

## Evaluación sísmica de estructuras con amortiguadores de fluido viscoso no-lineal usando la curva de capacidad dinámica

*Seismic evaluation of structures with non-linear viscous fluid dampers using the dynamic capacity curve*

Alarcón-López, V. M.<sup>1</sup> , Bañuelos-Gracia, F. H.<sup>2\*</sup> 

### Historial del artículo

Recibido: 15-oct-2025

Aceptado: 25-nov-2025

Disponible en línea: 8-feb-2026

### Palabras clave

*ES:* Evaluación sísmica, Amortiguadores de fluido viscoso, Curva de capacidad dinámica

*EN:* Seismic evaluation, Fluid viscous dampers, Dynamic capacity curve

### RESUMEN

Los terremotos generan demandas sísmicas que, en regiones como el Valle de México, se ven amplificadas por las condiciones de suelo, pudiendo superar la capacidad de las estructuras convencionales. Para reducir el daño estructural, se han incorporado sistemas de control sísmico que disipan parte de la energía de entrada, destacando los amortiguadores de fluido viscoso no lineales por su eficiencia y confiabilidad. No obstante, estos dispositivos introducen amortiguamiento no clásico, lo que complica el uso de métodos de análisis tradicionales. Ante ello, se propone evaluar estructuras con amortiguadores considerando un amortiguamiento inherente equivalente que integre el efecto de los dispositivos, utilizando análisis historia-tiempo y curvas de capacidad dinámica como herramientas de comparación. Este enfoque busca simplificar la evaluación sísmica sin perder representatividad del comportamiento estructural, facilitando la identificación de configuraciones eficientes y su aplicación en edificios nuevos y en rehabilitación estructural.

### ABSTRACT

Earthquakes generate seismic demands that, in regions such as the Valley of Mexico, are amplified by local soil conditions, potentially exceeding the capacity of conventional structural systems. To reduce structural damage, seismic control systems have been incorporated to dissipate part of the input energy, with nonlinear fluid viscous dampers standing out for their efficiency and reliability. However, these devices introduce non-classical damping, which complicates the use of traditional analysis methods. In response, it is proposed to evaluate structures equipped with dampers by considering an equivalent inherent damping that integrates the effect of the devices, using time-history analysis and dynamic capacity curves as comparison tools. This approach seeks to simplify seismic evaluation without losing representativeness of structural behavior, facilitating the identification of efficient configurations and their application in new buildings and structural retrofitting.

## ¿Por qué es importante este tema?

Un terremoto es un evento ocasionado por los movimientos de las placas tectónicas de la Tierra, los cuales liberan ondas sísmicas que se transmiten a través del suelo y llegan hasta las estructuras. El Valle de México presenta una elevada actividad sísmica debido a sus condiciones de suelo, las cuales amplifican y prolongan el movimiento sísmico. Estas características pueden generar demandas sísmicas que, en algunas ocasiones, superan las capacidades de los sistemas estructu-

### Afiliaciones:

<sup>1</sup> Área Académica de Matemáticas y Física, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México. Correo: victor-m-alar-l@outlook.com

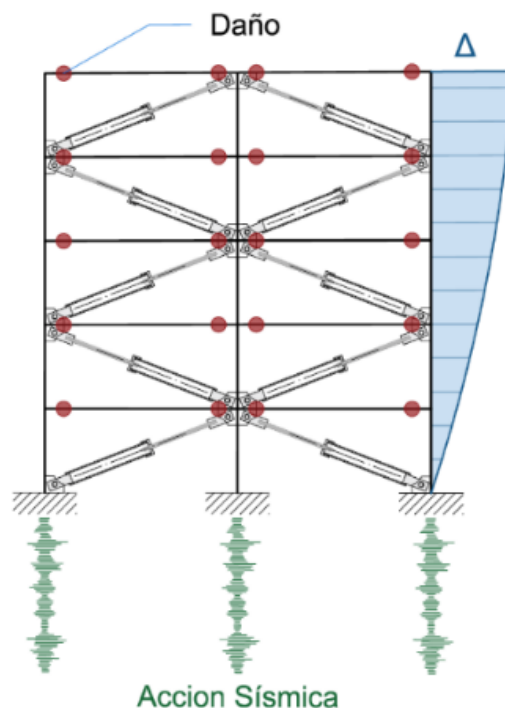
<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, 50110, Toluca, Estado de México, México. Correo: hbanuelosg589@profesor.uaemex.mx

\* Autor de correspondencia: [hbanuelosg589@profesor.uaemex.mx](mailto:hbanuelosg589@profesor.uaemex.mx)



rales [1]. Por ello, la incorporación de mecanismos de disipación de energía, también conocidos como sistemas de control sísmico, se ha consolidado como una estrategia fundamental para mejorar el desempeño sísmico y reducir el daño estructural.

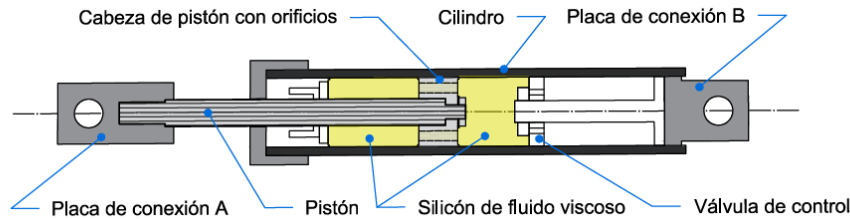
La energía que entra a una estructura durante un sismo se divide en energía cinética, potencial, y la energía que es disipada por los elementos estructurales a través del amortiguamiento inherente (propio del sistema constructivo y los materiales) y, en mayor medida, por las deformaciones (que sería el daño), como lo que muestra la Figura 1. Para evitar que estas deformaciones comprometan la estabilidad de los elementos estructurales, se han desarrollado dispositivos de control sísmico que proporcionan un amortiguamiento suplementario y contribuyen a disipar la energía de entrada. Entre estos dispositivos se encuentran los amortiguadores de fluido viscoso, los aisladores de base, ADAS, entre otros [2].



**Figura 1:** Esquema de la disipación de energía en una estructura ante una carga sísmica.

Los amortiguadores de fluido viscoso no-lineales destacan por su confiabilidad y por su capacidad para disipar energía de manera controlada. Estos dispositivos son muy parecidos a los amortiguadores presentes en maquinaria y vehículos. Como se ve en la Figura 2, se trata de un pistón con un cilindro que en su interior tiene silicón que a partir de la fricción con el cabezal del pistón disipa la energía con placas de conexión a ambos extremos y la válvula de control que se usa para cambiar el fluido para el mantenimiento de los amortiguadores. La no linealidad del fluido implica que tiene una mayor capacidad de amortiguamiento a bajas velocidades de movimiento [3], [4].

La incorporación de estos dispositivos AFVNL introduce un amortiguamiento no clásico en la estructura, lo que conlleva la aparición de modos y frecuencias complejos. Esta condición impide el uso directo del análisis modal espectral convencional, ya que tanto en los modelos de análisis



**Figura 2:** Amortiguador de fluido presurizado.

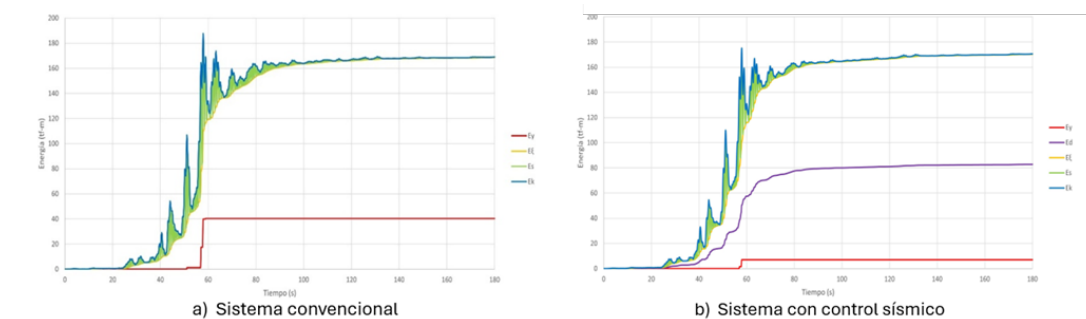
como en la matriz de amortiguamiento se consideran de manera separada el amortiguamiento inherente y el suplementario [5].

Para superar esta limitación, se adoptan aproximaciones que permiten representar el efecto de los disipadores dentro del análisis modal espectral, o bien se recurre al análisis en el dominio del tiempo mediante historias sísmicas. No obstante, ambas alternativas resultan poco prácticas debido a su complejidad o a los requerimientos asociados a su aplicación.

Ante este contexto, surge la siguiente pregunta: ¿cómo serían los resultados del análisis sísmico de una estructura con amortiguadores si se considera un único amortiguamiento inherente equivalente al amortiguamiento suplementario?, es decir, si no existiera una distinción entre el amortiguamiento natural de la estructura y el aportado por los dispositivos de control sísmico dentro del análisis.

## ¿Qué sabíamos antes?

El enfoque convencional en el diseño sísmico se ha basado en permitir que las estructuras disipen energía principalmente a través del comportamiento inelástico de sus elementos resistentes, aceptando daños significativos siempre que se evite el colapso. Por otra parte, está el enfoque donde se usan dispositivos de control sísmico para minimizar los daños en los elementos estructurales. Las gráficas de la Figura 3 muestran cómo se distribuye la energía durante los sísmicos la línea roja representa el daño y la morada la energía disipada por los amortiguadores. La grafica a, para el enfoque convencional, presenta un mayor daño en comparación con la gráfica b que representa una estructura con sistemas de control sísmico.

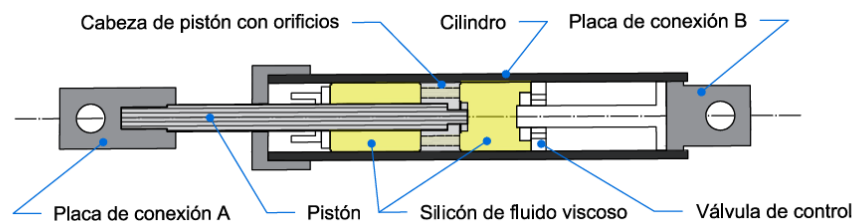


**Figura 3:** Esquema de la disipación de energía en una estructura ante una carga sísmica.

El método modal espectral, ampliamente utilizado por su inclusión en reglamentos, es adecuado para sistemas con amortiguamiento clásico y dispositivos lineales. Aproximaciones como la del amortiguamiento no proporcional, por Selemman y Constantinou [3], y el amortiguamiento proporcional usando dos espectros para definir la demanda sísmica se incluyen en documentos técnicos como el ASCE 7-22 [6]. Aun así, su aplicación no resulta ser tan práctica debido al poco desarrollo en la normativa y documentos técnicos en México para obtener los espectros en demanda sísmica.

Otra alternativa es la aplicación del método historia tiempo, donde se usa como demanda sísmica registros sísmicos. Un método no muy utilizado debido a su robustez en datos de análisis como en los resultados [7]. Aun así, con este procedimiento se puede obtener una curva de capacidad dinámica de la estructura, la cual muestra su desempeño y resistencia a varias intensidades sísmicas [8].

Para el diseño de los amortiguadores se tiene algunas opciones con base a criterios de ingeniería. Como son la fuerza cortante en la base de las columnas, velocidad de entrepiso que se relaciona con la disipación de energía, las deformaciones en los elementos estructurales o los desplazamientos de los entrepisos. Pudiendo tener amortiguadores de distintos tamaños en una estructura. Entonces, dependiendo en que criterio de ingeniería se base para el diseño de los dispositivos AFVNL y las solicitaciones de cada entrepiso se pueden tener distintas configuraciones de ubicación de los amortiguadores, pudiendo ser algunas más eficientes que otras [9], [10], [11], [12]. Una distribución uniforme implica colocar amortiguadores con las mismas capacidades en todos los entrepisos. Mientras que diseñar los dispositivos para satisfacer la demanda de fuerza cortante, desplazamientos o distorsiones en cada entrepiso implica tener dispositivos AFVNL de distintas capacidades en la estructura, como se muestra en la Figura 4.

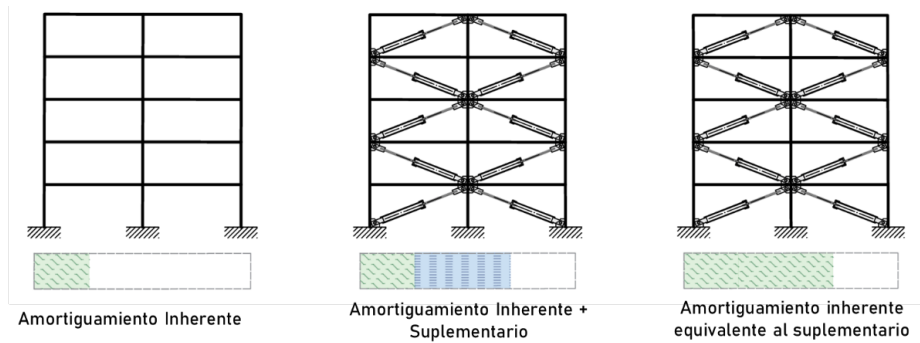


**Figura 4:** Diagrama de distribuciones de AFVNL.

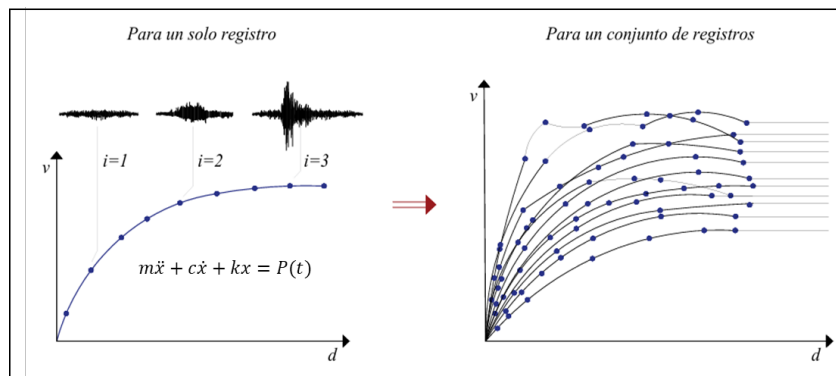
## ¿Cómo funciona la nueva propuesta?

Lo que se busca es realizar la evaluación sísmica de una estructura con amortiguadores de fluido viscoso, pero modelar el amortiguamiento de los dispositivos (suplementario) como parte del amortiguamiento natural de la estructura (inherente), ver Figura 5. Y compararlo con los resultados que se obtendrían siguiendo los procedimientos del ASCE 7-22.

Desarrollando un análisis historia-tiempo no lineal en OpenSeas, usando como demanda sísmica registros del valle de México y construyendo curvas de capacidad dinámica como herramienta de comparación como las que se muestran en la Figura 6.

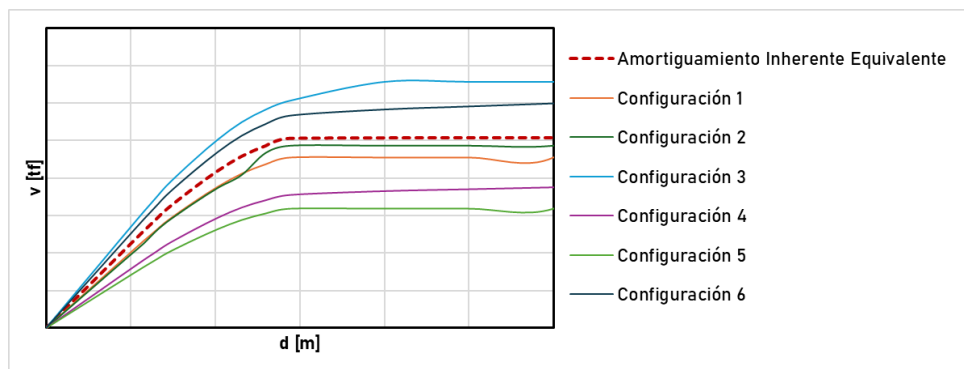


**Figura 5:** Amortiguamiento inherente equivalente al suplementario.



**Figura 6:** Curva de capacidad dinámica.

Al final se tendrían curvas de capacidad dinámica, como las de la Figura 7, que muestren el desempeño para distintas configuraciones de los amortiguadores en la estructura y una la que se ha modelado con el amortiguamiento inherente equivalente. La comparación revelara cuan grande es la variación de resultados al considerar el amortiguamiento de los dispositivos como se menciona en los documentos técnicos o como un amortiguamiento equivalente al inherente.



**Figura 7:** Comparación de curvas de capacidad dinámica para distintas configuraciones de dispositivos AFVNL y como amortiguamiento equivalente inherente.

## Casos prácticos y aplicaciones

Los amortiguadores de fluido viscoso no-lineal se emplean ampliamente en edificios nuevos especialmente en estructuras esenciales como hospitales, escuelas y edificios de gran altura. Y en rehabilitación de edificios ya existentes para poder extender su vida útil.

Además, un correcto diseño y análisis de los amortiguadores con una apropiada distribución y configuración de estos dispositivos AFVNL en la estructura podría reducir los costos de construcciones. Eso al requerir elementos estructurales (columnas y vigas) más esbeltos sin comprometer la resistencia de la edificación.

Un procedimiento de evaluación más simplificado al mostrado en los documentos técnicos podría significar una mejor forma de identificar la configuración más eficiente para cada caso de aplicación.

### ¿Qué significa esto para ti?

Los amortiguadores de fluido viscoso no lineales representan una estrategia eficaz para hacer frente a las altas demandas sísmicas, como las que se presentan en el Valle de México, tanto en edificaciones nuevas como en estructuras existentes. Proponer un método de evaluación sísmica para estructuras que incorporan estos dispositivos, capaz de ofrecer resultados comparables a los obtenidos mediante los procedimientos establecidos en los documentos técnicos actuales, pero con un proceso más simple, podría sentar las bases para el desarrollo de un procedimiento formalizado más práctico dentro de las normativas y guías técnicas de construcción. Llevando a un mayor uso de amortiguadores en nuevos proyectos.

### El futuro que nos espera

Implementar nuevas estrategias de control sísmico garantiza que las estructuras no lleguen al punto de colapso. Sin embargo, se espera que en un futuro se logre llegar a que una estructura tenga un comportamiento tan eficiente en eventos sísmicos de gran demanda, como el del 1985 y 2017, que no solo los daños a los elementos estructurales sean mínimos, sino que tanto instalaciones como mobiliario especializado se mantengan funcionales. Es decir, se mantenga un estado de servicio.

## Referencias

- [1] S. K. Singh, D. Arroyo, A. Iglesias Mendoza, M. Ordaz, X. Pérez-Campos y V. H. Espíndola Castro, "Ground Motion in Mexico City During the Intraslab Earthquake of 19 September 2017 (Mw 7.1) Revisited", *Geofis Int*, vol. 64, n.º 2, págs. 1493-1508, abr. de 2025. DOI: [10.22201/igeof.2954436xe.2025.64.2.1837](https://doi.org/10.22201/igeof.2954436xe.2025.64.2.1837)

- 
- [2] I. Takewaki, *Building Control with Passive Dampers: Optimal Performance-based Design for Earthquakes*. John Wiley & Sons, 2009. DOI: [10.1002/9780470824931.ch1](https://doi.org/10.1002/9780470824931.ch1)
- [3] M. C. Constantinou y M. D. Symans, “Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid dampers”, (NCEER) National Center for Earthquake Engineering Research, dic. de 1992.
- [4] M. Constantinou, T. Soong y G. Dargush, “Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit, Monograph No. 1”, ene. de 1998.
- [5] J. De la Colina Martínez, J. Valdés González y C. A. Ganzález Pérez, *Dinámica de Estructuras*. México: LIMUSA, 2016.
- [6] ASCE y SEI, *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures 7-22*. ASCE, 2022. dirección: <https://doi.org/10.1061/9780784415788>
- [7] D. Vamvatsikos y C. A. Cornell, “Incremental dynamic analysis”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 31, n.º 3, págs. 491-514, 2002. DOI: [10.1002/eqe.141](https://doi.org/10.1002/eqe.141)
- [8] F. H. Bañuelos-García, A. G. Ayala Milián y M. A. Escamilla García, “Una aproximación de la curva de capacidad dinámica y su aplicación a la evaluación sísmica de estructuras”, *Revista de Ingeniería Sísmica*, n.º 110, págs. 1-18, jun. de 2023. DOI: [10.18867/ris.110.620](https://doi.org/10.18867/ris.110.620)
- [9] G. Pekcan, J. B. Mander y S. S. Chen, “Design and Retrofit Methodology for Building Structures with Supplemental Energy Dissipating Systems”, (MCEER) Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, dic. de 1999.
- [10] D. Lopez-Garcia y T. Soong, “Efficiency of a simple approach to damper allocation in MDOF structures”, *Journal of Structural Control*, vol. 9, págs. 19-30, abr. de 2002. DOI: [10.1002/stc.3](https://doi.org/10.1002/stc.3)
- [11] J.-S. Hwang, Y.-N. Huang e Y.-H. Hung, “Analytical and Experimental Study of Toggle-Brace-Damper Systems”, *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, n.º 7, págs. 1035-1043, jul. de 2005. DOI: [10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2005\)131:7\(1035\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:7(1035))
- [12] L. Landi, A. Molari y P. P. Diotallevi, “Comparison of different distributions of viscous damper properties in asymmetric-plan frames”, *Earthquakes and Structures*, vol. 18, n.º 2, págs. 233-248, feb. de 2020. DOI: [10.12989/EAS.2020.18.2.233](https://doi.org/10.12989/EAS.2020.18.2.233)