

Diseño Preliminar de Aislador Friccional de Impacto con un Núcleo de Goma en su Interior

Preliminary Design of Frictional Impact Isolator with a Rubber Core Inside

Presentación: 12/08/2024

Doctorando:

Kevynn CENAS

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, Argentina
kevynn.cenas@docentes.frm.utn.edu.ar

Director:

Miguel TORNELLO

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, Argentina
miguel.tornello@docentes.frm.utn.edu.ar

Codirector:

Gustavo GIOACCHINI

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, Argentina
ggioacchini@frm.utn.edu.ar

Resumen

En la República Argentina más de las dos terceras partes de su territorio se encuentran en riesgo sísmico y con diminuta protección sísmica. Estudios realizados sobre sismicidades locales y regionales han demostrado el elevado peligro sísmico de importantes provincias del oeste argentino, un ejemplo son Mendoza y San Juan, en dónde la provincia de Mendoza con un poco más de dos millones de habitantes, presenta una importante historia sísmica. En los últimos 200 años han ocurrido no menos de 15 terremotos que ocasionaron distintos niveles de daños en las construcciones y en algunos casos se ha tenido que lamentar la pérdida de vidas humanas. El antecedente histórico más conocido lo constituye el terremoto de 1861, que provocó la destrucción total de la ciudad y ocasionó la muerte del 60 % de las personas que habitaban la ciudad. El avance tecnológico de los últimos años ha permitido contar con nuevos desarrollos e innovaciones tecnológicas que tiendan a reducir y controlar el efecto de los terremotos destructivos sobre las construcciones emplazadas en regiones de alto riesgo sísmico. El trabajo consiste en el diseño preliminar de un dispositivo friccional de aislamiento sísmico para equipos esenciales y contenidos. Se desarrolla el marco teórico y la capacidad de soportar eventos sísmicos. El trabajo se completa con, i) información sobre la respuesta del equipo diseñado localmente frente a sismos sensibles ocurridos en la región registrados por el instrumental sísmico del Ceredetec, ii) características generales del dispositivo de aislamiento sísmico en relación a su mecanismo particular de disipación de energía.

Palabras clave: protección sísmica - aislamiento sísmico – dispositivo friccional.

Abstract

In the Argentine Republic, more than two-thirds of its territory is at seismic risk and with minimal seismic protection. Studies carried out on local and regional seismicity have demonstrated the high seismic danger of important provinces in western Argentina, an example is Mendoza and San Juan, where the province of Mendoza, with a little more than two million inhabitants, has an important seismic history. In the last 200 years, no less than 15 earthquakes have occurred,

causing varying levels of damage to buildings and in some cases loss of human life. The best-known historical precedent is the earthquake of 1861, which caused the total destruction of the city and caused the death of 60% of the people who lived in the city. The technological advance of recent years has made it possible to have new developments and technological innovations that tend to reduce and control the effect of destructive earthquakes on buildings located in regions of high seismic risk. The work consists of the preliminary design of a frictional seismic isolation device for essential equipment and contents. The theoretical framework and the capacity to withstand seismic events are developed. The work is completed with, i) information on the response of the locally designed equipment to sensitive earthquakes that occurred in the region recorded by the Ceredetec seismic instruments, ii) general characteristics of the seismic isolation device in relation to its particular earthquake dissipation mechanism. energy.

Keywords: seismic protection - seismic isolation - frictional device.

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.

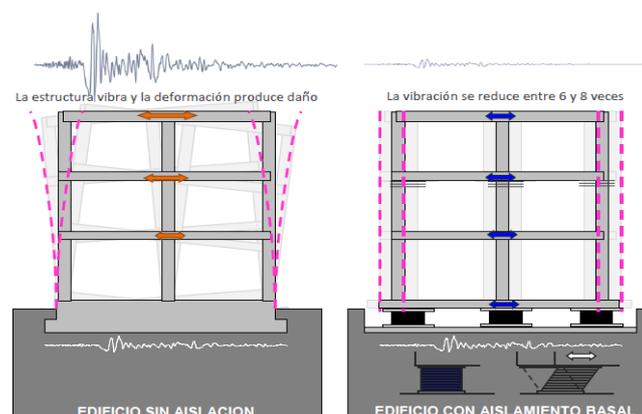


Figura 1. Respuesta entre un edificio tradicional y un edificio aislado en su base (Tesis Doctoral, Gustavo Gioacchini, 2017)

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.

Los beneficios del aislamiento sísmico han quedado demostrado a nivel mundial en diversas oportunidades. En tal sentido se puede citar el caso del edificio aislado de la residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza de la UTN (Tornello M. et al, 2007). En Sudamérica, Chile, es el país que más utiliza dispositivos de aislamiento sísmico. Las aplicaciones más relevantes son: un edificio de cuatro niveles para viviendas económicas conformado por dos departamentos de 50 m² cada uno aislado con dispositivos elastoméricos a base de láminas de caucho reforzado con acero; un puente de 383 metros de longitud (Marga-Marga), con un único tablero continuo apoyado en 36 aisladores elastoméricos reforzados con láminas de acero; un tramo elevado de 5 a 8 metros de la línea 5 del metro de Santiago, un edificio destinado al Hospital Militar que consta de una superficie de 50 000 m², posee cuatro niveles por encima del sistema de aislamiento, se utilizaron 164 aisladores elastoméricos reforzados con placas de aceros con diámetros de 70 y 90 cm. y el mismo representa, actualmente, la estructura aislada de mayores dimensiones en América Latina. Entre las obras de infraestructura puede citarse el puente Amolanas de 268 metros de longitud. En los estribos y pilas existen dos apoyos de neopreno en una caja fija de acero con lámina de teflón a excepción de la pila más alta donde sólo hay apoyo de neopreno. En ambos estribos hay dos amortiguadores visco elásticos de Taylor Devices Inc. de 300 toneladas (Gioacchini G. et. al, 2015).

Desarrollo

Diseño de aisladores del tipo friccionales

El principio de los aisladores friccionales se basa en la ley de fricción de Coulomb dada por la Ecuación 1:

$$F_f = \mu N_n \quad (1)$$

Dónde: N_n = Fuerza normal en la interface de aislación
 $\mu = \tan(\phi)$, coeficiente de fricción
 ϕ = Ángulo de roce medido entre la normal a la superficie y la dirección de la reacción sobre el cono de fricción

La disipación de energía se realiza a través del amortiguamiento de Coulomb o de fricción en seco, la cual es proporcional al coeficiente cinético de fricción, a la carga normal y a la amplitud el movimiento. El coeficiente de fricción es función de la naturaleza de la superficie de deslizamiento, velocidad relativa y de la presión de contacto, la cual puede variar con el tiempo. Investigaciones realizadas sobre dicho coeficiente de fricción concluyeron que la variación del coeficiente puede modelarse de acuerdo a la Ecuación 2:

$$\mu_{(t)} = \mu_{max} - (\mu_{max} - \mu_{min}) \exp(-b_f |\dot{x}_b|) \quad (2)$$

Dónde: μ_{max} = coeficiente de fricción a velocidades altas
 μ_{min} = coeficiente de fricción a velocidades cercanas a cero
 b_f = parámetro que controla la variación del coeficiente de fricción en función de la velocidad
 \dot{x}_b = Velocidad de deslizamiento.

El periodo asociado a la rigidez lateral u horizontal del aislador friccional ($K=W/r$), recta que pasa por el origen viene dado por la expresión siguiente (Ecuación 3):

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{K}{m}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{W}{r m}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{m g}{r m}}} = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}} \quad (3)$$

La expresión anterior indica que el periodo no depende de la masa, por lo tanto, el péndulo friccional permite darle a la estructura aislada un periodo que está en función de las características geométricas del dispositivo, que es este caso, el período del aislador friccional está en función de su radio de curvatura del plato deslizador.

Diseño de aislador friccional de impacto con un núcleo de goma en su interior

En el presente trabajo, se centra en el diseño de un aislador sísmico friccional 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 quirófanos, como, por ejemplo, una cama de cirugía, ver figura 2.



Figura 2. Cama de Cirugía que se colocará arriba del aislador sísmico (Hospital Central, Mendoza, 2024)

El prediseño del dispositivo, comienza asumiendo el período del aislador friccional ($T=2s$) y la carga máxima axial que va a soportar ($N_{m\acute{a}x}=2Tn$), y partiendo de la ecuación (3), por medio de despejes y ordenamiento, llegamos a la Ecuación 4 para obtener el radio de curvatura:

$$r = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \cdot g \quad (4)$$

Obtenemos un radio de curvatura de $r=101,45cm$, y en base a la Ecuación 5 de la Norma Chilena 2745-03 que contempla el diseño de estos dispositivos, nos permite determinar los máximos desplazamiento frente a un evento telúrico, lo cual es importante, porque los Reglamentos Sismorresistentes, recomiendan que el diámetro del dispositivo friccional, tiene que ser como mínimo el doble del desplazamiento máximo ($d=2Dm$):

$$Dm[mm] = \frac{Cd \cdot Mm}{Bd} = \frac{300 Z \cdot Mm}{Bd} \quad (5)$$

Dónde:

Cd = Coeficiente de tipo de suelo

Bd = Coeficiente de amortiguamiento efectivo, se obtiene de la Tabla C-2 NCh2745-03

Z = Coeficiente de zona, se obtiene de la Tabla 5 NCh2745-03

Mm = Parámetro de mayoración, se obtiene de la Tabla 3 NCh2745-03

Ahora, se definen los materiales que van a componer el aislador friccional. El plato superior e inferior son de acero, el deslizador superior e inferior son de teflón con $\mu=0,08$ y $\sigma_t=4,6 \text{ kN/cm}^2$, y el núcleo interior es de goma de caucho con $\sigma_c=5\text{Mpa}$; respetando y verificando los reglamentos: NCh2745-03, ASCE/SEI 7-10 y FEMA, obtenemos el diseño preliminar del aislador friccional de impacto con un núcleo de goma en su interior, como la siguiente imagen:

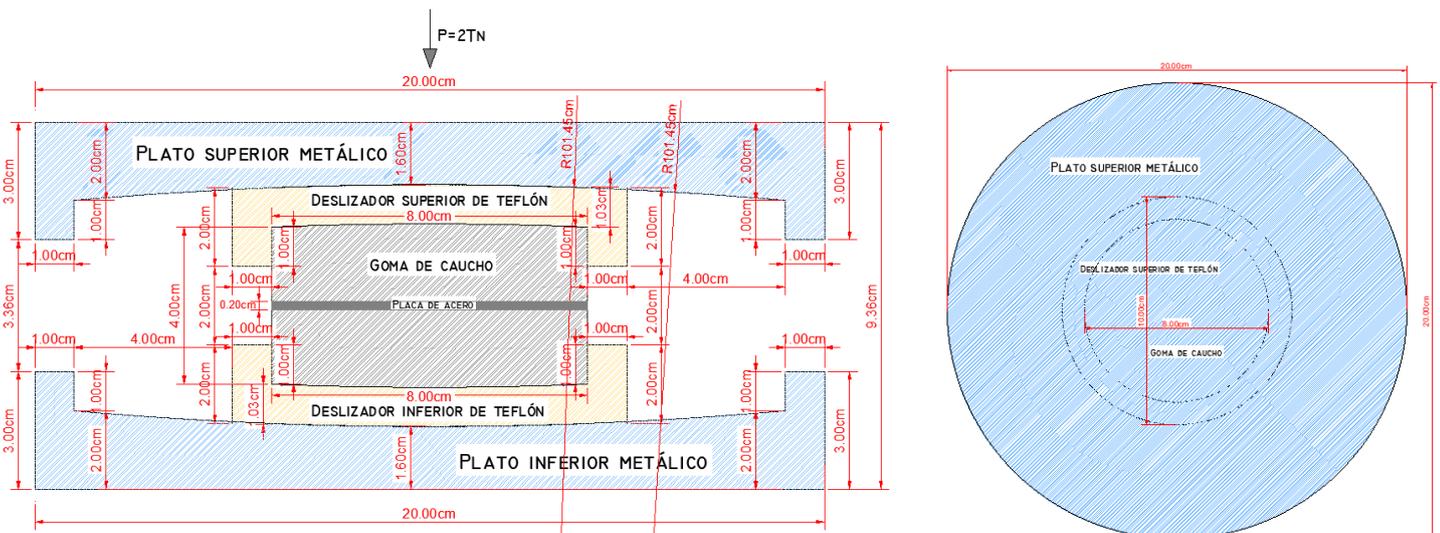


Figura 3. Diseño preliminar de Aislador friccional de impacto con un núcleo de goma en su interior (izquierda); y vista superior (derecha)

Resultados

Avanzando con el prediseño del dispositivo, y verificando los reglamentos sismorresistentes ut supra, llegamos a las tablas resumen con los parámetros geométricos y mecánicos, de la parte elastomérica (goma) y de la parte friccional (platos de acero y deslizador)

Tabla 1. Resumen de parámetros de parte elastomérica del aislador sísmico

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO - PARTE ELASTOMÉRICA		
Descripción	Valor	Unidad
Período asumido (Ti)	2,00	s
Altura total (H)	4,00	cm
Diámetro (d)	8,00	cm
Tipo	H5	adim.
Espesor goma (tr)	1,9	cm
Espesor placa de acero (ts)	0,2	cm
Esfuerzo de compresión (σ_{adm})	5,00	Mpa
Módulo de elasticidad longitudinal (E)	5,90	Mpa
Módulo de elasticidad transversal (G)	0,64	Mpa
Área	50,27	cm ²
Esfuerzo normal (N)	19,62	kN
Esfuerzo de compresión (σ_c)	3,90	Mpa
Rigidez mínima lateral (Kmin.Lat)	19,74	kN/m
Rigidez horizontal (Kh)	84,66	kN/m
Verificación de Esfuerzos: $\sigma_c < \sigma_{adm}$	Si Verifica	adim.
Módulo de compresión confinado (Ec)	18,97	Mpa
Rigidez vertical teórica del aislador (Kv)	2509,94	kN/m

Tabla 2. Resumen de parámetros de parte friccional del aislador sísmico

DISEÑO DE AISLADOR SÍSMICO - PARTE FRICCIONAL		
Descripción	Valor	Unidad
Período asumido (Ti)	2,02	s
Radio de curvatura (r)	1,01	m
Tension admisible del Teflon del deslizador (σ_{adm})	4,60	kN/cm ²
Coefficiente de fricción (μ)	0,08	adim.
Esfuerzo normal para posición extrema (N)	19,62	kN
Diámetro requerido del deslizador (d1) para la posición	2,33	cm
Diámetro adoptado del deslizador (d1) para la posición	10,00	cm
Tension admisible del Teflon del deslizador (σ_f)	0,25	kN/cm ²
Área del deslizador d1 (Ad1)	78,54	cm ²
Verificación de Esfuerzos: $\sigma_t < \sigma_{adm}$	Si Verifica	adim.

En próximas investigaciones y en un mayor grado de avance de la Tesis Doctoral, se pretende determinar el amortiguamiento efectivo y la energía máxima de disipación. También, poder fabricarlo con tecnología local, y otorgarle usos aplicativos en equipos esenciales, como los equipos quirúrgicos. A continuación, se muestran las leyes constitutivas teóricas de la goma y de la parte metálica friccional.

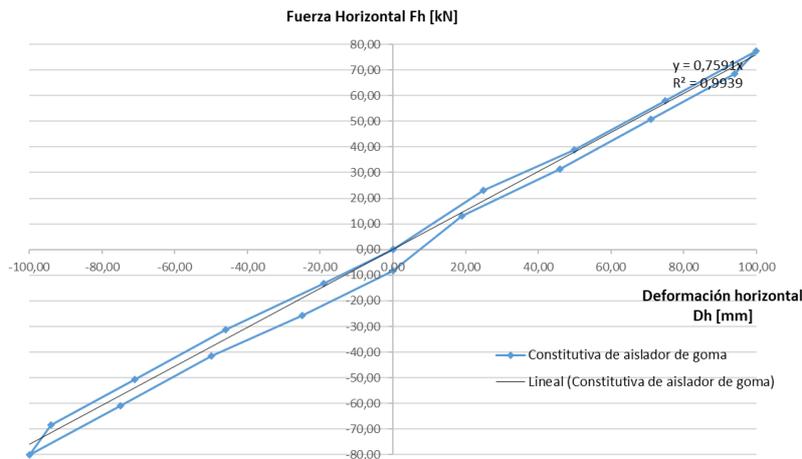


Figura 4. Ley constitutiva de aislador elastomérico de goma APA I-1 ensayado en el Ceredetec (marzo de 2024)

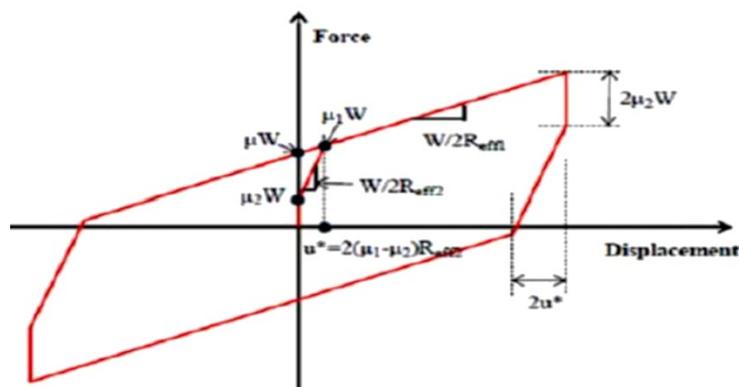


Figura 5. Ley constitutiva de aislador friccional de triple péndulo (Zayas, et al., 2016)

En base a la teoría de las figuras 4 y 5, componemos la Ley constitutiva para nuestro dispositivo de aislación sísmica. La figura 6, está descrita por 3 puntos característicos: zona elástica de goma, zona gobernada por el friccional de impacto; y finalmente, por la deformación de la goma en el borde del plato metálico.

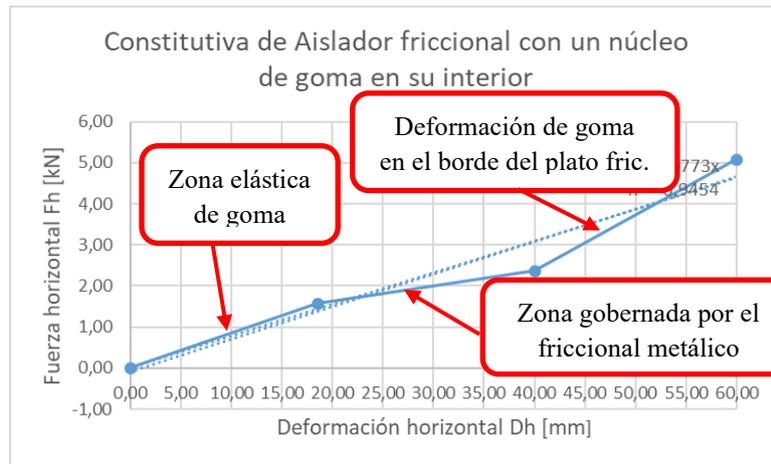


Figura 6. Constitutiva de Aislador friccional con un núcleo de goma en su interior (Cenas, 2024)

Conclusiones

Se observa que la Ley constitutiva de aislador friccional de impacto con un núcleo de goma en su interior (figura 6), sigue una forma trilineal, lo cual podría tener una importante disipación de energía sísmica.

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 101,45cm.

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.

Es factible la fabricación de aisladores sísmicos con tecnología local. Respetando y verificando los pertinentes reglamentos sismorresistentes, como NCh2745-03, ASCE/SEI 7-10 y FEMA.

Referencias

ONU. (2010). Noticias ONU, Mirada Global Historias Humanas

Konstantinidis D, Makris N. (2005). Experimental and analytical studies on the seismic response of freestanding and anchored laboratory equipment, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. PEER-2005/07

Cordone J. (2015). Protección sísmica de depósitos con líquidos peligrosos emplazados en regiones de alto riesgo sísmico mediante aislamiento de base, Director: Dr. Tornello M., Tesis Doctoral, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Mendoza

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

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

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

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), XIII Congreso Chileno de sismología e ingeniería sísmica ACHISINA.