

Nuevos desarrollos en sistemas de control de vibraciones

AMBROSINI, Daniel^{a,b}; DOMIZIO Martín^{a,b}; CAMPI Andrés^{a,b}; CUERVO Facundo^{a,b}; BARLEK Pablo^c; LUCCIONI Bibiana^{d,b}

^aFacultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo

^bCONICET

^cINPRES

^dInstituto de Estructuras, Universidad Nacional de Tucumán

Resumen

En los últimos años se ha registrado una importante actividad en las áreas de control de vibraciones y aislamiento sísmico de estructuras civiles e industriales, que han contribuido a mejorar el comportamiento estructural. Sin embargo, existen todavía puntos que se encuentran no resueltos y son motivo de investigación. En particular, estructuras de viviendas, nuevas o ya construidas, de baja altura y alta frecuencia fundamental registran pocas soluciones disponibles para el mejoramiento de la seguridad estructural. Por otra parte, el desarrollo de nuevos sistemas de control de vibraciones es un área permanentemente abierta a la investigación y desarrollo.

En este trabajo se presentan tres nuevos desarrollos en el área de control de vibraciones de estructuras sometidas a acciones sísmicas: a) Amortiguadores de líquido sintonizados de alta frecuencia, b) Paneles de fricción generalizada y c) Aislamiento sísmico de bajo costo para viviendas urbanas.

Se detalla el funcionamiento de estos sistemas, priorizando la descripción de los principios físicos que los definen y se resaltan sus ventajas e inconvenientes.

Palabras clave: Control de vibraciones, Amortiguadores de líquido sintonizados, Disipación de energía, Aislamiento geotécnico

New developments in vibration control systems

Abstract

In recent years there has been significant activity in the areas of vibration control and seismic isolation of civil and industrial structures, which have contributed to improving structural behaviour. However, there are still unresolved issues that are the subject of research. In particular, new and existing low-rise, high-frequency fundamental housing structures have few solutions available for the improvement of structural safety. On the other hand, the development of new vibration control systems is an area of ongoing research and development.

This paper presents three new developments in the area of vibration control of structures subjected to seismic actions: a) High frequency tuned liquid dampers, b) Generalised friction panels and c) Low-cost seismic isolation for urban dwellings.

The performance of these systems is detailed, prioritising the description of the physical principles that define them and highlighting their advantages and disadvantages.

Keywords: *Vibration control, Tuned liquid dampers, Energy dissipation, Geotechnical isolation*

Introducción

Es de importancia destacar que, de la superficie continental total de Argentina (cerca a 2.800.000 Km²), aproximadamente un tercio de la misma está comprendido dentro de las zonas de peligrosidad sísmicas de moderada, elevada y muy elevada. Si bien la mayor parte de la actividad sísmica se concentra en las regiones central y norte del oeste de Argentina, el problema del diseño y construcción sismorresistente abarca la totalidad del territorio nacional, como se verifica en el diseño de centrales nucleares ubicadas en la Provincia de Buenos Aires.

Uno de los principales y actuales desafíos en la Ingeniería, es el desarrollo de conceptos innovadores de diseño para construir estructuras más seguras o bien recuperar y/o aumentar los niveles de seguridad de estructuras existentes. La concepción y posterior realización de prototipos de sistemas de control de vibraciones, aislamiento sísmico, y disipación de energía de bajo costo, factibles de ser construidos por la industria nacional con la potencial exportación de dichos dispositivos a otros países con problemática ante cargas sísmicas, representan un considerable impacto en el desarrollo tecnológico y económico de nuestro país. Considerando el beneficio económico que se logra debido a la mejora en el desempeño y seguridad de las estructuras provistas de estos dispositivos y sistemas, como también el crecimiento económico en la región donde se desarrolle esta tecnología, resulta de importancia el desarrollo de sistemas que mitiguen las consecuencias de esta acción dinámica.

En este trabajo se presentan tres nuevos desarrollos en el área de control de vibraciones de estructuras sometidas a acciones sísmicas: a) Amortiguadores de líquido sintonizados de alta frecuencia, b) Paneles sismorresistentes de fricción generalizada y c) Aislamiento sísmico de bajo costo para viviendas urbanas.

Amortiguadores de líquido sintonizados de alta frecuencia. ALS-AF.

Domizio M., Ambrosini D., Campi A.

Los dispositivos de control de vibraciones pasivos desarrollan fuerzas en respuesta al movimiento de la estructura, sin necesidad de una fuente de energía externa. Se produce de este modo una transferencia o disipación concentrada de energía, con la consecuente reducción de la demanda estructural. Su empleo es capaz de modificar las características de la estructura en cuanto a rigidez, resistencia y amortiguamiento equivalente. El uso de dispositivos pasivos para estructuras civiles tiene una historia de poco menos de medio siglo y se encuentra en constante crecimiento. En dicho período numerosos dispositivos fueron instalados, especialmente en Japón, México y Estados Unidos, en estructuras existentes y nuevas, con el objeto de mejorar su desempeño ante cargas de viento y sismo. En la actualidad, también están en desarrollo dispositivos activos e híbridos, aunque esta alternativa no se considera la ideal para nuestra región debido a sus costos, demanda de energía y mantenimiento. En particular, resultan de interés los amortiguadores de masa sintonizados (AMS) y amortiguadores de líquido sintonizados (ALS). Yang et al. (2022) que presentan un completo estado del arte de sistemas de control de vibraciones a través de amortiguadores de masa sintonizados.

En relación a la aplicabilidad de ALS para acciones sísmicas, existen evidencias preliminares de su conveniencia en Abd-Elhamed y Tolan (2022) y Tang et al. (2022). También para este caso hay propuestas recientes para su uso en la disminución de efectos torsionales (Pandey y Mishra, 2018). A pesar de la importante producción científica en este campo, y si bien los AMS y ALS tienen también un tiempo prolongado de utilización, prácticamente no existen desarrollos de este tipo para

viviendas urbanas de 1 o 2 pisos debido a que las altas frecuencias de esas estructuras (4-8 Hz) hacen muy difícil su implementación. Solamente hay algunos desarrollos para edificios de 5 a 6 pisos (Salvi et al. 2018). Por ello, resulta de gran importancia para la zona de Cuyo desarrollar este tipo de dispositivos de alta frecuencia.

La idea original, presentada en Domizio et al. (2024), consiste en aumentar la frecuencia de vibración del líquido del ALS a través de una tapa y resortes de acero. El esquema del dispositivo desarrollado se presenta en Fig. 1 y en Fig. 2 una fotografía del mismo, colocado encima de un modelo a escala.

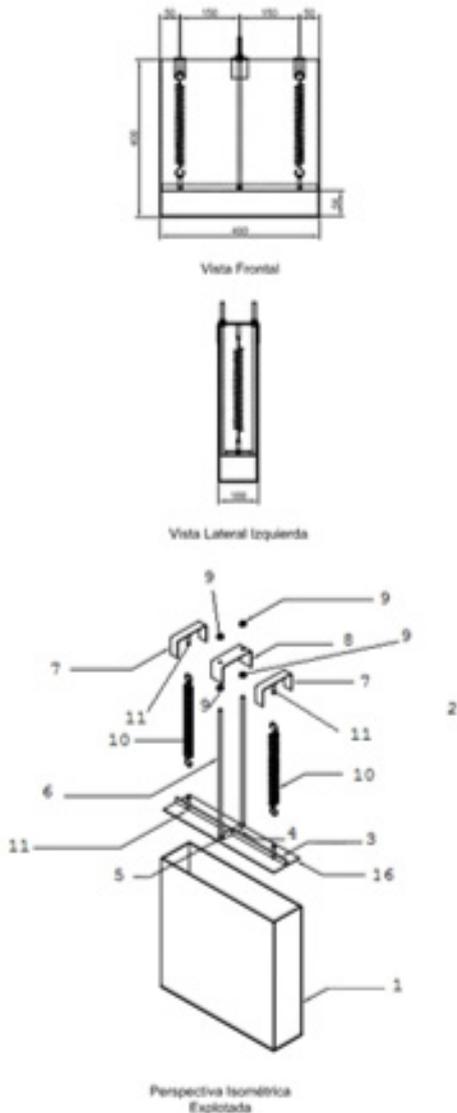


Fig. 1. Esquema de ALS-AF

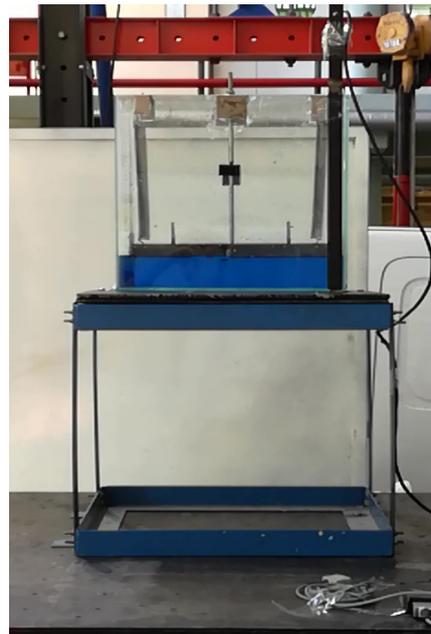


Fig. 2. ALS-AF sobre modelo a escala

Se comprobó experimentalmente el desempeño del ALS-AF. Para ello se construyó un modelo a escala de una estructura de 1 piso, con frecuencia fundamental de 3 Hz. El modelo se ensayó en una mesa vibratoria, sin sistema de control, con ALS clásico y con ALS-AF. El esquema de ensayo se presenta en Fig. 3.

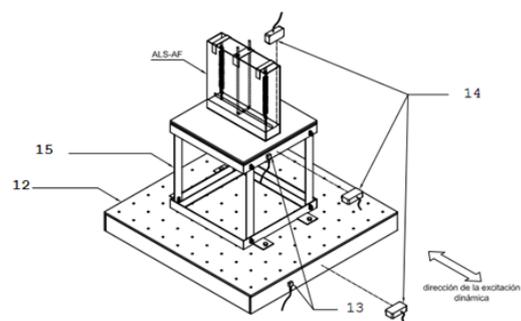


Fig. 3. Esquema de ensayo

El modelo fue sometido a los terremotos de Landers 1992, Mendoza 1985 y Northridge 1994, los cuales tienen contenidos de frecuencias cercanos a los 3 Hz. Además, se sometió al modelo un barrido en frecuencia en torno a los 3 Hz.

En todos los casos se midieron los desplazamientos relativos y las aceleraciones absolutas en el borde libre de la estructura. En Fig. 4 se presenta

la respuesta en frecuencia para el caso de barrido en frecuencia y en Fig. 5 la historia en el tiempo para los 3 acelerogramas utilizados.

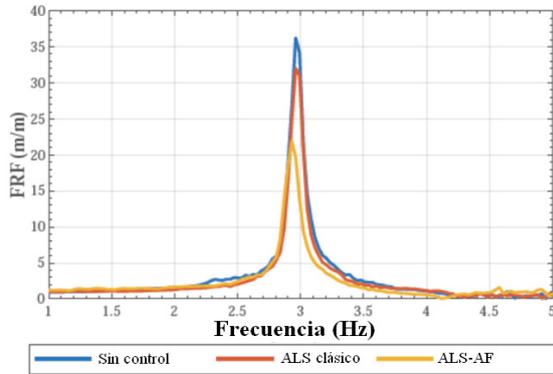


Fig. 4. Respuesta en frecuencia

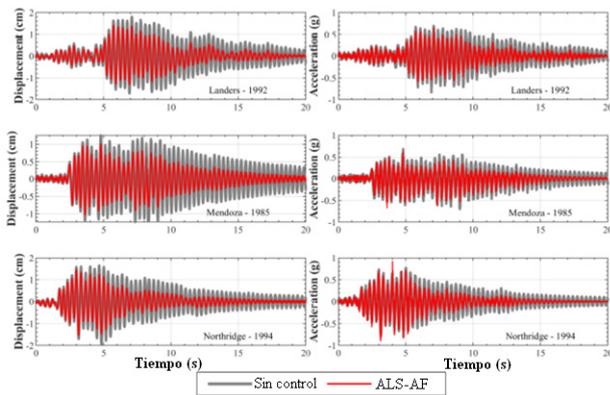


Fig. 5. Historia en el tiempo de la respuesta. Izquierda desplazamientos y derecha aceleraciones

Para una relación de masas del dispositivo del 5% se obtuvo una reducción promedio en valores RMS de desplazamientos y aceleraciones del 30%, una reducción promedio del 20% de los valores máximos de desplazamientos relativos y una reducción del 9% de los valores máximos de las aceleraciones absolutas.

Paneles sismorresistentes de fricción generalizada. PSFG

Barlek P., Ambrosini D., Luccioni B.

Inicialmente, debe mencionarse que es muy incipiente el desarrollo de paneles pasivos de disipación de energía. En primer lugar, deben mencionarse los paneles de mampostería semi-enclavados (SIM, por su sigla en inglés) que disipan energía por fricción. Se trata de paneles de mampostería

hechos de unidades semi-enclavadas, unidas en seco, capaces de deslizamiento relativo en el plano de la pared y entrelazados para evitar el deslizamiento relativo fuera del plano de la pared (Totoev 2015, Lin et al. 2015). Un desarrollo más reciente son los paneles de placas de acero con revestimientos de fibrocemento y yeso, aumentando su capacidad de disipación por medio de los revestimientos (Mohebbi et al. 2016). También se han desarrollado: sistema de placas de acero corrugado y agujereadas (Bahrebar et al. 2016), sistemas innovadores de paneles tipo sándwich compuestos de dos placas de hormigón separados por una capa aislante de poliestireno y con dos mallas de acero en cada extremo (Palermo y Trombetti 2016) y panel compuesto por perfiles conformados en frío rellenos de hormigón (Zhang et al. 2016). Existen también desarrollos de sistemas híbridos, como el presentado en Dimakogianni et al. (2015) en el cual el sistema está formado por dos columnas de acero unidas por fusibles de tipo viga o patas circulares de acero. En este trabajo se propone una nueva alternativa de paneles de disipación de energía pasivos, basados fundamentalmente en la disipación por fricción, combinada con la transferencia de energía a través de la sintonización con la estructura principal.

En este caso, la idea original del Panel Sismorresistente de Fricción Generalizada (PSFG) es presentada en Barlek et al. (2023), y consiste en un pórtico metálico (aluminio, acero, etc.) constituido por perfiles U, colocados en forma de canaleta, en los que se les incorporan bloques de plomo simplemente apoyados sobre los canales. Al iniciarse el movimiento, los bloques de plomo deslizan en los canales, disipando energía por fricción entre las superficies. Se testearon distintas superficies de contacto, en orden a optimizar el coeficiente de fricción. El PSFG se coloca en los vanos de una estructura aporticada, reemplazando otro tipo de relleno, como pueden ser los muros de mampostería. Además, se puede ajustar la masa y rigidez del PSFG de modo de que esté sintonizado con la frecuencia fundamental de la estructura principal y por lo tanto también trabaje como Amortiguador de Masa Sintonizado.

En Fig. 6 se presenta un esquema del PSFG, colocado en el interior de un pórtico de hormigón armado.

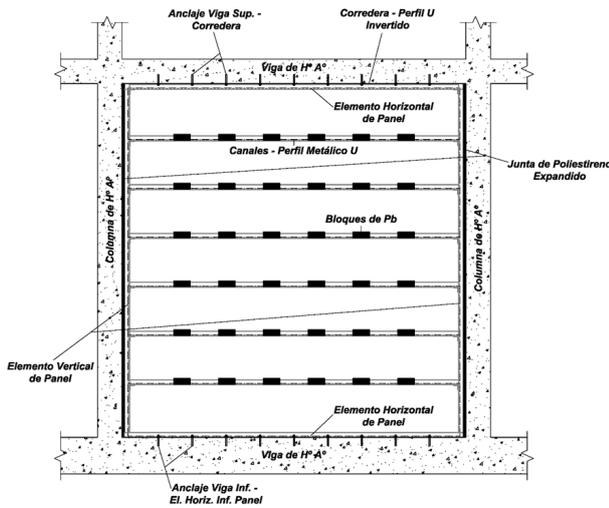


Fig. 6. Esquema de PSFG

En Fig. 7 se presenta un esquema de la sección canal con el bloque de plomo incorporado en el mismo.



Fig. 7. Esquema del perfil U con bloque de plomo incorporado

Se construyó un PSFG con perfiles de aluminio y con los respectivos bloques de plomo y se lo ensayó en mesa vibratoria ante diferentes sismos. Esto permitió calibrar los modelos numéricos y ensayar varias superficies de contacto, sobre todo de teflón. En Fig. 8 se presenta el prototipo ensayado.



Fig. 8. Prototipo de PSFG ensayado.

Se desarrolló un modelo numérico del panel utilizando el software ANSYS Mechanical, el cual fue calibrado con los resultados experimentales. Se presenta un esquema del modelo en Fig. 9.

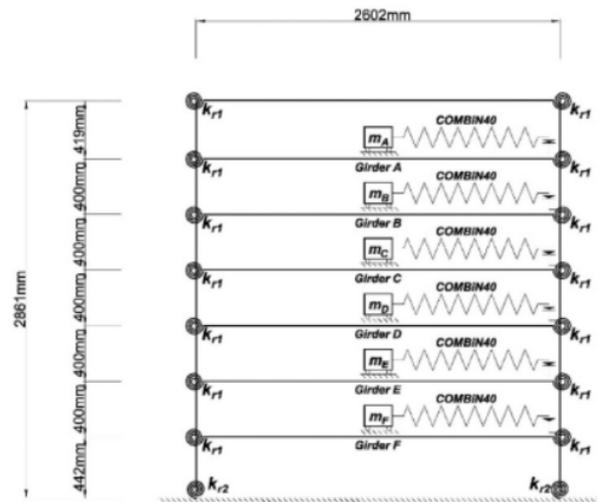


Fig. 9. Modelo numérico del PSFG

Para comprobar la eficiencia del PSFG se realizaron modelos numéricos de edificios típicos a los que se les incorporó el modelo numérico desarrollado del PSFG. Se presentan resultados para un edificio de 10 pisos cuyo modelo se grafica en Fig. 10.

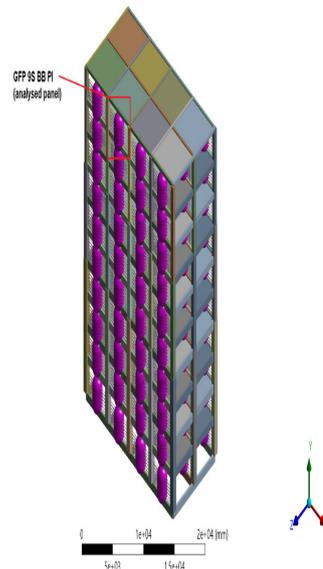


Fig. 10. Modelo numérico de edificio de 10 pisos con PSFG.

Se sometió el modelo a diferentes registros sísmicos. Se presentan en Fig. 11 los resultados para el sismo de Kocaeli con una masa de paneles de

10% y un coeficiente de fricción de 0.5. En Fig. 12 se presenta la disminución de esfuerzos internos para el mismo sismo.

Se concluyó que los paneles PSFG tenían una muy buena eficiencia en la reducción de esfuerzos en el caso de edificios altos y sismos de larga duración.

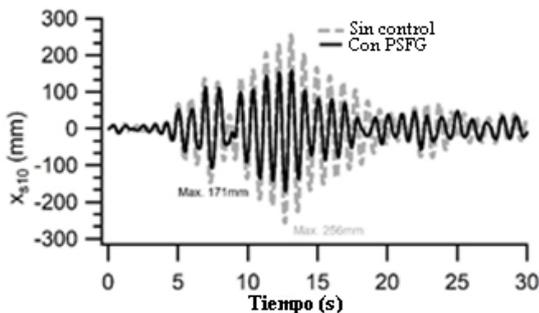


Fig. 11. Respuesta de edificio de 10 pisos sin y con PSFG. Sismo Kocaeli

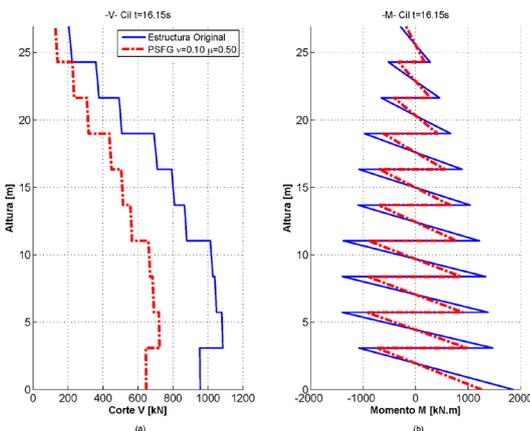


Fig. 12. Respuesta de edificio de 10 pisos sin y con PSFG. Sismo Kocaeli

Aislamiento sísmico de bajo costo para viviendas urbanas

Cuervo F., Ambrosini D., Domizio M.

Si bien el aislamiento sísmico se está utilizando hace varias décadas en países de Europa, Estados Unidos, Japón, etc. (Ahmad et al. 2022; Clemente and Martelli 2019; Nakamura and Okada 2019), su aplicación en países de Latinoamérica como Argentina y Chile es

incipiente. En particular, en la provincia de Mendoza existen sólo 2 edificios aislados, pertenecientes a Universidades. En prácticamente la totalidad de los casos, se trata de desarrollos aplicables a edificios en altura o estructuras de importancia tales como centrales nucleares, museos, edificios históricos etc., en los cuales el costo de los aisladores es pequeño comparado con el costo total de la obra. Son prácticamente inexistentes en la literatura desarrollos aplicables a estructuras de vivienda, de uno o dos pisos, las cuales son las más comunes en la zona de Cuyo. Por ejemplo, Habieb et al. (2018) alertan sobre esta vacancia y proponen un tipo de aisladores elastoméricos de bajo costo y Tsiavos et al. (2019) estudian un estrato granular de arena y goma como estrategia de aislación sísmica de bajo costo. Recientemente, Giuseppe et al. (2023) proponen un sistema híbrido de aislación y refuerzo y Zhang et al. (2023) proponen una capa de arena marina para aislación ante sismos generados por explosiones. Teniendo en cuenta que, en las provincias de más alto riesgo sísmico de Argentina, Mendoza y San Juan, predominan las viviendas de mampostería de baja altura y, además, que los sismos de la zona tienen rango de frecuencias coincidentes con la frecuencia fundamental de dichas viviendas, surge claramente la necesidad e importancia de desarrollar soluciones de bajo costo aplicables a esta tipología estructural.

En este trabajo se propone el desarrollo de nuevos sistemas de aislación continuos, a ser aplicados precisamente debajo de zapatas continuas bajo muros. Teniendo en cuenta que en la Argentina se desechan 150.000 neumáticos usados por año y que cada neumático tarda 600 años en degradarse, esto constituye un claro problema ambiental. Por ello, se decidió utilizar la goma triturada de neumáticos usados como material para construir el aislamiento sísmico.

Inicialmente, se eligió una vivienda tipo del Instituto Provincial de la Vivienda de Mendoza para estudiar el aislamiento propuesto. Se presenta en Fig.13 la planta típica de la vivienda seleccionada y en Fig. 14 el modelo numérico desarrollado, incluyendo el suelo.



Fig. 13. Planta típica de la vivienda seleccionada

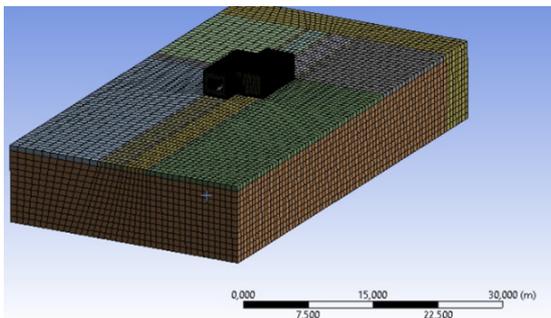


Fig. 14. Modelo numérico de vivienda y suelo

Se eligió un perfil de suelos típico de la ciudad de Mendoza. El modelo de vivienda con suelo tiene una frecuencia de 7 Hz. Se modeló el aislamiento sobre la fundación de la vivienda y la frecuencia obtenida fue de 2.4 Hz. Las propiedades de la goma triturada fueron obtenidas usando el procedimiento desarrollado en Cuervo et al. (2023). En base a estos datos, se construyó un modelo experimental, que se presenta en Fig. 15.

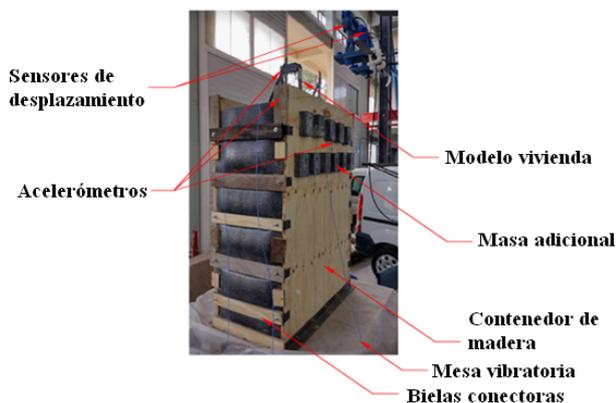


Fig. 15. Modelo experimental

Se representó a través de un sistema de 1 grado de libertad a la vivienda elegida, la cual se la fijó a una base rígida. Posteriormente se llenó el contenedor de suelo natural, obteniendo

experimentalmente la frecuencia buscada de 7 Hz. Finalmente, se llenó el contenedor con goma triturada y se agregaron masas para obtener la frecuencia de 2.4 Hz.

Se sometió el sistema, a través de una mesa vibratoria, a 5 terremotos seleccionados y se obtuvo una reducción de los desplazamientos relativos máximos del 56% y una reducción de aceleraciones absolutas máximas del 20%.

Conclusiones

Se presentan tres nuevos desarrollos en el área de control de vibraciones de estructuras sometidas a acciones sísmicas: a) Amortiguadores de líquido sintonizados de alta frecuencia, b) Paneles sismorresistentes de fricción generalizada y c) Aislamiento sísmico de bajo costo para viviendas urbanas.

Se realizaron ensayos experimentales y modelos numéricos de los sistemas desarrollados, comprobando su eficiencia para la reducción de la respuesta de estructuras sometidas a terremotos.

Los sistemas (a) y (c) son especialmente adecuados para el caso de estructuras bajas de alta frecuencia, para las cuales hay muy pocas soluciones en la literatura.

Agradecimientos

Ambrosini D.

La gratitud es una virtud que pertenece o es parte de la virtud de la justicia y tiene 3 grados: 1) Reconocer que se ha recibido un beneficio para el que no teníamos ningún derecho; 2) Alabar y dar las gracias al bienhechor y 3) Recompensar de algún modo al bienhechor según las posibilidades. Corresponde ahora dar cumplimiento a los dos primeros grados de gratitud con el **Dr. Rodolfo Danesi**. A través del encuentro, organizado en el Instituto de Estructuras, de algún modo, también se concreta el tercer grado de gratitud, por intermedio de su esposa e hijos. Como fue reconocido en el año 2009, cuando se le otorgara el Doctorado Honoris Causa de la Universidad Nacional de Cuyo, el Dr. Danesi tuvo una trayectoria científica

y académica impar, con enormes frutos. Por ello, resulta conveniente distinguir el agradecimiento en dos planos: En el plano institucional y académico y en el plano personal.

En el plano institucional y académico, teniendo en cuenta que en el año 1985 se había creado por el gobierno nacional de entonces el Sistema Interuniversitario de Cuarto Nivel, el Dr. Danesi, cumpliendo un viejo anhelo e intuyendo que estaban las condiciones dadas, crea en 1986 la carrera de postgrado “Magister en Ingeniería Estructural”, poniendo a la Universidad Nacional de Tucumán a la cabeza de dicho plan. Para responder a la pregunta de porqué debemos agradecer este enorme hito en la educación universitaria argentina nos centraremos en dos aspectos: En primer lugar, los 10 jóvenes profesionales que comenzamos dicha carrera, no es que tuviéramos un “derecho” a que la misma existiera, sino que fue una oportunidad “gratuita” (no en el sentido económico) que tuvimos de realizar un postgrado en Ingeniería en Argentina. En segundo lugar, hay que situarse en la época que transitábamos. Los postgrados en Ingeniería en Argentina directamente no existían y los pocos máster y doctores o PhDs en Ingeniería que habían en el país habían realizado sus estudios en el exterior. Hoy en día es muy común encontrar Doctores en Ingeniería y eso es gracias a la semilla que, con enorme esfuerzo y dedicación, plantó el Dr. Danesi. Podría agregarse mucho más en este plano académico, sobre todo por los enormes frutos que dio aquella iniciativa. Dichos frutos, hoy derraman todo lo

recibido en distintas Universidades del país y del mundo, en Institutos de Investigación, empresas, CONICET, etc. En orden a la brevedad, solamente diremos que es un acto de profunda justicia reconocer y agradecer esta obra.

En el plano personal, si bien a lo largo de los años el Dr. Danesi supo honrarnos con su amistad, siempre fue para nosotros “el Dr. Danesi” más que “Rodolfo” reservado para sus amigos más cercanos. Eso es un pequeño ejemplo del enorme respeto que supo ganarse en nuestros corazones. Como “extranjero” llegado de Cuyo, me sorprendía la gran amabilidad, simpatía y don de gente de los tucumanos, pero lo del Dr. Danesi superaba mi imaginación. Para mencionar unos pocos ejemplos: Desde conseguirnos a varios estudiantes de otras provincias casas para vivir en Horco Molle; conseguir entradas para el concierto de Bruno Gelber hasta convencer a la distinguida Profesora Elba Castría para que nos diera clases de gimnasia jazz ¡en las mismas instalaciones del laboratorio de materiales! Por supuesto que estuvo también presente en algunos muy malos momentos personales que nos tocó pasar. Tan es así que con mi familia realmente sentíamos que el Dr. Danesi, Emma, Emmaría, Paulina y Rodolfito, como le decíamos entonces, eran nuestra familia en Tucumán. También nos tuvo bastante paciencia con algunos planteos “gremiales” que hacíamos de vez en cuando. Aquí también tendría cientos de cosas para decir, pero prefiero terminar solamente diciendo: Muchas gracias querido Dr Danesi.

Referencias

Abd-Elhamed A, Tolan M (2022). Tuned liquid damper for vibration mitigation of seismic-excited structures on soft soil. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 9583-9599.

Ahmad S., K. Moin, R. Khan. (2022). State-of-Art-Review: Latest Advancements in Seismic Isolation of Structures. *Civil Engineering and Architecture* 10(2): 567-583

Bahrebar M., Kabir M., Zirakian T., Hajsadeghi M., Lim J. (2016). Structural performance assessment of trapezoidally-corrugated and centrally-perforated steel plate shear walls. *Journal of Construct Steel Res*, 122, 584–594

Barlek P, D. Ambrosini, B. Luccioni (2023). Generalized friction panel: An innovative passive energy dissipation device for structures subjected to seismic loading”, *Engineering Structures*, Vol. 283, 15 May 2023, 115898

- Clemente P., Martelli A.** (2019). Seismically isolated buildings in Italy: State-of-the-art review and applications. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 471–487.
- Cuervo F., M. Domizio, D. Ambrosini** (2023). Dynamic Calibration of the Transverse Elastic Modulus of Shredded Rubber for Use in Seismic Isolation”. *Structural Engineering International*. Published online: 19 Dec 2023.
- Dimakogianni D, Dougka G., Vayas I.** (2015). Seismic behavior of frames with innovative energy dissipation systems (FUSEIS1-2). *Engineering Structures*, 90 83–95
- Domizio, M., Ambrosini, D., Campi, A** (2024). A novel tuned liquid damper for vibration control in high-frequency structures”,., *Engineering Structures*, Vol. 301, Feb. 2024, 117350.
- Giuseppe B., L. Guidi, G. Camarda, P. Sorrentino, A. De Luca.** (2023). Hybrid strategy for the seismic retrofitting of existing buildings through Base Isolation System. *Procedia Structural Integrity*. 44; 1292–1299
- Habieb A., G. Milani, T. Tavio.** (2018), Two-step advanced numerical approach for the design of low-cost unbonded fiber reinforced elastomeric seismic isolation systems in new masonry buildings, *Engineering Failure Analysis*, 90, 380–396.
- Lin K., Totoev Y., Liu H., Guo T.** (2015). In-Plane Behaviour of a Reinforcement Concrete Frame with a Dry Stack Masonry Panel. *Materials*, 9, 108, 1-17
- Mohebbi S., Mirghaderi S., Farahbod F., Sabbagh A., Torabian S.** (2016). Experiments on seismic behaviour of steel sheathed cold-formed steel shear walls clad by gypsum and fiber cement boards. *Thin-Walled Struct*, 104, 238–247
- Nakamura Y., K. Okada.** (2019). Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan. *Geoenvironmental Disasters*. 6:7
- Palermo M., Trombetti T.** (2016). Experimentally-validated modelling of thin RC sandwich walls subjected to seismic loads. *Engineering Structures*, 119 95–109.
- Pandey D, Mishra S** (2018). Moving orifice circular liquid column damper for controlling torsionally coupled vibration, *Journal of Fluids and Structures*, 82, 357-374.
- Salvi J., F. Pioldi, E. Rizzi.** (2018). Optimum Tuned Mass Dampers under seismic Soil-Structure Interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 114, 576-597
- Tang Z, Dong Y, Liu H, Li Z** (2022). Frequency domain analysis method of tuned liquid damper controlled multi-degree of freedoms system subject to earthquake excitation. *Journal of Building Engineering*. 48, 103910
- Totoev Y.** (2015). Design Procedure for Semi Interlocking Masonry. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 9, 517-525
- Tsiavos A., N. Alexander, A. Diambra, E. Ibraim, P. Vardanega, A. Gonzalez-Buelga, A. Sextos** (2019), A sand-rubber deformable granular layer as a low-cost seismic isolation strategy in developing countries: Experimental investigation. *Soil Dyn. and Earthq. Engrn.*, 125, 1–13.
- Yang F, Sedaghati R, Esmailzadeh. E** (2022). Vibration suppression of structures using tuned mass damper technology: A state-of-the-art review. *J. of Vibration and Control*, 28(7-8), 812-836.
- Zhang X., Qin Y., Chen Z.** (2016). Experimental seismic behavior of innovative composite shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*, 116 218–232.

Zhang H., C. Song, M. Wang, Y. Cheng, S. Yue, C. Wu. (2023). A geotechnical seismic isolation system based on marine sand cushion for attenuating ground shock effect: Experimental investigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 168; 107854.

AUTORES

AMBROSINI, Daniel ID  ORCID 0000-0002-9984-825X

DOMIZIO, Martín ID  ORCID 0000-0003-2877-2750

CAMPI, Andrés

CUERVO, Facundo

BARLEK, Pablo ID  ORCID 0000-0002-5077-064X

LUCCIONI, Bibiana ID  ORCID 0000-0003-2860-8117



REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología