profesor del Departamento de Construcciones, Carrera de Ingeniería Civil. UTM, Ecuador.
- II. Profesor del Departamento de Construcciones, Carrera de Ingeniería Civil. UTM, Ecuador.
- III. Profesor del Departamento de Construcciones, Carrera de Ingeniería Civil. UTM, Ecuador.
- IV. CeReDeTeC. Facultad Regional Mendoza. UTN, Mendoza, Argentina.
- V. CeReDeTeC. Facultad Regional Mendoza. UTN, Mendoza, Argentina.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

## Resumen

La estrategia del aislamiento sísmico de base, es una técnica usualmente usada en la protección de estructuras en las regiones que tienen una alta sismicidad, tendientes a reducir los daños en las edificaciones, las cuantiosas pérdidas económicas y más que nada la preservación de la vida humana. Pero en nuestro país, esta tecnología todavía se encuentra muy atrasada en comparación con nuestro vecino país de Chile y que decir de los países desarrollados como los Estados Unidos de América, Japón, Italia, Nueva Zelanda. En nuestro país si tenemos algunas edificaciones y puentes de mucha importancia, con aislamiento sísmico de base, pero se ha tenido que importar estos dispositivos a costos muy elevados, pero esta técnica de aislación solamente está dirigida a obras de gobierno y de grandes emprendimientos. Los dispositivos de aislamiento que se desarrollen con tecnología local, eliminarían los costos de importación y el costo mismo de los dispositivos, siendo este uno de los principales obstáculos para que se utilicen en el país y la región.

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de prototipos de aisladores sísmicos elastoméricos de base, que están destinados para construcciones, con bajas demandas de cargas axiales y de baja altura, con costos muy económicos. Estas construcciones representan el 90% de las construcciones que están emplazadas en zona de alta peligrosidad sísmica del país. El trabajo presenta el diseño de ocho prototipos de aislación sísmica de base, reforzados con placas de acero y núcleo de plomo, además se presentan los conceptos desarrollados para el diseño de los aisladores y se muestran las etapas de construcción y los ensayos a carga vertical, que es el avance actual en que se encuentra este trabajo de investigación.

**Palabras Claves:** aislación sísmica; protección sísmica; disipación de energía; reducción de daños.

## Abstract

The base seismic isolation strategy is a technique usually used in the protection of structures in regions that have high seismicity, tending to reduce damage to buildings, large economic losses and, above all, the preservation of human life. . But in our country, this technology is still far behind compared to our neighboring country of Chile and what to say about developed countries such as the United States of America, Japan, Italy, New Zealand. In our country we do have some very important buildings and bridges, with basic seismic isolation, but these devices have had to be imported at very high costs, but this isolation technique is only aimed at government works and large enterprises.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

Isolation devices developed with local technology would eliminate import costs and the cost of the devices themselves, this being one of the main obstacles to their use in the country and the region. In this work, the design and construction of prototypes of basic elastomeric seismic isolators are presented, which are destined for constructions, with low demands of axial loads and low height, with very economical costs. These constructions represent 90% of the constructions that are located in areas of high seismic hazard in the country. The work presents the design of eight prototypes of base seismic isolation, reinforced with steel plates and lead core, in addition the concepts developed for the design of the insulators are presented and the construction stages and the vertical load tests are shown, which is the current progress in this research work.

**Keywords:** seismic isolation; seismic protection; power dissipation; damage reduction.

### Resumo

A estratégia de isolamento sísmico de base é uma técnica normalmente utilizada na proteção de estruturas em regiões que possuem alta sismicidade, tendendo a reduzir danos a edificações, grandes perdas econômicas e, sobretudo, a preservação da vida humana. Mas em nosso país, essa tecnologia ainda está muito atrasada em relação ao nosso país vizinho Chile e o que dizer de países desenvolvidos como Estados Unidos da América, Japão, Itália, Nova Zelândia. Em nosso país temos alguns prédios e pontes muito importantes, com isolamento sísmico básico, mas esses dispositivos tiveram que ser importados com custos muito altos, mas essa técnica de isolamento é voltada apenas para obras governamentais e grandes empresas. Dispositivos de isolamento desenvolvidos com tecnologia local eliminariam os custos de importação e o custo dos próprios dispositivos, sendo este um dos principais entraves à sua utilização no país e na região.

Neste trabalho são apresentados o projeto e construção de protótipos de isoladores sísmicos elastoméricos básicos, que se destinam a construções, com baixas exigências de cargas axiais e baixa altura, com custos bastante econômicos. Essas construções representam 90% das construções que estão localizadas em áreas de alto risco sísmico no país. O trabalho apresenta o projeto de oito protótipos de isolamento sísmico de base, reforçada com chapas de aço e núcleo de chumbo, além disso são apresentados os conceitos desenvolvidos para o projeto dos isoladores e são mostradas as etapas de construção e os ensaios de carga vertical, que é o atual progresso neste trabalho de pesquisa.

**Palavras-chave:** isolamento sísmico; proteção sísmica; dissipação de energia; redução de danos.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

## Introducción

La región Latinoamericana está formada por distintas placas tectónicas entre las cuales se destacan; la Norte Americana, la de Cocos, la del Caribe, la Nazca, la Sudamericana y una Antártida. Estas placas de material rocoso, se asientan sobre el material suave de la Astenosfera y se mueven como cuerpos rígidos que flotan a la deriva. El movimiento relativo entre ellas, es la causa de la gran actividad sísmica generada en sus bordes. En las costas Latino americanas del Pacífico y en la cuenca del Caribe, los sismos de 1985, 2010, 2015 y 2019, los terremotos de México de 1985, 2017 y el reciente de septiembre de 2022, los de Ecuador de los años 1998 y 2016, son ejemplos evidentes de las enormes pérdidas humanas y económicas, que con frecuencia provocan estos fenómenos.

Adicionalmente los sistemas de fallas localizados en el interior de las placas tectónicas, generan también actividad sísmica importante, como lo demuestran los recientes terremotos de Ecuador de fecha abril de 2016 y los del Salvador ocurridos en los años de 1986 y 1987.

La frecuente actividad sísmica, ha sido la motivación, para que las comunidades científicas de los países que integran esta región, adopten medidas rigurosas tendientes a mitigar los riesgos sísmicos, una de ellas, es desarrollar, normas Sismo Resistente, otra de ellas es aplicar nuevas estrategias de protección sísmica, basadas en la aislación sísmica de base y la disipación de energía, mediante dispositivos ubicados estratégicamente en la superestructura. La aislación sísmica de base consiste en colocar dispositivos entre la subestructura y la superestructura de alguna edificación.

La aislación sísmica de base es una de las técnicas más usadas para la protección de estructuras a nivel de los países que se encuentran en zonas de alta peligrosidad sísmica, para minimizar los daños en las edificaciones, para preservar la vida humana y de los contenidos durante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Esta técnica no solamente es usada por los países altamente desarrollados como Estados Unidos de América y Japón, sino también por países en vía de desarrollo como Chile y México [1] y su funcionalidad ha sido probada para diferentes características de terremotos.

Trabajos anteriores de investigación han permitido el diseño, la construcción y la determinación experimental de dispositivos elastoméricos para edificaciones que tienen baja carga axial [20], estos aisladores se emplearon para valorar la respuesta sísmica en casas de uno y dos pisos, cuyos proyectos corresponden a características que se utilizan en la ciudad de Mendoza de Argentina y ciudades de la Provincia de Manabí, para la planificación de sectores de índole social. Se experimentaron modelos estructurales en 3D, de dichas viviendas con y sin aislamiento sísmico, empleando como aisladores

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

los dispositivos previamente fabricados, los resultados obtenidos confirmaron el adecuado diseño y fabricación de los aisladores, además de otros beneficios en la respuesta estructural de las viviendas [21].

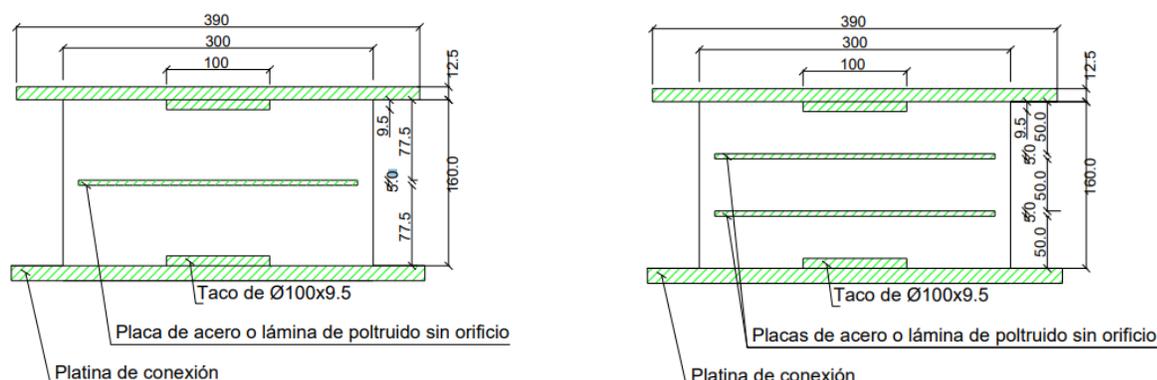
El presente trabajo muestra el grado de avance del diseño, la fabricación y ensayo a carga vertical de estos nuevos prototipos basados en la continuidad de un proyecto de investigación que rescata las experiencias comentadas en el párrafo precedente y que pretende mejorar la capacidad axial del dispositivo, la capacidad al desplazamiento lateral incluidos los valores de amortiguamiento.

### Delineación del dispositivo de aislamiento

Con el propósito de obtener la caracterización geométrica y propiedades mecánicas se realizó un pre diseño del aislador elastoméricos, acogiéndonos a los preceptos indicados para el método estático de la Norma Chilena [22]. Ya que tanto en la Argentina como en Ecuador, no se tiene una Norma específica para el tema en cuestión.

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, PVI, entre otros, es posible obtener diferentes propiedades mecánicas de la goma. Las especificaciones del compuesto de base para la fabricación de los dispositivos sísmicos, 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], [23].

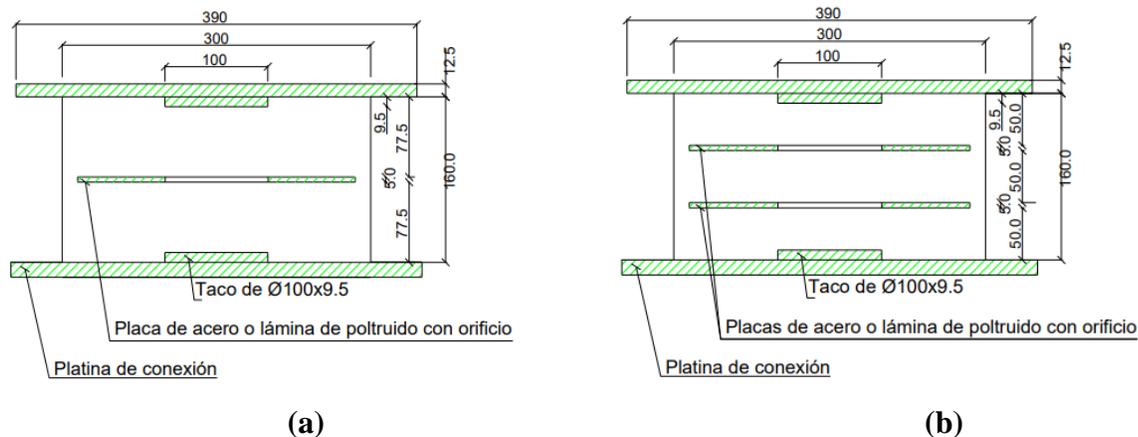
Las propiedades geométricas de los prototipos elastoméricos se presentan en las Figuras 1 y 2.



Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

(a) (b)

**Figura 1.** Esquema de los prototipos de los aisladores sísmicos de la primera y segunda serie



(a) (b)

**Figura 2.** Esquema de los prototipos de los aisladores sísmicos 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 y por un taco de acero de 9,5 mm de espesor y 100 mm de diámetro. El taco de goma es de 300 mm de diámetro y 142 mm de altura, ver figuras 1 y 2.

El proyecto de esta investigación está conformado por la fabricación de ocho prototipos de aislación sísmica, que se dividen en cuatro series de dos prototipos cada una. La primera serie contara con una placa de acero intermedia de refuerzo, de 270 mm de diámetro y 5 mm de espesor, ver figura 1a. La segunda serie está conformada con dos placas de acero intermedias de refuerzo, de las mismas dimensiones que la placa de la serie anterior, ver figura 1b. La tercera serie contara con una placa de acero intermedia de acero pero a diferencia de la placa de la primera serie a esta se le ha perfora un agujero de 100 mm de diámetro, para colocar un núcleo de plomo de 100 mm de diámetro y 142 mm de altura, ver figura 2a. La cuarta serie contara con dos placas de acero perforadas, el orificio de estas placas tienen las mismas dimensiones que la placa de la tercera serie, así mismo es para colocar un núcleo de plomo de las mismas características que él, anterior, ver figura 2b.

### Rigidez Lateral Requerida

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

La rigidez lateral del sistema de aislamiento se la puede determinar a partir del periodo para el conjunto aislado. Para esto se supone un sistema aislado compuesto de 9 aisladores con un peso total de la edificación  $W_e = 1800 \text{ Kn}$  es decir redondeamos a  $200 \text{ Kn}$  por cada aislador, peso que corresponde a una vivienda de concreto de dos pisos con losa de entrepiso y losa para terraza, para un periodo de 2 s.

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{W_e}{K_{min} * g}} \quad (1)$$

$$K = \left(\frac{2\pi}{T_i}\right)^2 \times \frac{W_e}{g}$$

$$K = \left(\frac{2\pi}{2s}\right)^2 \times \frac{1800 \text{ Kn}}{9810 \text{ mm/s}^2} = 1,811 \text{ Kn/mm} = 1811 \text{ N/mm}$$

La rigidez lateral del aislador será, por lo tanto:

$$K_i = \frac{1811 \text{ N/mm}}{9} = 201,22 \text{ N/mm}$$

### Determinación de las dimensiones del aislador

Las dimensiones del aislador se calculan a utilizando las ecuaciones (2) y (3)

$$\sigma_c = \frac{N}{\pi * D^2 / 4} \quad \Leftrightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4 * N}{\pi * \sigma_c}} \quad (2)$$

$$k_h = G * \frac{A}{H_g} = 0.5 \text{ MPa} * \frac{70686 \text{ mm}^2}{160 \text{ mm}} = 220,9 \text{ N/mm} \quad (3)$$

De donde:

N: Carga axial sobre el aislador (200 000 N)

G: Módulo de corte elástico del aislador (0,5 MPa)

A: Área de la sección transversal del aislador (70 686 mm<sup>2</sup>)

H<sub>g</sub>: Altura del aislador (160 mm)

σ<sub>c</sub>: Tensión de compresión de la goma del aislador (2,83 MPa)

D: Diámetro del taco de goma del aislador (300 mm)

K<sub>h</sub>: Rigidez horizontal del aislador calculada (220,9 N/mm)

Entonces la rigidez horizontal por los 9 aisladores será:

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

$$K_{h(total)} = 9 * 220,9 \text{ N/mm} = 1\,988,1 \text{ N/mm}$$

Considerando a la estructura aislada como un sistema de un grado de libertad traslacional, el período fundamental de vibración de la estructura aislada aproximado será:

$$T_i = 2\pi \sqrt{\frac{W_e}{K_{h(total)} * g}} = 2\pi \sqrt{\frac{1\,800\,000 \text{ N}}{1\,988,1 \text{ N/mm} * 9\,810 \text{ mm/s}^2}} = 1,91 \text{ s} \approx 2 \text{ s}$$

### Determinación de la Rigidez Vertical del Aislador

La rigidez vertical del aislador se la calcula con la expresión siguiente:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad (4)$$

$$E_c = (f_1 + f_2) E$$

E: (módulo de compresión confinado) = Módulo de elasticidad longitudinal de la goma, que considera un valor de E= 5,90 MPa (Tabla 2: *Physical constants of Vulcanized natural rubber, Wood, et al., 1964*)

Los valores de  $f_1$  y  $f_2$ , se obtienen de las expresiones dadas en la tabla para aisladores circulares (Gent et al., 1970):

$$f_1 = 1$$
$$f_2 = \frac{r^2}{2 * t_r^2} = \frac{D^2}{4 * 2 * t_r^2} = \frac{D^2}{8 * t_r^2} = 2 \frac{D^2}{16 * t_r^2} = 2 * s^2$$

Donde (s) es el factor de forma para aisladores de varias capas y se define como la razón del área de la cara cargada y el área libre de pandeo.

$$s = \frac{\text{Area Cargada}}{\text{Area Libre de Pandeo}} = \frac{\pi D^2}{4\pi D t_r} = \frac{D}{4 t_r} = \frac{300 \text{ mm}}{4 * 77,5 \text{ mm}} = 0,97$$

D: (Diámetro del Aislador) = 300 mm.

$t_r$ : (Espesor de placas de Goma) = 77,5 mm.

$$E_c = (1 + 2 * 0,97^2) * 5,90 \text{ MPa} = 16,95 \text{ MPa}$$

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

De la expresión para calcular la rigidez vertical se reemplazan los valores obtenidos se tiene el siguiente resultado:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_r} = \frac{16,950 \text{ MPa} * 70686 \text{ mm}^2}{77,5 \text{ mm}} = 15459,71 \text{ MPa}$$

### Construcción de los Prototipos

En la ciudad de Mendoza se encuentra la empresa de los hermanos PRABALDI SA. Que viene funcionando más de 60 años, construye y comercializa productos moldeados, inyectados y extrusados en caucho sintético y PVC. La misma que cuenta con toda la tecnología necesaria, como maquinarias, hornos y dispositivos para fabricar los aisladores de base y los ensayos necesarios que nos permitan determinar las propiedades de la goma, que son los objetivos de investigación de nuestra tesis doctoral. Aunque los dispositivos fueron fabricados de una manera artesanal se obtuvieron excelentes acabados de construcción.

En la fabricación de los aisladores de base se utilizaron moldes de acero macizo de suficiente espesor para evitar que sufran deformaciones en el proceso de vulcanizado de la goma, al ser sometida está a altas 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 de diámetro interior y un diámetro exterior de 400,8 mm, estos moldes están cortados de esta manera para poder desmoldarlos con facilidad.

Además de un cilindro hueco exterior, que 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 esta reforzado por cinco anillos de 30 mm de espesor y separadas de una forma equidistante, la finalidad que tiene este cilindro es de mantener unidas las medias lunas que forman el cilindro interior. La figura siguiente nos muestra la conformación de estos dos cilindros.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo



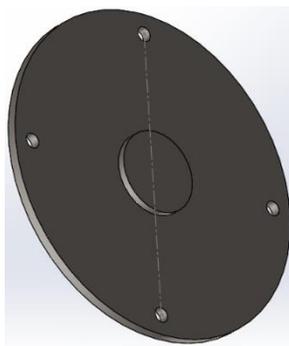
(a)

(b)

**Figura 3.1** La figura (a) muestra los dos cilindros por separado y la (b) como se acoplan.

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 y de diámetro de 100 mm, para permitir una mayor adherencia entre las placas de conexión y la goma.

También tienen 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.



**Figura 3.2** Placa de conexión superior e inferior del aislador

La producción de las piezas se realiza principalmente de forma manual, por lo que la participación de los operarios tiene un efecto importante en el resultado final. El primer paso en la fabricación de los

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

aisladores es el de 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 250 toneladas y 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 a confeccionar. Una vez retirados de la prensa se dejan enfriar y se realiza el desmolde de la probeta. En la Figura 3.3 se muestran los prototipos posteriormente a ser desmoldados.



(a)



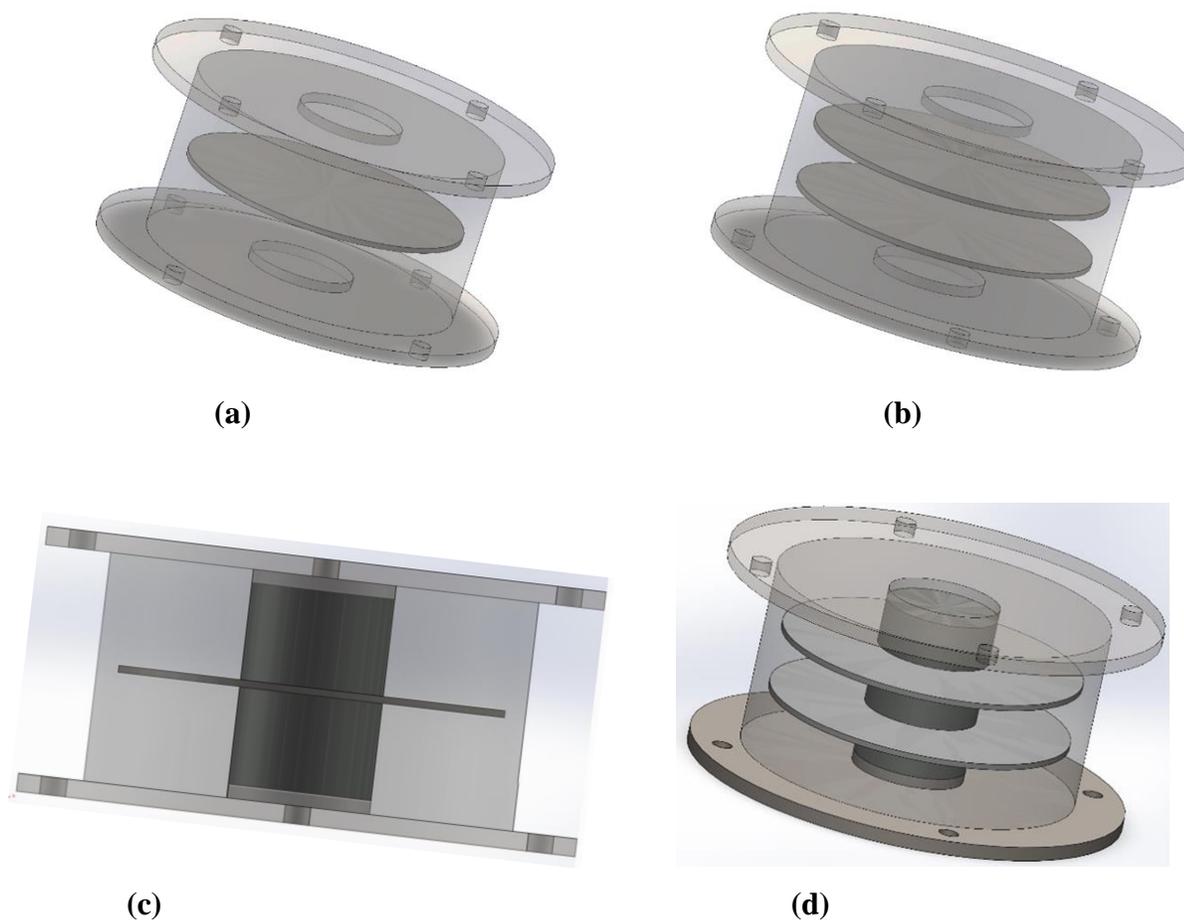
(b)

**Figura 3.3.** La figura (a) muestra el desmontaje del prototipo y la (b) ya terminado el prototipo.

### Ensayo a carga vertical de los Prototipos

Como se dijo anteriormente el proyecto constaba de ocho prototipos divididos en cuatro series de dos prototipos cada serie. La figura 4 se muestra la configuración de las cuatro series de los dispositivos ya terminados.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo



**Figura 4.1.** La figura (a) corresponde a los prototipos de la serie 1, la figura (b) son los de la serie 2, la figura (c) son los de la serie 3 y la figura 4 son los de la serie 4.

En este apartado se describe el procedimiento metodológico de los ensayos de las cuatro series de los prototipos propuestos, los resultados obtenidos y gráficos de las curvas de capacidad. Primero se ensayaron a carga vertical en el laboratorio de estructuras del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTec) de la UTN regional Mendoza, utilizando el pórtico de reacción del mencionado laboratorio.

### Descripción del ensayo

Los ensayos a carga vertical de las cuatro series de los prototipos se las realizó como ya se mencionó, en el pórtico de reacción del CeReDeTec de la UTN, la primera serie (APA-1) de los prototipos está conformada de dos aisladores con reforzamiento de una placa de acero de 5 mm de espesor, la segunda

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

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 conforma dos aisladores con reforzamiento 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) así mismo se conforma de 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.

A cada prototipo se le realizaron dos ensayos y se sacó un promedio de los desplazamientos verticales y horizontales, a los prototipos de las dos primeras series (sin núcleo de plomo) se les aplico una carga vertical constante desde 0 Tn hasta 30 Tn. En cambio a los de las series tres y cuatro se les aplico una carga vertical desde 0 Tn hasta 35 Tn.

**Resultados**

**Tabla 4.1 - Prototipo APA1-1 (Con Refuerzo de 1 placa de acero - Ensayo 1)**

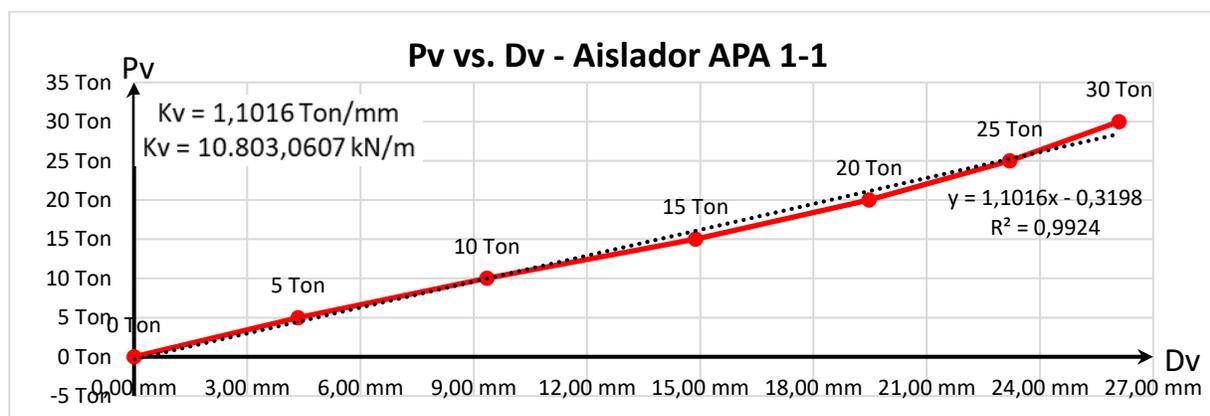
| APA 1 - 1 |                      |           |          |                        |           |          |
|-----------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|
| Carga     | Deformacion Vertical |           |          | Deformacion Horizontal |           |          |
|           | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |
| 0 Ton     | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  |
| 5 Ton     | 3.80 mm              | 4.90 mm   | 4.35 mm  | 1.00 mm                | 2.70 mm   | 1.85 mm  |
| 10 Ton    | 8.20 mm              | 10.50 mm  | 9.35 mm  | 2.60 mm                | 7.70 mm   | 5.15 mm  |
| 15 Ton    | 13.55 mm             | 16.20 mm  | 14.88 mm | 4.50 mm                | 11.00 mm  | 7.75 mm  |
| 20 Ton    | 18.15 mm             | 20.80 mm  | 19.48 mm | 6.50 mm                | 14.10 mm  | 10.30 mm |
| 25 Ton    | 22.40 mm             | 24.00 mm  | 23.20 mm | 8.80 mm                | 16.40 mm  | 12.60 mm |
| 30 Ton    | 25.90 mm             | 26.30 mm  | 26.10 mm | 11.10 mm               | 17.90 mm  | 14.50 mm |

| LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           |
|------------------------------|-----------|
| 1° Ensayo                    | 2° Ensayo |
| 0.00 mm                      | 0.00 mm   |
| 3.80 mm                      | 4.90 mm   |
| 8.20 mm                      | 10.50 mm  |
| 13.55 mm                     | 16.20 mm  |
| 18.15 mm                     | 20.80 mm  |
| 22.40 mm                     | 24.00 mm  |
| 25.90 mm                     | 26.30 mm  |

| LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|--------------------------------|-----------|
| 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
| 0.00 mm                        | 0.00 mm   |
| 1.00 mm                        | 2.70 mm   |
| 2.60 mm                        | 7.70 mm   |
| 4.50 mm                        | 11.00 mm  |
| 6.50 mm                        | 14.10 mm  |
| 8.80 mm                        | 16.40 mm  |
| 11.10 mm                       | 17.90 mm  |

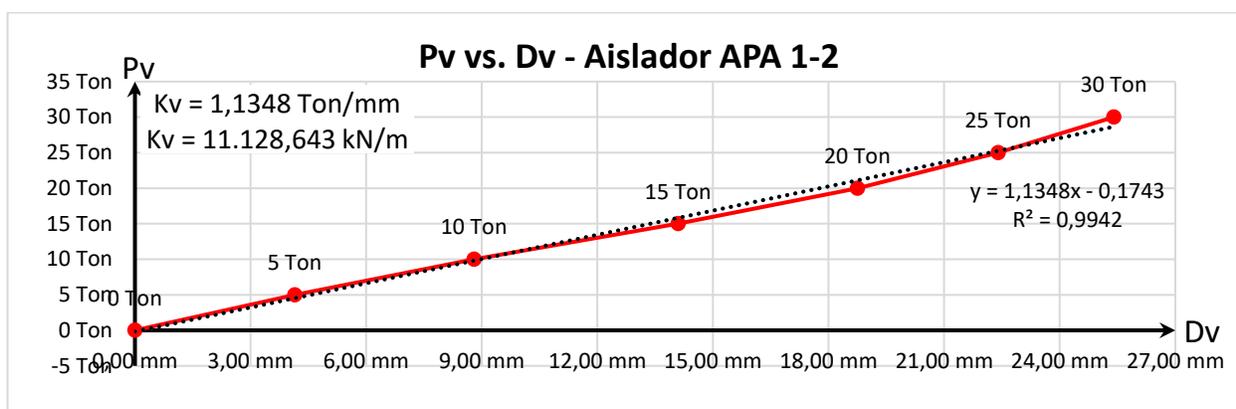


**Figura 4.2** La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APA1-1.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

**Tabla 4.2 - Prototipo APA1-2 (Con Refuerzo de 1 placa de acero - Ensayo 2)**

| Carga  | APA 1 - 2            |           |          |                        |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|        | Deformacion Vertical |           |          | Deformacion Horizontal |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
|        | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |                              |           |                                |           |
| 0 Ton  | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                      | 0.60 mm   | 0.00 mm                        | 0.00 mm   |
| 5 Ton  | 3.90 mm              | 4.40 mm   | 4.15 mm  | 0.90 mm                | 1.40 mm   | 1.15 mm  | 3.90 mm                      | 5.00 mm   | 0.90 mm                        | 1.40 mm   |
| 10 Ton | 7.70 mm              | 9.90 mm   | 8.80 mm  | 2.60 mm                | 2.40 mm   | 2.50 mm  | 7.70 mm                      | 10.50 mm  | 2.60 mm                        | 2.40 mm   |
| 15 Ton | 12.70 mm             | 15.50 mm  | 14.10 mm | 4.60 mm                | 4.70 mm   | 4.65 mm  | 12.70 mm                     | 16.10 mm  | 4.60 mm                        | 4.70 mm   |
| 20 Ton | 17.50 mm             | 20.00 mm  | 18.75 mm | 7.50 mm                | 5.60 mm   | 6.55 mm  | 17.50 mm                     | 20.60 mm  | 7.50 mm                        | 5.60 mm   |
| 25 Ton | 21.50 mm             | 23.30 mm  | 22.40 mm | 9.20 mm                | 7.10 mm   | 8.15 mm  | 21.50 mm                     | 23.90 mm  | 9.20 mm                        | 7.10 mm   |
| 30 Ton | 25.00 mm             | 25.80 mm  | 25.40 mm | 10.80 mm               | 8.20 mm   | 9.50 mm  | 25.00 mm                     | 26.40 mm  | 10.80 mm                       | 8.20 mm   |

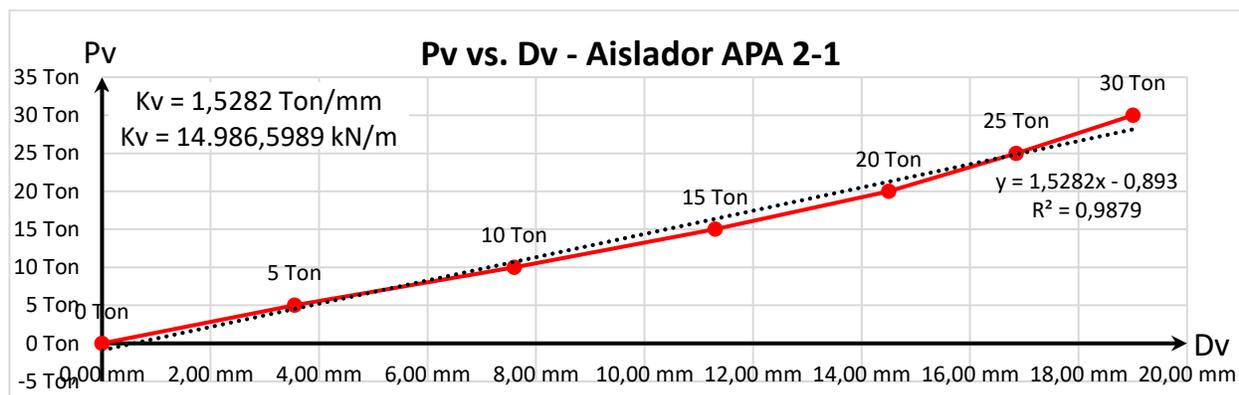


**Figura 4.3** La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APA1-2.

**Tabla 4.3 - Prototipo APA2-1 (Con Refuerzo de 2 placas de acero - Ensayo 1)**

| Carga  | APA 2 - 1            |           |          |                        |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|        | Deformacion Vertical |           |          | Deformacion Horizontal |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
|        | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |                              |           |                                |           |
| 0 Ton  | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 3.00 mm                      | 3.00 mm   | 15.00 mm                       | 15.00 mm  |
| 5 Ton  | 3.40 mm              | 3.70 mm   | 3.55 mm  | 2.20 mm                | 2.30 mm   | 2.25 mm  | 6.40 mm                      | 6.70 mm   | 17.20 mm                       | 17.30 mm  |
| 10 Ton | 7.30 mm              | 7.90 mm   | 7.60 mm  | 5.05 mm                | 5.30 mm   | 5.18 mm  | 10.30 mm                     | 10.90 mm  | 20.05 mm                       | 20.30 mm  |
| 15 Ton | 10.60 mm             | 12.00 mm  | 11.30 mm | 7.50 mm                | 8.30 mm   | 7.90 mm  | 13.60 mm                     | 15.00 mm  | 22.50 mm                       | 23.30 mm  |
| 20 Ton | 13.70 mm             | 15.30 mm  | 14.50 mm | 9.85 mm                | 10.80 mm  | 10.33 mm | 16.70 mm                     | 18.30 mm  | 24.85 mm                       | 25.80 mm  |
| 25 Ton | 16.10 mm             | 17.60 mm  | 16.85 mm | 11.80 mm               | 12.70 mm  | 12.25 mm | 19.10 mm                     | 20.60 mm  | 26.80 mm                       | 27.70 mm  |
| 30 Ton | 18.60 mm             | 19.40 mm  | 19.00 mm | 13.70 mm               | 14.10 mm  | 13.90 mm | 21.60 mm                     | 22.40 mm  | 28.70 mm                       | 29.10 mm  |

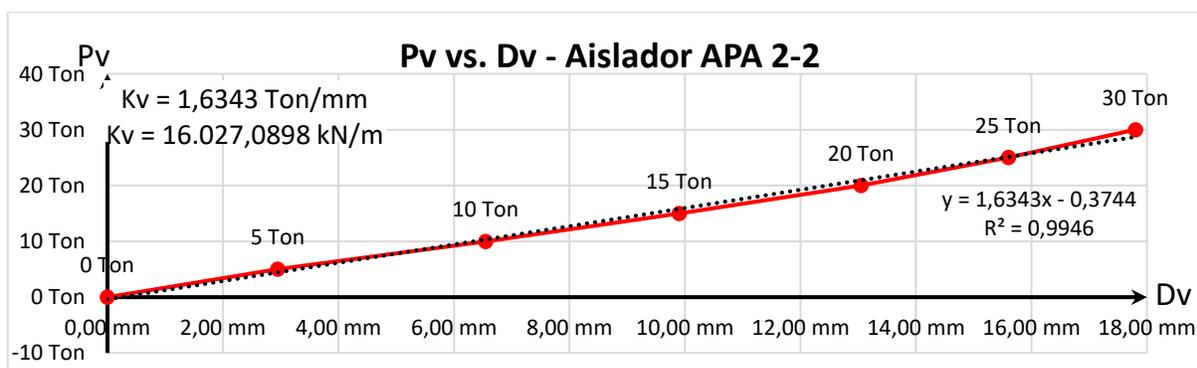
Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo



**Figura 4.4** La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APA2-1.

**Tabla 4.4 - Prototipo APA2-2 (Con Refuerzo de 2 placas de acero - Ensayo 2)**

| Carga  | APA 2 - 2            |           |          |                        |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|        | Deformación Vertical |           |          | Deformación Horizontal |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
|        | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |                              |           |                                |           |
| 0 Ton  | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 3.00 mm                      | 3.00 mm   | 31.00 mm                       | 31.00 mm  |
| 5 Ton  | 2.70 mm              | 3.20 mm   | 2.95 mm  | 1.90 mm                | 2.10 mm   | 2.00 mm  | 5.70 mm                      | 6.20 mm   | 32.90 mm                       | 33.10 mm  |
| 10 Ton | 6.10 mm              | 7.00 mm   | 6.55 mm  | 4.70 mm                | 5.00 mm   | 4.85 mm  | 9.10 mm                      | 10.00 mm  | 35.70 mm                       | 36.00 mm  |
| 15 Ton | 9.10 mm              | 10.70 mm  | 9.90 mm  | 7.90 mm                | 7.90 mm   | 7.90 mm  | 12.10 mm                     | 13.70 mm  | 38.90 mm                       | 38.90 mm  |
| 20 Ton | 12.10 mm             | 14.00 mm  | 13.05 mm | 9.40 mm                | 10.40 mm  | 9.90 mm  | 15.10 mm                     | 17.00 mm  | 40.40 mm                       | 41.40 mm  |
| 25 Ton | 14.80 mm             | 16.40 mm  | 15.60 mm | 12.40 mm               | 12.40 mm  | 12.40 mm | 17.80 mm                     | 19.40 mm  | 43.40 mm                       | 43.40 mm  |
| 30 Ton | 17.40 mm             | 18.20 mm  | 17.80 mm | 13.40 mm               | 13.80 mm  | 13.60 mm | 20.40 mm                     | 21.20 mm  | 44.40 mm                       | 44.80 mm  |



**Figura 4.5** La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APA2-2

**Tabla 4.5 - Prototipo APAN 1-1 (Refuerzo de 1 placa de acero y núcleo de plomo - Ensayo 1)**

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

| APAN 1 - 1 |                      |           |           |          |                        |           |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |           |
|------------|----------------------|-----------|-----------|----------|------------------------|-----------|-----------|----------|------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Carga      | Deformación Vertical |           |           |          | Deformación Horizontal |           |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 3° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo | 3° Ensayo |
|            | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | 3° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | 3° Ensayo | Promedio |                              |           |           |                                |           |           |
| 0 Ton      | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 3.00 mm                      | 3.00 mm   | 2.00 mm   | 2.00 mm                        | 3.00 mm   | 16.00 mm  |
| 5 Ton      | 4.45 mm              | 8.14 mm   | 7.57 mm   | 6.72 mm  | 1.90 mm                | 3.95 mm   | 4.40 mm   | 3.42 mm  | 7.45 mm                      | 11.14 mm  | 9.57 mm   | 3.90 mm                        | 6.95 mm   | 20.40 mm  |
| 10 Ton     | 5.23 mm              | 16.48 mm  | 16.60 mm  | 12.77 mm | 2.20 mm                | 8.35 mm   | 9.60 mm   | 6.72 mm  | 8.23 mm                      | 19.48 mm  | 18.60 mm  | 4.20 mm                        | 11.35 mm  | 25.60 mm  |
| 15 Ton     | 5.72 mm              | 19.04 mm  | 20.36 mm  | 15.04 mm | 2.45 mm                | 9.56 mm   | 12.20 mm  | 8.07 mm  | 8.72 mm                      | 22.04 mm  | 22.36 mm  | 4.45 mm                        | 12.56 mm  | 28.20 mm  |
| 20 Ton     | 7.10 mm              | 19.67 mm  | 21.10 mm  | 15.96 mm | 3.25 mm                | 9.90 mm   | 12.80 mm  | 8.65 mm  | 10.10 mm                     | 22.67 mm  | 23.10 mm  | 5.25 mm                        | 12.90 mm  | 28.80 mm  |
| 25 Ton     | 11.00 mm             | 20.11 mm  | 21.70 mm  | 17.60 mm | 5.61 mm                | 10.14 mm  | 13.20 mm  | 9.65 mm  | 14.00 mm                     | 23.11 mm  | 23.70 mm  | 7.61 mm                        | 13.14 mm  | 29.20 mm  |
| 30 Ton     | 15.50 mm             | 20.51 mm  | 22.42 mm  | 19.48 mm | 8.35 mm                | 10.35 mm  | 13.80 mm  | 10.83 mm | 18.50 mm                     | 23.51 mm  | 24.42 mm  | 10.35 mm                       | 13.35 mm  | 29.80 mm  |
| 35 Ton     | 20.18 mm             | 21.96 mm  | 24.26 mm  | 22.13 mm | 11.35 mm               | 11.34 mm  | 15.20 mm  | 12.63 mm | 23.18 mm                     | 24.96 mm  | 26.26 mm  | 13.35 mm                       | 14.34 mm  | 31.20 mm  |

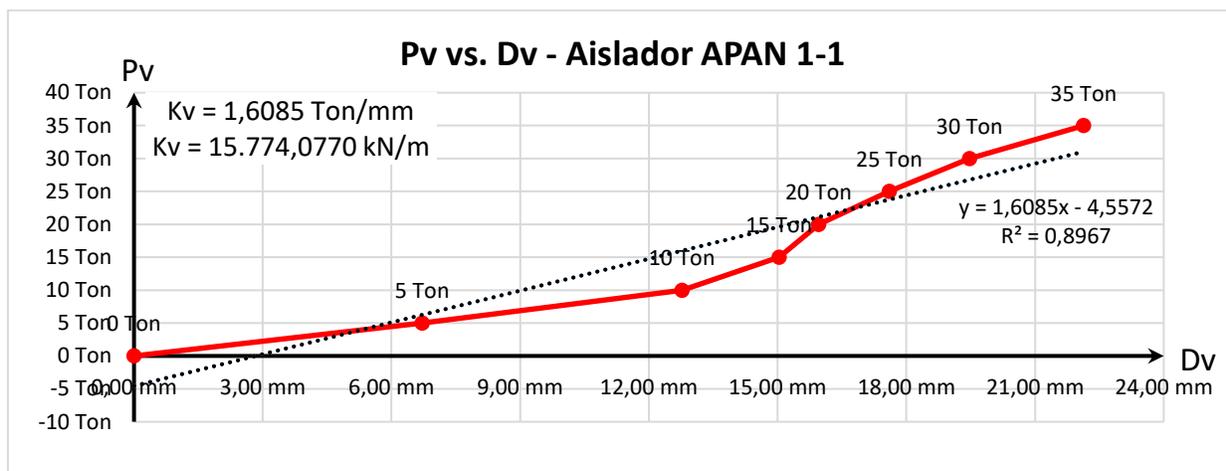


Figura 4.6 La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APAN1-1

Tabla 4.6 - Prototipo APAN 1-2 (Refuerzo de 1 placa de acero y núcleo de plomo - Ensayo 2)

| APAN 1 - 2 |                      |           |          |                        |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|------------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| Carga      | Deformación Vertical |           |          | Deformación Horizontal |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
|            | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |                              |           |                                |           |
| 0 Ton      | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 8.00 mm                      | 9.00 mm   | 12.00 mm                       | 13.00 mm  |
| 5 Ton      | 7.60 mm              | 10.10 mm  | 8.85 mm  | 3.20 mm                | 4.30 mm   | 3.75 mm  | 15.60 mm                     | 19.10 mm  | 15.20 mm                       | 17.30 mm  |
| 10 Ton     | 8.80 mm              | 20.00 mm  | 14.40 mm | 3.60 mm                | 9.25 mm   | 6.43 mm  | 16.80 mm                     | 29.00 mm  | 15.60 mm                       | 22.25 mm  |
| 15 Ton     | 9.40 mm              | 22.40 mm  | 15.90 mm | 3.87 mm                | 10.50 mm  | 7.19 mm  | 17.40 mm                     | 31.40 mm  | 15.87 mm                       | 23.50 mm  |
| 20 Ton     | 11.10 mm             | 23.12 mm  | 17.11 mm | 4.90 mm                | 10.85 mm  | 7.88 mm  | 19.10 mm                     | 32.12 mm  | 16.90 mm                       | 23.85 mm  |
| 25 Ton     | 15.00 mm             | 23.50 mm  | 19.25 mm | 7.00 mm                | 11.07 mm  | 9.04 mm  | 23.00 mm                     | 32.50 mm  | 19.00 mm                       | 24.07 mm  |
| 30 Ton     | 19.60 mm             | 23.85 mm  | 21.73 mm | 9.65 mm                | 11.27 mm  | 10.46 mm | 27.60 mm                     | 32.85 mm  | 21.65 mm                       | 24.27 mm  |
| 35 Ton     | 24.00 mm             | 25.50 mm  | 24.75 mm | 12.30 mm               | 12.25 mm  | 12.28 mm | 32.00 mm                     | 34.50 mm  | 24.30 mm                       | 25.25 mm  |

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

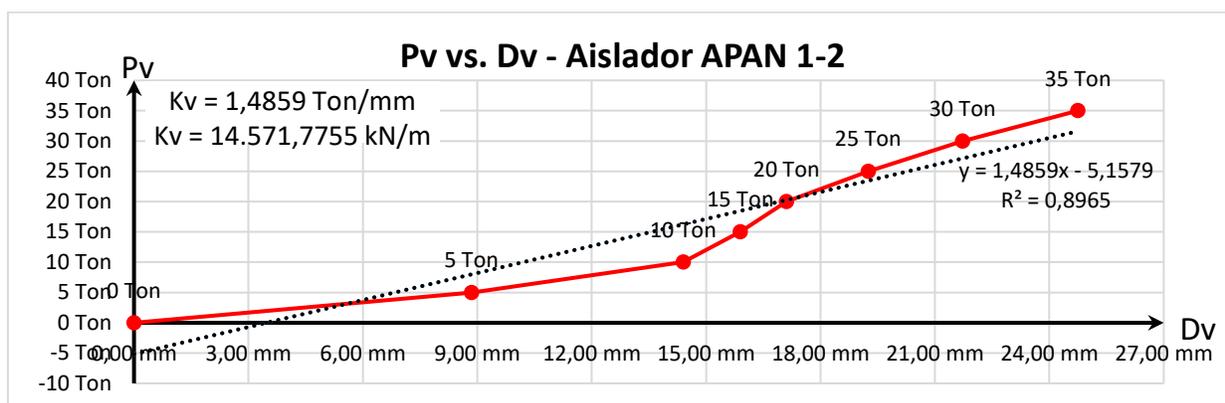


Figura 4.7 La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APAN1-2

Tabla 4.7 - Prototipo APAN 2-1 (Refuerzo de 2 placas de acero y núcleo de plomo - Ensayo 1)

| Carga  | APAN 2 - 1           |           |          |                        |           |          | LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           | LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|        | Deformación Vertical |           |          | Deformación Horizontal |           |          | 1° Ensayo                    | 2° Ensayo | 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |
|        | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |                              |           |                                |           |
| 0 Ton  | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 11.00 mm                     | 11.00 mm  | 3.00 mm                        | 4.00 mm   |
| 5 Ton  | 3.50 mm              | 5.04 mm   | 4.27 mm  | 1.70 mm                | 2.15 mm   | 1.93 mm  | 14.50 mm                     | 16.04 mm  | 4.70 mm                        | 6.15 mm   |
| 10 Ton | 4.85 mm              | 9.84 mm   | 7.35 mm  | 2.40 mm                | 4.45 mm   | 3.43 mm  | 15.85 mm                     | 20.84 mm  | 5.40 mm                        | 8.45 mm   |
| 15 Ton | 5.57 mm              | 12.15 mm  | 8.86 mm  | 2.75 mm                | 5.85 mm   | 4.30 mm  | 16.57 mm                     | 23.15 mm  | 5.75 mm                        | 9.85 mm   |
| 20 Ton | 6.17 mm              | 13.10 mm  | 9.64 mm  | 3.04 mm                | 6.40 mm   | 4.72 mm  | 17.17 mm                     | 24.10 mm  | 6.04 mm                        | 10.40 mm  |
| 25 Ton | 8.47 mm              | 13.75 mm  | 11.11 mm | 4.50 mm                | 6.70 mm   | 5.60 mm  | 19.47 mm                     | 24.75 mm  | 7.50 mm                        | 10.70 mm  |
| 30 Ton | 11.35 mm             | 14.25 mm  | 12.80 mm | 6.30 mm                | 6.95 mm   | 6.63 mm  | 22.35 mm                     | 25.25 mm  | 9.30 mm                        | 10.95 mm  |
| 35 Ton | 14.40 mm             | 15.50 mm  | 14.95 mm | 8.00 mm                | 7.60 mm   | 7.80 mm  | 25.40 mm                     | 26.50 mm  | 11.00 mm                       | 11.60 mm  |

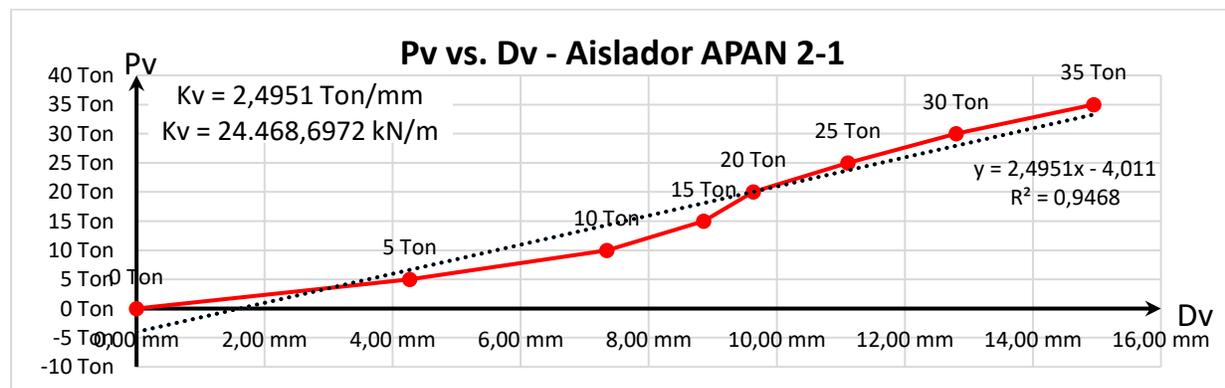


Figura 4.8 La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APAN2-1

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

**Tabla 4.7 - Prototipo APAN 2-2 (Refuerzo de 2 placas de acero y núcleo de plomo - Ensayo 2)**

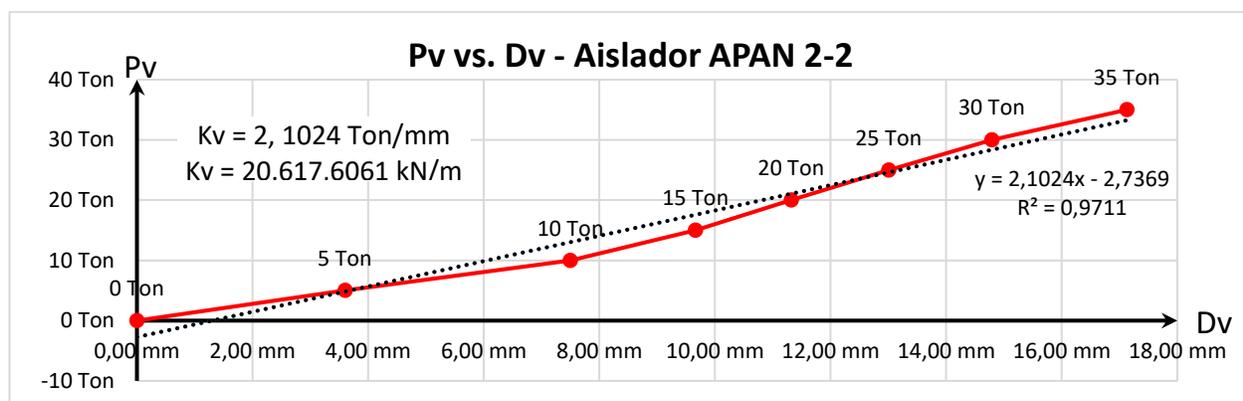
| Carga  | APAN 2 - 2           |           |          |                        |           |          |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|----------|
|        | Deformación Vertical |           |          | Deformación Horizontal |           |          |
|        | 1° Ensayo            | 2° Ensayo | Promedio | 1° Ensayo              | 2° Ensayo | Promedio |
| 0 Ton  | 0.00 mm              | 0.00 mm   | 0.00 mm  | 0.00 mm                | 0.00 mm   | 0.00 mm  |
| 5 Ton  | 1.30 mm              | 5.90 mm   | 3.60 mm  | 0.50 mm                | 2.90 mm   | 1.70 mm  |
| 10 Ton | 3.05 mm              | 11.95 mm  | 7.50 mm  | 1.75 mm                | 6.50 mm   | 4.13 mm  |
| 15 Ton | 5.30 mm              | 14.03 mm  | 9.67 mm  | 3.40 mm                | 7.70 mm   | 5.55 mm  |
| 20 Ton | 8.00 mm              | 14.64 mm  | 11.32 mm | 5.50 mm                | 8.08 mm   | 6.79 mm  |
| 25 Ton | 10.98 mm             | 15.03 mm  | 13.01 mm | 7.80 mm                | 8.25 mm   | 8.03 mm  |
| 30 Ton | 14.24 mm             | 15.34 mm  | 14.79 mm | 10.20 mm               | 8.45 mm   | 9.33 mm  |
| 35 Ton | 17.57 mm             | 16.68 mm  | 17.13 mm | 12.40 mm               | 9.26 mm   | 10.83 mm |

| LECTURAS FLEXÍMETRO VERTICAL |           |  |
|------------------------------|-----------|--|
| 1° Ensayo                    | 2° Ensayo |  |
| 8.00 mm                      | 11.00 mm  |  |
| 9.30 mm                      | 16.90 mm  |  |
| 11.05 mm                     | 22.95 mm  |  |
| 13.30 mm                     | 25.03 mm  |  |
| 16.00 mm                     | 25.64 mm  |  |
| 18.98 mm                     | 26.03 mm  |  |
| 22.24 mm                     | 26.34 mm  |  |
| 25.57 mm                     | 27.68 mm  |  |

| LECTURAS FLEXÍMETRO HORIZONTAL |           |  |
|--------------------------------|-----------|--|
| 1° Ensayo                      | 2° Ensayo |  |
| 2.00 mm                        | 7.00 mm   |  |
| 2.50 mm                        | 9.90 mm   |  |
| 3.75 mm                        | 13.50 mm  |  |
| 5.40 mm                        | 14.70 mm  |  |
| 7.50 mm                        | 15.08 mm  |  |
| 9.80 mm                        | 15.25 mm  |  |
| 12.20 mm                       | 15.45 mm  |  |
| 14.40 mm                       | 16.26 mm  |  |



**Figura 4.9** La figura muestra la Relación Fuerza-Desplazamiento para cargas axiales y la Rigidez Vertical del prototipo APAN2-2

### Comentarios

A los prototipos de la primera y segunda serie se les aplicó una carga vertical hasta llegar a las 30 Tn. Observándose que los de la primera serie que tienen de refuerzo una sola placa de acero el desplazamiento vertical bordeó de 25,40 mm y 26,10 mm en cambio los de la segunda serie el desplazamiento vertical fue de 17,80 mm y 19,00 mm, es decir que al tener dos placas de refuerzo tiene una mayor rigidez vertical, por lo que sus desplazamientos son menores. Cabe mencionar que las deformaciones de los prototipos se mantuvieron en el rango elástico durante los ensayos.

A estos prototipos de la tercera serie se le aplicaron la carga vertical hasta llegar a las 35 Tn, que los prototipos que se les reforzó con una placa de acero y núcleo de plomo, tuvieron un comportamiento similar a los prototipos de la serie 1 y 2 en cuanto a los desplazamientos, pero en cambio el núcleo de plomo le proporcionó una mayor rigidez vertical, los prototipos de la cuarta serie son los tuvieron un

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

mejor comportamiento en cuanto a los desplazamientos vertical que tuvieron en el orden de los 14,95 mm y los 17,13 mm, y tuvieron una mayor rigidez vertical, ya que estos estaban reforzados con dos placas de acero y un núcleo de plomo. Además cabe mencionar que durante los ensayos de los prototipos se mantuvieron dentro del rango elástico.

Además el diseño de los aisladores se los enmarco dentro de los parámetros de control que define la normativa chilena NCh2745 y las recomendaciones de diseño que indica la teoría básica de la técnica del aislamiento sísmico. Todos los parámetros de diseño verifican los valores estipulados por la normativa de aplicación y por la geometría que poseen los dispositivos.

Este trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación, dentro sus objetivos principales es la de caracterizar a los dispositivos frente a cargas horizontales y verticales, ensayos experimentales a cargas axiales y cargas horizontales. Los ensayos a carga axial se realizaron dentro de esta primera etapa, los resultados de estos ensayos son los que se muestran en el apartado anterior. Los ensayos a carga horizontal se los realizara en una próxima etapa.

**Agradecimientos:** El presente trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto de Investigación homologado ECUTIME0004335TC de la Universidad Tecnológica Nacional- FRM, (UTN). Los autores agradecen a las autoridades de la Universidades UTN y UTM, por el financiamiento brindado al proyecto

## Referencias

1. Martelli, A., (2005). "Modern Seismic Protection Systems for Civil and Industrial Structures". Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica. IX Jornadas. 16-19 Noviembre 2005. Concepción. Chile. CD. ISSN 0718-2678.
2. Kelly J. M. and Marsico M. R. Stability and post-buckling behavior in no bolted elastomeric isolators. Mathematical sciences publishers. Vol 1- n°1 (2010).
3. Madera Sierra I, Marulanda J., Thomson P., Losanno D., Spizzuoco M. (2018). Experimental Behavior of Carbon and Polyester fiber Reinforced Isolator in Unbonded configuration. XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. ID: XXXVIIIJSIE-05-085.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada,  
con adición de placas de acero de refuerzo

---

4. Mordini A. and Strauss A (2008). An innovative earthquake isolation system using fiber reinforced rubber bearing. *Engineering Structures*, 30 (doi:10.1016/j.engstruct.2008.03.010), 2739-2751.
5. Naghshined A., Akyuz U and Caner A (2015). Lateral Response Comparison of Unbonded Elastomeric Bearing Reinforced with Carbon Fiber Mesh and Steel. *Shock and Vibration*.
6. Bakhshi, Ali, Hosein M and Valadoust V (2011). Study on dynamic and mechanical characteristics of carbon fiber and polyamide fiber-reinforced seismic isolators. *Material and Structures*, 447-457.
7. Ping T., Kai X., Bin W., ChiaMing C., Han L and FuLin Z. (2014) Development and performance evaluation of an innovative low-cost seismic isolator. *Science China Technological Sciences*, 57 (doi: 10.1007/s11431-014-5662-6), 2050-2061.
8. [8] Kang B., Kan G. and Moon B (2003). Hole and lead plug effect on fiber reinforced elastomeric. *Journal of Material Processing Technology*, 140, 592-597.
9. Ashkezari G., Aghakouychaca A and Kokabib (2008). Design, manufacturing and evaluation of the performance of steel like fiber reinforced elastomeric seismic isolator. *Journal of materials processing technology*, 197 (doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.06.023), 140-150.
10. Kang G and Kang B (2009). Dynamic analysis of fiber-reinforced elastomeric isolation structures. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 23 (DOI 10.1007/s12206-008-1214-y), 1132-1141.
11. Russo G., Pauletta M. and Cortesia A. (2013). A study on experimental shear behavior of fiberreinforced elastomeric isolators with various fiber layouts, elastomers and aging conditions. *Engineering Structures*, 52 (http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.02.034), 422-433.
12. Strauss A., Apostolidi E., Zimmermann T., Gerhaher U. and Dritos S. (2014). Experimental investigation of fiber and steel reinforced elastomeric bearing: shear modulus and damping coefficient. *Engineering Structures*, 75, 402-413.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada, con adición de placas de acero de refuerzo

---

13. Hedayati F. and Shahria M. (2014b). Performance of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators manufactured in a simplified process: experimental investigations. *Structural Control and Health Monitoring*, 21 (doi:10.1002/stc.1653), 1347-1359.
14. Hedayati F., and Shahria M (2014<sup>a</sup>). Sensitivity analysis of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators based on experimental test and finite element simulations. *Bulletin Earthquake Engineering*, 12 (doi 10.1007/s10518-013-9556-y), 1025-1043.
15. Toopchi-Nezhad H., Tait M., and Drysdale R (2011). Bonded versus unbonded trip fiber reinforced elastomeric isolators: Finite element analysis. *Composite Structures*, 93 (doi:10.1016/j.compstruct.2010.07.009), 850-859.
16. Besa, J., de la Llera J. C., Jünemann R. Experimental behavior and design of a new kinematic isolator. *Engineering Structures*, Vol.32, 508-522 (2010).
17. Revista BIT, Especial terremoto Chile 2010. Aislación y disipación de energía (Disponible online [www.fiic.la/lxv consejo directivo Panama/Delallera 2.pdf](http://www.fiic.la/lxv_consejo_directivo_Panama/Delallera_2.pdf).) (2010).
18. Auqui M. V., Aguiar R., Gómez P. Análisis de aisladores sísmicos elastoméricos construidos en el Ecuador. Proyecto previo a la obtención de título de ingeniero civil (2010).
19. Tornello, M. and Sarrazin, M. Base-Isolated building with hig-damping spring systems subjected to near-fault earthaques. *Eartquake and Structures an International Journal*, 3(4), 315-340. (2012)
20. Gioacchini G., Tornello M., Frau C. Cuantificación de los parámetros elásticos y mecánicos de un nuevo dispositivo de aislamiento sísmico. *Revista Internacional de Estructuras*. Vol. 20,2, 199-212. ISSN 1390-0315 (2015)
21. Gioacchini G., Frau C., Tornello M. (2018). Madera Sierra I, et al, (2018). Seiemic Protection with low capacity axial elastomeric device. XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. ID: XXXVIIIJSIE-02-004.
22. NCh2745. Of 2013 (2013). Análisis y Diseño de Edificios con Aislación sísmica.
23. Naeim F., Kelly J. M. (1999). Design of seismic isolated structures. Editorial J. Wiley and Sons. INE.

Diseño, construcción y ensayos a carga vertical, de aisladores sísmicos elastómeros para carga axial controlada,  
con adición de placas de acero de refuerzo

---

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).