

Amortiguadores de fluido viscoso para reducir las vibraciones provocadas por el viento en edificios altos

Fluid viscous dampers to reduce wind-induced vibrations in tall buildings

Bañuelos-García, F.^{1*} , Dionisio-Aguilar, A. M. O.¹ 

Historial del artículo

Recibido: 10-mar-2025

Aceptado: 25-abr-2025

Disponible en línea: 30-ago-2025

Palabras clave

ES: Viento, edificios altos, control de vibraciones, amortiguadores de fluido viscoso

EN: Wind, tall buildings, vibration control, fluid viscous dampers

RESUMEN

Los edificios altos en zonas costeras pueden experimentar vibraciones apreciables durante vientos fuertes; aunque no siempre son peligrosas, afectan el servicio y el confort de los ocupantes y pueden incrementar demandas en ciertos elementos. Esto obliga a buscar soluciones que controlen el movimiento sin rigidizar las construcciones. Este artículo plantea una pregunta central: ¿puede el amortiguamiento suplementario con amortiguadores de fluido viscoso (AFV) reducir de forma eficiente la respuesta dinámica por viento en edificios altos, y cómo conviene distribuirlos en altura y en planta?. Se describe un enfoque de diseño y evaluación basado en modelación numérica comparativa: un modelo base del edificio con AFV, considerando configuraciones en función del algún parámetro de diseño como son las distorsiones de entrepiso. El objetivo es cuantificar mejoras en variables de servicio (desplazamientos, distorsiones, velocidades y aceleraciones) y proponer criterios prácticos de ubicación. En conjunto, la propuesta busca traducir la tecnología de control de vibraciones a un procedimiento replicable para proyectos en México, con énfasis en condiciones de viento representativas de regiones costeras y en beneficios medibles para desempeño y confort.

ABSTRACT

Tall buildings in coastal zones can experience noticeable vibrations during strong winds; although they are not always dangerous, they can degrade serviceability and occupant comfort and may increase demands on certain structural elements. This drives the need for solutions that control motion without simply stiffening the structure. This article poses a central question: can supplemental damping using fluid viscous dampers (AFVs) efficiently reduce wind-induced dynamic response in tall buildings, and how should these devices be distributed along the height and within the plan? It presents a design and evaluation approach based on comparative numerical modeling: a baseline building model with AFVs, considering different configurations guided by design parameters such as interstory drift. The goal is to quantify improvements in serviceability-related variables (displacements, drifts, velocities, and accelerations) and to propose practical placement criteria. Overall, the proposal seeks to translate vibration-control technology into a replicable procedure for projects in Mexico, with an emphasis on wind conditions representative of coastal regions and on measurable benefits for performance and comfort.

¿Por qué es importante este tema?

Imagina estar en el piso 25 de una torre frente al mar: no hay sismos, pero las lámparas se mecen y el café tiembla en la mesa. Ese movimiento suele ser pequeño, pero repetitivo y perceptible; basta para generar incomodidad, ansiedad o mareo en algunos ocupantes. En edificios esbeltos, el viento

Afiliaciones:

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ingeniería Toluca, Estado de México. México. Correo: fhbanuelosg@gmail.com; adionisioa001@alumno.uaemex.mx

* Autor de correspondencia: fhbanuelosg@gmail.com



produce cargas fluctuantes asociadas a la turbulencia. Cuando esas fluctuaciones “coinciden” con las frecuencias naturales del edificio, la respuesta dinámica puede amplificarse, es decir el movimiento. El reto no es solo resistir, sino hacerlo con buen desempeño en condiciones de servicio (confort y funcionalidad). La pregunta central es: ¿cómo reducir de manera eficiente la vibración por viento sin aumentar en exceso la rigidez y el costo del edificio?. A continuación, se resume qué se hacía antes, se explica la propuesta basada en amortiguadores de fluido viscoso (AFV), se muestran aplicaciones típicas y se discute qué significa esta tecnología para usuarios, diseñadores y para el futuro de la construcción en zonas afectadas por viento de velocidades considerables.

¿Qué sabíamos antes?

Durante décadas, el control de vibraciones se abordó principalmente modificando rigidez y masa (muros, núcleos, arriostramientos), más tarde se popularizaron soluciones de control de vibraciones mediante dispositivos disipadores de energía (ver Figura 1). Los cuales se clasifican en activos, semiactivos y pasivos, sobre todo para sismo. Los disipadores pasivos son los que han cobrado mayor relevancia en virtud de no requiere una fuente de alimentación externa, como los activos y semi activo. Estos dispositivos pueden disminuir los costos tanto de los elementos estructurales como son vigas, columnas, muros entre otros, así como los elementos no estructurales como son tuberías cancelerías entre otros. Los disipadores pasivos de energía se pueden clasificar en aisladores de base y disipadores de energía, ver Figura 2. Los aisladores de base dependen mucho del tipo de suelo donde se construirá la estructura, en el caso de los suelos blandos como por ejemplo las arenas no es conveniente considerar este tipo de dispositivos. Por otra parte, los disipadores de energía pueden colocarse prácticamente en cualquier tipo de estructura e.g., edificios o puentes. Además, algunos de ellos pueden ser sustituidos después de una acción lateral e.g., un sismo o viento de consecuencias catastróficas ver Figura 3.

El cambio clave para usar este tipo de disipadores fue reconocer que, para muchos problemas de servicio, conviene “agregar disipación” en lugar de “agregar rigidez”. Uno de los dispositivos que agrega únicamente amortiguamiento son los amortiguadores de fluido viscoso (AFVs). El amortiguamiento suplementario permite reducir respuesta sin alterar drásticamente la configuración estructural. La literatura clásica sobre control estructural y amortiguamiento suplementario resume este cambio de enfoque y proporciona modelos constitutivos para estos dispositivos, así como criterios de diseño y evaluación en sistemas estructurales [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Estos dispositivos generalmente se utilizan para sismo, sin embargo, también pueden utilizarse para viento, ya que también es una carga lateral que afecta a las construcciones.

Un AFV disipa energía mediante la circulación forzada de un fluido viscoso a través de orificios calibrados ver Figura 3a. Su fuerza resistente depende de la velocidad relativa:

$$F = C |\dot{u}|^\alpha \quad (1)$$

donde C es el coeficiente de amortiguamiento, \dot{u} es la velocidad y α es el exponente de



Figura 1: Diferencia entre diseño estructural convencional y con disipadores de energía.

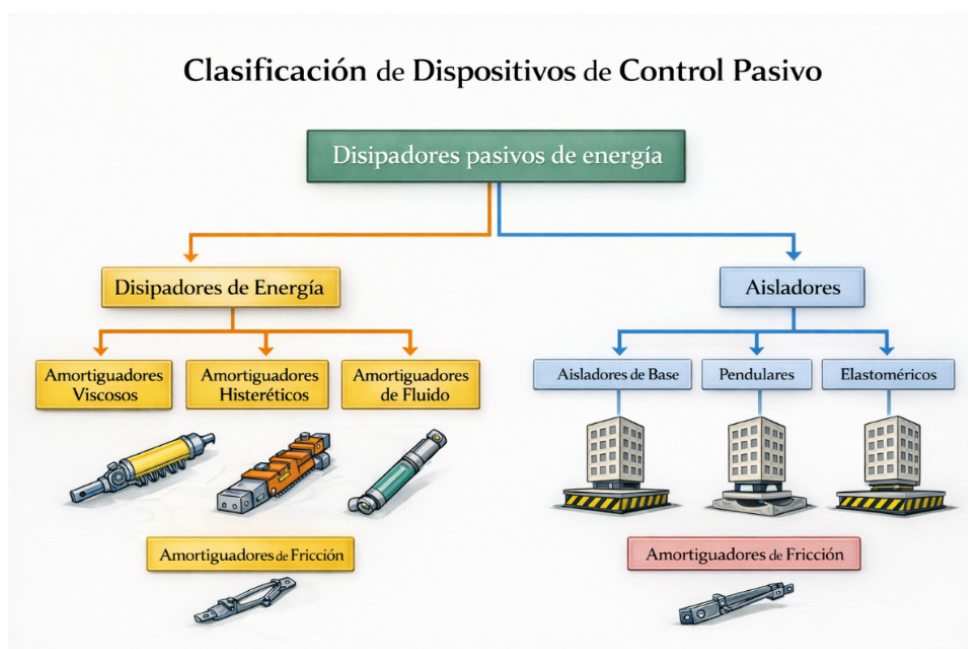


Figura 2: Sistemas pasivos de control para edificios.

velocidad que determina el grado de no linealidad del dispositivo. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de este dispositivo.



Figura 3: Amortiguadores de fluido viscoso.

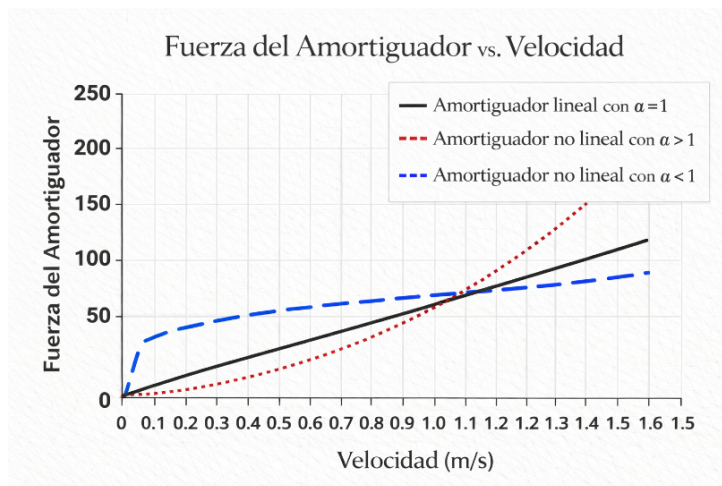


Figura 4: Grafico del comportamiento de un amortiguador.

Los elementos esenciales de un AFV son: el amortiguador (cilindro, pistón y fluido), un sistema de conexión al marco (e.g., arriostres tipo diagonal o chevron), anclajes y placas de conexión que transmiten fuerzas al sistema resistente, ver Figura 3. Típicamente este tipo de dispositivos se consideran para controlar vibraciones debidas a un sismo, no obstante, para edificios altos los sismos no impactan de forma significativa como el viento en este caso. Por tal motivo en este artículo se plantea como considerar los AFVs en estructuras que presenten “daño” por viento.

Para el diseño de este tipo de dispositivos se tienen varios procedimientos que vienen en documentos técnicos, como es el caso del ASCE 7-22 [10], para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$\xi_{DPNLi} = \frac{T_i^{2-\alpha} \lambda \sum_{j=1}^{nd} C_{\alpha j} f_j^{1+\alpha} \phi_{rj,i}^{1+\alpha}}{2\pi^{3-\alpha} D_{roof}^{1-\alpha} \sum_{k=1}^{ns} m_k \phi_{k,i}^2} \quad (2)$$

En este contexto, el término ξ_{DPNL_i} expresa el incremento de amortiguamiento del mismo modo de vibración cuando se emplean amortiguadores de fluido viscoso no lineales. Ambos parámetros permiten cuantificar la capacidad de estos dispositivos para disipar energía y reducir la respuesta dinámica del edificio. El período natural de vibración asociado a cada modo se denota por T_i , mientras que el desplazamiento modal del nivel de piso k para el modo i se representa mediante $\phi_{k,i}$.

A partir de estos desplazamientos modales se define el desplazamiento relativo $\phi_{rj,i}$, que corresponde al movimiento horizontal relativo entre los extremos del amortiguador j y que gobierna directamente la fuerza que desarrolla el dispositivo. El comportamiento de cada amortiguador depende de su coeficiente de amortiguamiento. En el caso de los dispositivos lineales, este parámetro se representa por C_{Lj} , mientras que para los amortiguadores no lineales se emplea el coeficiente $C_{\alpha j}$.

La forma en que el amortiguador se integra a la estructura, es decir, su configuración geométrica o disposición dentro del marco estructural, se describe mediante la función f_j ver Figura 5. La masa asociada a cada nivel del edificio se representa por m_k , y el desplazamiento de la azotea se denota como D_{roof} , siendo este último una variable de especial interés en la evaluación del desempeño global de la estructura. En el caso de los amortiguadores no lineales, la formulación matemática incluye además la función Gamma, Γ , que surge en la expresión del amortiguamiento equivalente asociado a este tipo de dispositivos. Finalmente, el número total de amortiguadores instalados en la estructura se indica mediante n_d , mientras que n_s representa el número total de pisos del edificio. En conjunto, estos parámetros permiten describir de manera clara y comprensible cómo los amortiguadores de fluido viscoso contribuyen a mejorar el comportamiento dinámico de edificios altos sometidos a acciones dinámicas. A partir de esta ecuación se puede determinar el tamaño de los dispositivos incluso se puede modificar para colocarla en función de un parámetro de ingeniería e.g., rigidez de cada entrespacio [11].

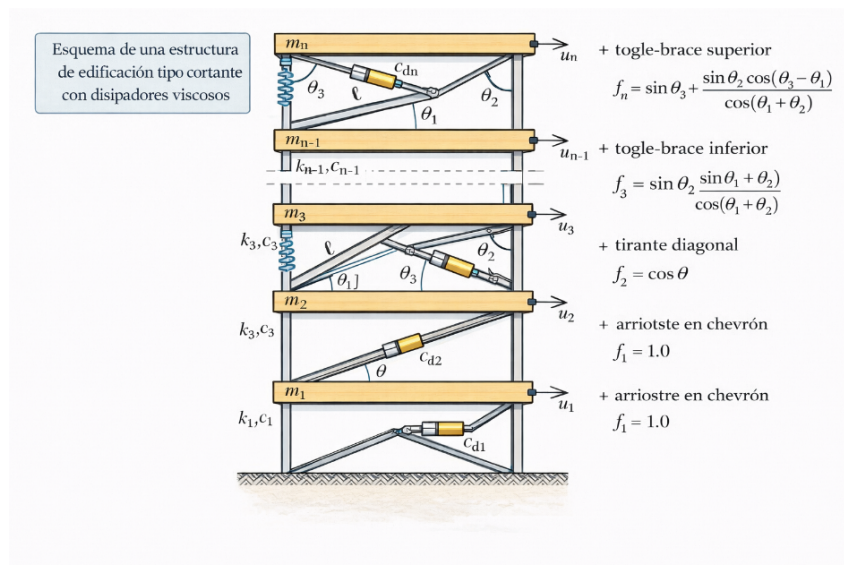


Figura 5: Configuraciones de los AFVs.

¿Cómo funciona la nueva propuesta?

Para diseñar AFVs en estructuras para acciones viento se proponen los siguientes pasos:

Paso 1. Se define el viento de diseño según normativa aplicable y se caracteriza la respuesta objetivo (servicio/confort).

Paso 2. Se modela el edificio base para identificar modos dominantes y demandas por viento.

Paso 3. Se selecciona una configuración de conexión de AFVs y una distribución preliminar por niveles.

Paso 4. Se calibran parámetros C y α para lograr un incremento de disipación objetivo. Para análisis modales, puede usarse una representación de amortiguamiento clásico equivalente cuando sea apropiado como ASCE 7-22 [10].

Paso 5. Se simulan escenarios y se comparan métricas clave (derivadas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones).

Paso 6. Se ajusta la distribución hasta lograr la mejor relación beneficio-costos (menos dispositivos para la misma reducción).

En la Figura 6 se muestra un diagrama de flujo de los pasos de la metodología propuesta. En comparación con sobre-rigidizar, los AFVs pueden disminuir la respuesta dinámica sin incrementar significativamente fuerzas internas por rigidez adicional. En comparación con soluciones que exigen grandes masas o espacios dedicados, los AFVs suelen integrarse en marcos y fachadas con impacto arquitectónico moderado.

Casos prácticos y aplicaciones

Los AFVs se utilizan en edificios nuevos y en rehabilitación para reducir vibraciones por viento y mejorar desempeño ante sismo; también son comunes en puentes, donde ayudan a controlar desplazamientos y fuerzas durante eventos dinámicos. De forma general, estudios numéricos reportan reducciones importantes en demandas de respuesta (e.g., disminución de aceleraciones y derivadas) cuando se añade amortiguamiento suplementario y se optimiza su ubicación.

En el sector hotelero y residencial de costa, el beneficio principal suele ser el confort. En hospitales y edificios de uso crítico, además del confort, se busca continuidad operativa y protección de equipos sensibles (ver Figura 7). En infraestructura de transporte (puentes), el objetivo es limitar movimientos. Las métricas típicas incluyen reducción de aceleración pico en niveles superiores, disminución de distorsión de entrepiso y menor demanda en elementos no estructurales. El alcance exacto depende del edificio, del viento y de la estrategia de colocación; por eso es clave la comparación numérica con un modelo base.



Figura 6: Diagrama de flujo de la metodología propuesta.



Figura 7: Casos prácticos donde se puede aplicar la metodología.

¿Qué significa esto para ti?

Para el usuario final, el beneficio es directo: menos movimiento perceptible, menos molestias y mayor sensación de seguridad en pisos altos durante vientos intensos. A medida que las ciudades crecen verticalmente, la exigencia de confort y funcionalidad en edificios altos se vuelve parte de la calidad de vida urbana. Tecnologías de control de vibraciones pueden facilitar desarrollos más eficientes y habitables. Para ingenieros y arquitectos, se abren oportunidades en diseño por desempeño, modelación dinámica, instrumentación, monitoreo y optimización de dispositivos. También crece la demanda de especialistas que traduzcan evidencia técnica a decisiones de proyecto. El principal desafío es evitar “soluciones de genéricas” sin análisis: los dispositivos deben diseñarse, detallarse y verificarse para el caso específico. También se debe considerar mantenimiento, inspección y trazabilidad de calidad, porque el desempeño depende de que el sistema funcione durante toda la vida útil.

El futuro que nos espera

La investigación avanza hacia dispositivos más compactos, modelos constitutivos más realistas y estrategias de colocación basadas en optimización. También crece la integración con monitoreo estructural para validar desempeño con datos reales. En el corto plazo, es probable que aumente el uso de amortiguamiento suplementario en torres de uso mixto y desarrollos costeros, sobre todo cuando el confort sea un criterio explícito de diseño. A largo plazo, la combinación de modelos digitales, sensores y dispositivos de control permitirá ajustar estrategias de operación y mantenimiento con base en el comportamiento observado. Los AFVs pueden convivir con soluciones de aislamiento, amortiguadores de masa sintonizados, sistemas semiactivos y activos. El objetivo es un diseño integral donde cada tecnología cubra un rango de demandas (servicio, sismo, eventos extremos) con eficiencia. Persisten retos: criterios de confort adaptados a contextos locales, disponibilidad de especificaciones y ensayos, estandarización de detalles constructivos y formación de personal para instalación e inspección.

Referencias

- [1] M. Palermo, S. Silvestri, L. Landi, G. Gasparini y T. Trombetti, “A "direct five-step procedure" for the preliminary seismic design of buildings with added viscous dampers”, *Engineering Structures*, vol. 173, págs. 933-950, oct. de 2018. DOI: [10.1016/j.engstruct.2018.06.103](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.103)
- [2] S. Parajuli, P. Pokhrel y R. Suwal, “A comprehensive study of viscous damper configurations and vertical damping coefficient distributions for enhanced performance in reinforced concrete structures”, *Asian J Civ Eng*, vol. 25, n.º 1, págs. 1043-1059, ene. de 2024. DOI: [10.1007/s42107-023-00831-x](https://doi.org/10.1007/s42107-023-00831-x)

-
- [3] F. H. Bañuelos-García, G. Ayala y S. Lopez, “A displacement-based seismic design procedure for buildings with fluid viscous dampers”, *Earthquakes and Structures*, vol. 18, n.º 5, págs. 609-623, mayo de 2020. DOI: [10.12989/EAS.2020.18.5.609](https://doi.org/10.12989/EAS.2020.18.5.609)
- [4] S. Silvestri, G. Gasparini y T. Trombetti, “A Five-Step Procedure for the Dimensioning of Viscous Dampers to Be Inserted in Building Structures”, *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 14, n.º 3, págs. 417-447, mar. de 2010. DOI: [10.1080/13632460903093891](https://doi.org/10.1080/13632460903093891)
- [5] P. P. Diotallevi, L. Landi y A. Dellavalle, “A Methodology for the Direct Assessment of the Damping Ratio of Structures Equipped with Nonlinear Viscous Dampers”, *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 16, n.º 3, págs. 350-373, abr. de 2012. DOI: [10.1080/13632469.2011.618521](https://doi.org/10.1080/13632469.2011.618521)
- [6] F. Bañuelos-García y G. Ayala, “A Novel Displacement-Based Seismic Design Procedure Considering Non-Linear Fluid Viscous Dampers and Damage Control”, *Journal of Earthquake Engineering*, págs. 1-22, feb. de 2025. DOI: [10.1080/13632469.2025.2464609](https://doi.org/10.1080/13632469.2025.2464609)
- [7] Y. Zhou, X. Lu, D. Weng y R. Zhang, “A practical design method for reinforced concrete structures with viscous dampers”, *Engineering Structures*, vol. 39, págs. 187-198, jun. de 2012. DOI: [10.1016/j.engstruct.2012.02.014](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.02.014)
- [8] H. Ataei y K. Kalbasi Anaraki, “A proposed structural design method considering fluid viscous damper degradations”, *Struct Design Tall Spec Build*, vol. 27, n.º 15, e1512, oct. de 2018. DOI: [10.1002/tal.1512](https://doi.org/10.1002/tal.1512)
- [9] L. Landi, O. Fabbri y P. P. Diotallevi, “A two-step direct method for estimating the seismic response of nonlinear structures equipped with nonlinear viscous dampers”, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, vol. 43, n.º 11, págs. 1641-1659, sep. de 2014. DOI: [10.1002/eqe.2415](https://doi.org/10.1002/eqe.2415)
- [10] *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, ASCE 7-22, ASCE, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2021. DOI: [10.1061/9780784415788](https://doi.org/10.1061/9780784415788)
- [11] F. Bañuelos-García, J. De La Colina, D. De-León-Escobedo y M. Escamilla-García, “Evaluation of arrangements and distributions of fluid viscous dampers on seismic performance for Valley of Mexico”, *Earthquakes and Structures*, vol. 29, n.º 6, págs. 411-425, dic. de 2025. DOI: [10.12989/EAS.2025.29.6.411](https://doi.org/10.12989/EAS.2025.29.6.411)