

DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN AISLADOR SÍSMICO FRICCIONAL CON DESLIZADOR COMPUESTO

Doctorando:

Kevynn CENAS

<https://orcid.org/0009-0000-0314-4235>

CeReDeTeC. Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología e Ingeniería Sísmica. Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional. Rodríguez 273, 5500, Mendoza, Argentina
kevynn.cenas@docentes.frm.utn.edu.ar

Director/a:

Miguel TORNELLO

Codirector:

Gustavo GIOACCHINI

Resumen

En la República Argentina gran parte de su territorio se encuentra en riesgo sísmico, sin embargo, muy pocas obras son diseñadas con alguna estrategia de protección sísmica. Estudios realizados sobre sismicidades regionales han demostrado el elevado peligro sísmico de provincias del oeste argentino. El diseño y la construcción de edificios esenciales para la sociedad, emplazadas en dichas regiones, se diseñan en el marco de los reglamentos, los cuales le imprimen, a dichas obras, una mayor demanda sísmica, sin embargo, esto no garantiza la existencia del daño ni la ocupación o el uso inmediato de la obra después de la ocurrencia de terremotos importantes. Las decisiones del estado para proteger las obras esenciales no incentivan al uso de nuevas tecnologías que tiendan a reducir y controlar el daño, por otro lado, las tecnologías importadas limitan su uso y postergan las decisiones de implementarlas. Dentro de este contexto el equipamiento hospitalario esencial tiene un costo significativo en relación al valor de la obra civil y su afectación frente a la ocurrencia de terremotos tiene el mismo impacto que la pérdida de un edificio esencial. El trabajo presenta, el estado de avance, del diseño y la fabricación de un aislador del tipo friccional con deslizador compuesto, con el objeto de proteger el equipamiento principal y de un costo relevante de un edificio de la salud pública o privada. El trabajo muestra la caracterización del aislador frente a cargas verticales y el ciclo histórico para cargas verticales y horizontales cíclicas. Los resultados de los ensayos, han permitido definir la rigidez efectiva, coeficiente de fricción y amortiguamiento del dispositivo. A pesar de haber sido fabricado de manera artesanal los parámetros encontrados responden a los formatos clásicos de un aislador friccional, arrojando resultados aceptables para las demandas que le fueron impuestas al aislador.

Palabras clave: aislador sísmico; protección sísmica; aislador friccional

Abstract

In Argentina, a large part of the territory is at seismic risk; however, very few structures are designed with any seismic protection strategy. Studies on regional seismicity have demonstrated the high seismic hazard in the western provinces of Argentina. The design and construction of buildings essential to society, located in these regions, are carried out within the framework of regulations that impose greater seismic demands on these structures. However, this does not guarantee the absence of damage or the immediate occupancy or use of the structure after a major earthquake. Government decisions to protect essential infrastructure do not incentivize the use of new technologies that would reduce and control damage. Furthermore, imported technologies are limited in their use, and decisions to implement them are postponed. Within this context, essential hospital equipment has a significant cost relative to the value of the civil works, and its damage in the event

of an earthquake has the same impact as the loss of an essential building. This paper presents the progress made in the design and fabrication of a frictional isolator with a composite slider, intended to protect critical and costly equipment in public or private healthcare buildings. The paper characterizes the isolator under vertical loads and demonstrates its hysteretic cycle under cyclic vertical and horizontal loads. Test results have allowed for the determination of the device's effective stiffness, coefficient of friction, and damping. Despite its artisanal fabrication, the parameters obtained correspond to the classic specifications of a frictional isolator, yielding acceptable results for the demands placed upon it.

Keywords: seismic isolator; seismic protection; frictional isolator

Introducción

La ingeniería sísmica ha focalizado su esfuerzo a lo largo de los años en el diseño de sistemas estructurales resistentes a terremotos. Sin embargo, no se ha prestado la misma atención en garantizar un comportamiento sísmico adecuado de los componentes no estructurales, equipos, y contenidos. Las técnicas convencionales de protección sísmica en edificaciones apuntan a garantizar la seguridad de sus ocupantes, evitando la pérdida de vidas humanas, ya que según la ONU los terremotos son responsables del 60% de las muertes provocadas por desastres naturales (ONU, 2010). 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 al daño de sus componentes estructurales y no estructurales. Existen 3 técnicas de protección sísmica muy conocidas a nivel global: aislamiento sísmico, disipadores sísmicos y masa sintonizada. En el presente trabajo de investigación, hablaremos sobre la estrategia del aislamiento sísmico, que consiste en desacoplar la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento del terreno durante un sismo no sea transmitido a la superestructura y que ella permanezca esencialmente detenida en un marco de referencia inercial (Figura 1). Se aclara que, un desacople perfecto entre suelo y estructura es impracticable actualmente, pero cualquier sistema de aislamiento busca concentrar en él la deformación impuesta por el suelo, filtrando el movimiento que se transmite hacia la superestructura.

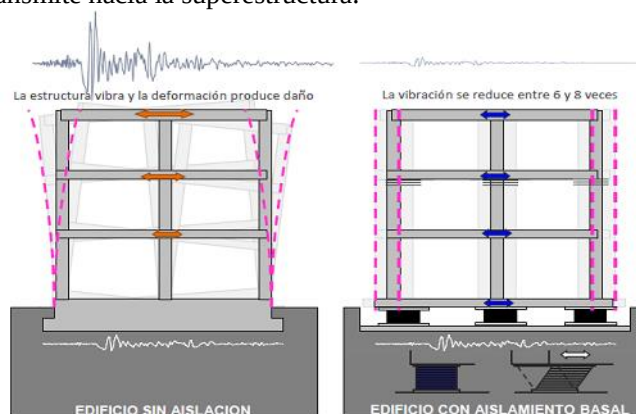


Figura 1. Respuesta entre un edificio tradicional y un edificio aislado en su base (Tesis Doctoral, Gustavo Gioacchini, 2017)

El aislamiento sísmico global de un edificio, si bien resulta ser una técnica de protección sísmica muy eficiente, representa un costo de inversión adicional que impacta en las decisiones desde el punto de vista económico situación que desalienta su uso y, en algunos casos especiales, no garantiza una protección eficiente de los equipos especiales que alberga la construcción. La implementación de dispositivos de aislamiento sísmico permite reducir la demanda sísmica sobre las estructuras y asegurar su capacidad de resistencia frente a terremotos destructivos. Por lo tanto, dichas estructuras muestran un comportamiento elástico ante la ocurrencia de importantes terremotos, situación que garantiza la estabilidad de la estructura aislada, la supervivencia de sus ocupantes y contenidos.

Desarrollo

En el presente trabajo, se centra en el diseño y fabricación de un aislador sísmico friccional con deslizador compuesto de teflón con un núcleo de goma en su interior, en donde la goma le otorga al dispositivo mayor capacidad de disipación sísmica, frente a los terremotos destructivos. Además, el aislador friccional va a ser colocado en la parte inferior de los equipos esenciales de hospitales, como, por ejemplo, un tomógrafo, ver Figura 2. El Tomógrafo Toshiba cuenta con un peso de 1980kgf (1,98Tn), que comprende el gantry, la camilla, la consola de mando y el paciente.



Figura 2. Tomógrafo Toshiba Alexión helicoidal multicorte de 16 filas, que se colocará arriba de los aisladores sísmicos (Hospital Central, Mendoza, 2026)

El dispositivo sísmico está compuesto por un plato superior e inferior de acero SAE 1045, el deslizador superior e inferior son de teflón con fricción entre el acero y teflón de $\mu=0,08$ y con tensión de teflón $\sigma_t=4,6 \text{ kN/cm}^2$, el núcleo interior es de goma de caucho natural como mezcla de caucho sintético con $\sigma_c=5 \text{ Mpa}$; luego, respetando y verificando los reglamentos: NCh2745-03, ASCE/SEI 7-10 y FEMA, obtenemos el diseño preliminar del aislador friccional, como lo muestran las siguientes Figura 3 y 4:

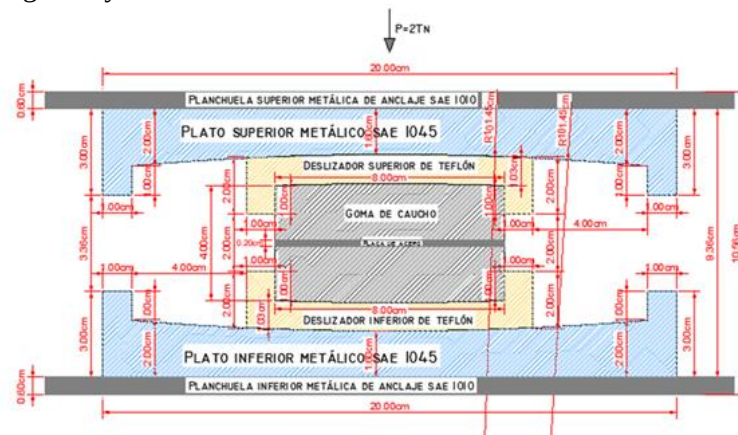


Figura 3. Diseño preliminar de Aislador friccional con deslizador compuesto (Cenas, Tornello, Gioacchini, 2024)

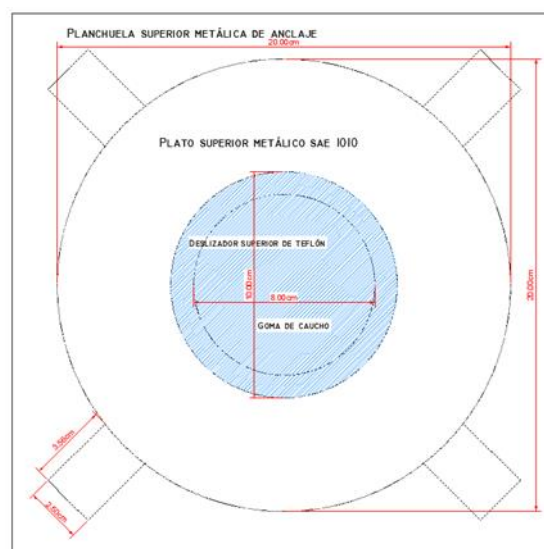


Figura 4. Vista superior preliminar del Aislador friccional con deslizador compuesto (Cenas, Tornello, Gioacchini, 2024)

La fabricación del dispositivo sísmico con tecnología local, se logró gracias al asesoramiento de mis Directores de Tesis, con los excelentes trabajos mecánicos de Metalúrgica Industrial Giner con la parte metálica y de Pra Baldi Hnos. S.A. con la parte de la goma, en donde, el dispositivo final se observa con más detalle en la siguiente Figura 5.

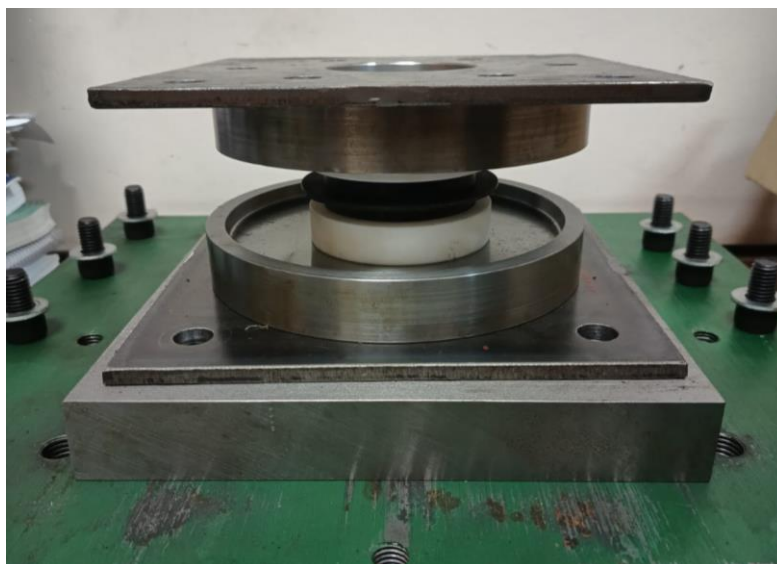


Figura 5. Dispositivo sísmico fabricado con tecnología local (CeReDeTeC, UTN-FRN, 2025)

Resultados

Avanzando con el diseño del dispositivo, y verificando los reglamentos de protección sísmica, llegamos a un período de dispositivo friccional de 2s, donde se puede visualizar que las demandas sísmicas disminuyen, con el aislamiento sísmico de base “Tornello, M. et al. (2023)”, debido a que tenemos un período importante que nos aleja de la zona del plafón del Espectro de diseño de aceleraciones del reglamento IC 103-Parte I 2018.

También se realizaron ensayos a carga vertical y a carga horizontal, obteniendo las siguientes figuras, que muestran la eficiencia del dispositivo sísmico.



Figura 6. Deformación vertical y efecto barril del dispositivo sísmico (CeReDeTeC, UTN-FRN, 2025)

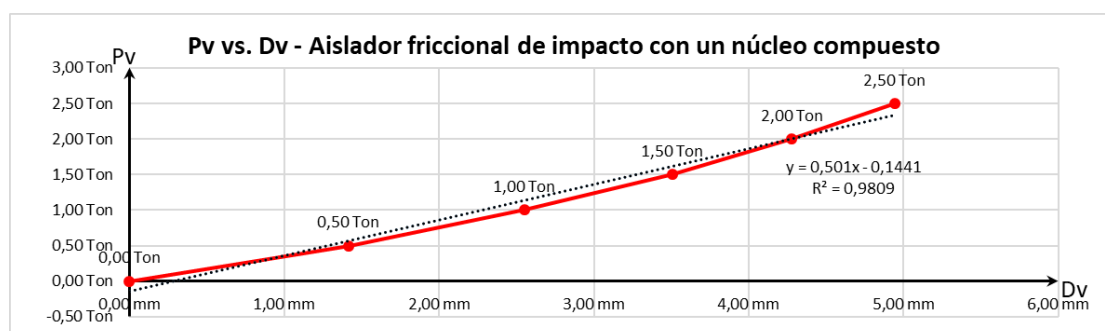


Figura 7. Gráfica Pv – dv del dispositivo sísmico (CeReDeTeC, UTN-FRN, 2025)



Figura 8. Ensayos a carga horizontal del dispositivo sísmico (CeReDeTeC, UTN-FRN, 2026)

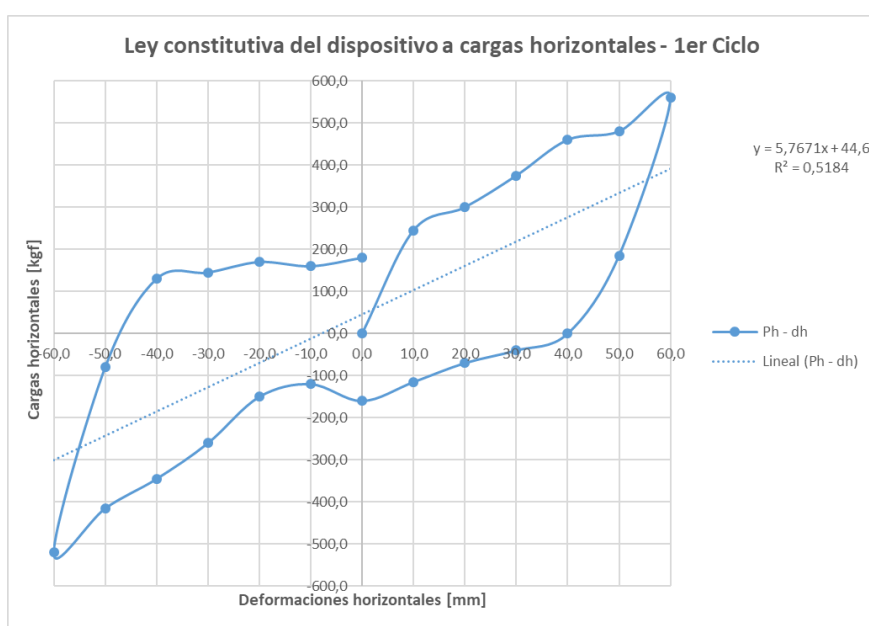


Figura 9. Ley constitutiva Ph - dh del dispositivo sísmico (CeReDeTeC, UTN-FRN, 2026)

Conclusiones

El núcleo de goma en el deslizador compuesto del dispositivo sísmico, le otorga más energía de disipación, porque en los ensayos a carga horizontal se generó una deformación horizontal extra que podría ser reservada como Régimen V del típico aislador friccional de triple péndulo. Lo cual se valida, mediante la Ley constitutiva del dispositivo (Figura 9)

El período del dispositivo sísmico friccional de 2 s, depende del radio de curvatura y no del peso, a lo que le corresponde un radio de curvatura de 101,45 cm. Y se cumple con los reglamentos de protección sísmica que recomiendan tener un período mayor igual a 2 s, para que, según el espectro sísmico de la Argentina, a ese período de 2 s, obtener demandas de aceleración menores a las de un equipo con fundación tradicional.

La aplicación y el uso inmediato para los dispositivos sísmicos son equipos esenciales de salud, monumentos históricos, motocompresores de yacimientos petroleros, centrales hidroeléctricas, servidores de internet, etc. Y si tengo un equipo que pesa 8 Tn, le correspondería 4 dispositivos sísmicos, es decir, si existe un equipo más pesado, puedo colocar más cantidad de dispositivos sísmicos hasta equilibrar el peso.

Es factible el diseño y la fabricación de aisladores sísmicos con tecnología local. Respetando y verificando los pertinentes reglamentos de protección sísmica, como NCh2745-03, ASCE/SEI 7-10 y FEMA. Y como ejemplo hemos fabricado nuestro

dispositivo sísmico con tecnología local con un monto de U\$2300 más IVA, ya que, si lo tuviéramos que traer de USA, nos costaría como mínimo U\$7000; y de paso, se fomenta el aprendizaje y el conocimiento en Mendoza, Argentina.

El dispositivo sísmico friccional con deslizador compuesto, soporto sin problemas una carga vertical de 2,5Tn, manifestando una deformación vertical de 5mm ($K_v=0,5\text{Tn/mm}$), lo cual evidencia la capacidad de soportar cargas mayores y el trabajo confinado en integridad del dispositivo, con la minuciosa elección de los materiales componentes.

Referencias

ONU. (28 de enero de 2010). *Más de 3800 desastres naturales en la última década. Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2010/01/1183891>

Tornello, M., Frau, C. (2010). *Experiencias sobre aislamiento sísmico en Mendoza, Argentina*. Diseño, modelación y construcción. Quito: Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. Volumen 15, número 1, 2010. Pp. 1-47. ISSN 1390-0315. ESPE

Gioacchini, G. (2017). *Desarrollo de un dispositivo de aislamiento sísmico con bajo nivel de carga axial*. Argentina: Tesis Doctoral en Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

Tornello, M., Gioacchini, G., Cenas K., Tillar, A. (2022). *Comparación cualitativa e instrumental de las respuestas del edificio aislado y el de base fija de la Residencia Universitaria de la UTN-FRM*. Argentina: VII Congreso Internacional, Ecefi, ISBN 978-950-42-0216-5

Cenas, K., Tornello, M., Gioacchini G. (2023). *Técnicas de protección sísmica basada en el aislamiento sísmico de base*. Argentina: XII Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería EnIDI

Cenas, K., Tornello, M., Gioacchini G. (2024). *Diseño preliminar de aislador sísmico friccional de impacto con un núcleo de goma*. Argentina: VIII Congreso Internacional, Ecefi, ISBN 978-950-42-0244-8

Auad, G., Almazán, J., Quizanga D. (2024). *Validación estática y dinámica del comportamiento lateral del aislador lateral impact resilient double concave friction pendulum (LIR-DCFP)*. Chile: XIII Congreso Chileno de sismología e ingeniería sísmica ACHISINA