



CEU

*Universidad
San Pablo*

Escuela Politécnica Superior

Los terremotos: causas, efectos y técnicas avanzadas de diseño sismorresistente

Félix Hernando Mansilla
Profesor Agregado
Universidad CEU San Pablo

Festividad de San José
Marzo 2014



CEU | *Ediciones*

Los terremotos: causas, efectos y técnicas avanzadas de diseño sismorresistente

Félix Hernando Mansilla
Profesor Agregado
Universidad CEU San Pablo

Festividad de San José
Marzo 2014

Escuela Politécnica Superior
Universidad CEU San Pablo

Los terremotos: causas, efectos y técnicas avanzadas de diseño sismorresistente

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita escanear algún fragmento de esta obra.

© 2014, Félix Hernando Mansilla
© 2014, Fundación Universitaria San Pablo CEU

CEU *Ediciones*
Julián Romea 18, 28003 Madrid
Teléfono: 91 514 05 73, fax: 91 514 04 30
Correo electrónico: ceuediciones@ceu.es
www.ceuediciones.es

Depósito legal: M-10042-2014

Sumario

| | |
|---|-----------|
| 1. Los terremotos: causas, efectos y técnicas avanzadas de diseño sismorresistente | 5 |
| 2. Creencias y teorías sobre el origen de los terremotos | 5 |
| 3. Efectos de los movimientos sísmicos | 7 |
| 4. Técnicas de Control Pasivo | 10 |
| 5. Técnicas de Control Activo | 16 |
| 6. Técnicas de Control Híbrido | 18 |
| 7. Técnicas de Control Semiactivo | 19 |
| 8. Dispositivos combinados | 21 |
| 9. Referencias..... | 24 |

Los terremotos: causas, efectos y técnicas avanzadas de diseño sismorresistente

Excelentísimo Sr. Rector Magnífico de la Universidad CEU San Pablo. Excelentísimo Sr. Vicepresidente del Patronato de la Fundación Universitaria San Pablo CEU, Ilustrísimo Sr. Director de la Escuela Politécnica Superior, Excelentísimo Sr. Vicerrector de profesorado, Excelentísima Sra. Vicerrectora de Investigación, autoridades académicas e institucionales, D. Santiago Morga, D. Eduardo Gómez, D. Pedro Cura, compañeros del claustro de profesores, personal de administración y servicios, queridos alumnos y familiares, amigos todos

Deseo expresar mi profundo agradecimiento al equipo directivo de la Escuela por su consideración y confianza. Además de ser un honor, la oportunidad de dirigir estas palabras en nuestra festividad patronal de San José me produce una ilusión muy especial.

Creencias y teorías sobre el origen de los terremotos

Las causas de los terremotos han sido históricamente objeto de controversia y confrontación entre las teorías basadas en fenómenos naturales y las justificaciones de origen sobrenatural.

En la antigua Grecia, los movimientos del terreno se asociaban a los episodios mal humor del dios Poseidón (Neptuno para los romanos). El temperamento inestable de este dios se refleja en los textos de Apollodoro, cuando narra su enfado con la ciudad de Atenas por la adopción de su nombre (en honor a la diosa Atenea), y la descarga de su ira en forma de terremoto seguido de un tsunami.

Tampoco le valió de nada a su nieto Hipólito el ser inocente, una simple sospecha de engaño se saldó con un maremoto... con minotauro adicional en cresta de ola.

La mitología también achaca los temblores de tierra al cansancio y los cambios de postura de Atlas sosteniendo la bóveda celeste. La fusión de ambas creencias planteaba que era el propio Neptuno el que incordiaba a Atlas para conseguir sus objetivos telúricos.

Otras culturas tenían sus propias explicaciones. En Japón eran debidos a los coletazos de un pez gato controlado por el dios Daimyojím, para los Maoríes los motivaban los gritos de su dios Raumoko (enterrado accidentalmente por su madre, la tierra), en Siberia eran atribuidos al paso de un dios en trineo subterráneo y para los guayapes eran los movimientos provocados por las vueltas sobre el terreno de un pequeño dios.

Especialmente preocupante era la tesis de algunas culturas precolombinas en América Central: “Cuando la tierra tiene exceso de población, cuatro dioses la sacuden para retirar la gente sobrante y restablecer el equilibrio”.

Por su parte, en el polo opuesto, los chinos se afanaban en la en la detección de los temblores. Se atribuye a Zhang Heng la invención del primer sismógrafo, en el año 132. Ellos creían que los terremotos anunciaban cambios inminentes en el gobierno, por lo que se había desarrollado un sistema muy completo de informes sísmicos.

Un acertado resumen de todas estas creencias se dictamina por Aulo Gelio en el siglo II: “No está claro a que dios debe hacerse un sacrificio cuando la tierra tiembla”. Con un enfoque muy pragmático, tras cada episodio sísmico aquellos romanos ordenaban mediante un edicto días festivos, pero sin especificar la deidad en cuyo honor se decretaban (no fueran equivocarse y enojar aún más al auténtico).

Las primeras explicaciones basadas en fenómenos físicos las aportan Tales de Mileto, Anaxímenes, Demócrito de Abdera, y especialmente Anaxágoras y Empédocles de Agrigento.

Su teoría de que los terremotos eran generados por salidas súbitas de aire caliente fue aceptada por Aristóteles “ni el agua ni la tierra son causas del terremoto sino el vapor cuando le acontece ser exhalado”, transmitida a Roma por Séneca y Plinio el Viejo “Cuando el aire, en una gran cantidad, ha colmado completamente una cavidad subterránea y comienza a luchar y buscar una salida, bate repetidamente los muros que lo mantienen oculto, encima de los cuales acaso las ciudades se asientan”, y difundida en la Edad Media por Avicena, Averroes, San Alberto Magno y Santo Tomás de Aquino.

Tras un periodo histórico de retorno a las creencias en los castigos divinos, Abraham Werner, ya en el siglo XVIII, enuncia su explicación científica, basada en la existencia de capas de piritas de hierro fundidas con azufre en depósitos profundos de carbón ardiente. Werner no acertó con el origen de los terremotos, pero resulta innegable su contribución a la definición de infierno.

Seguramente fue Abraham Ortelius el primero en plantear el movimiento de los continentes ya en el siglo XVI, pero su teoría fue considerada herética. Alexander Von Humbolt estableció en 1799 la relación entre fallas y terremotos, Robert Mallet presento en 1846 su estudio sobre la dinámica de los movimientos sísmicos y Alfred Wegener desarrolló finalmente en 1912 la teoría de la deriva continental.

Basándose en ella, Harry Fielding y Andrew Cowper explicaron el terremoto de California de 1906 como consecuencia de la interacción entre placas tectónicas, que es la causa actualmente aceptada.

La gran coincidencia en la localización de los terremotos sobre las fronteras entre placas avala hoy en día esta tesis.

Efectos de los movimientos sísmicos

En los fenómenos de subducción y deslizamiento relativo entre placas se produce una gran acumulación de energía en la zona de contacto. Una liberación brusca de esta energía y su transmisión mediante ondas provoca los movimientos sísmicos en la superficie.

Desde el hipocentro se propagan dos tipos de ondas sísmicas: Las primarias (longitudinales) y las secundarias (transversales). La combinación de ambas de lugar a la propagación desde el epicentro se las ondas superficiales: Las ondas de Love y especialmente las de Rayleigh.

Las ondas primarias son las más rápidas aunque débiles, y provocan movimientos verticales en el edificio.

Las ondas secundarias llegan después, con mayor intensidad, y dan lugar a desplazamientos horizontales entre terreno y edificio.

Las ondas superficiales son las más lentas y virulentas. Provocan la oscilación completa del edificio.

No existe siempre una relación directa entre la magnitud del terremoto y sus efectos sobre las edificaciones. La fotografía corresponde al terremoto de Lorca que, con una intensidad de grado 5 (muy moderada) produjo graves destrozos y un fuerte cuestionamiento de nuestra actual normativa sismorresistente.



En Lorca, incluso las débiles ondas primarias provocaron el desprendimiento de múltiples aleros.

En Haití, en el año 2010, un terremoto de intensidad media (grado 7, mil veces más potente que el de Lorca) tuvo efectos devastadores por la baja calidad de las construcciones.

La siguiente imagen muestra los efectos de las ondas secundarias. El fuerte movimiento horizontal del terreno combinado con la inercia de la planta superior da lugar a su completo deslizamiento respecto a la planta baja.



Estos movimientos bruscos horizontales afectan fundamentalmente a los pilares y pueden llegar a partirlos todos. Como consecuencia se produce el aplastamiento completo de las distintas plantas.

El fenómeno es especialmente peligroso y se da también en construcciones modernas y de mayor calidad.



Como ya se ha comentado, las ondas superficiales provocan la oscilación del edificio en su conjunto y pueden ocasionar el vuelco de bloques de una cierta altura. La fotografía corresponde al terremoto de Chile de 2010, de grado 8.8 (casi mil veces más potente que el de Haití y sin embargo con poco más de la milésima parte de víctimas).



Chile es una nación con una relevante preparación sismorresistente e incluso el edificio mostrado, a pesar de su desplome, mantiene una cierta dignidad estructural y no existen aplastamientos entre pisos. Pudiéramos decir que ha caído con elegancia.

Sin ninguna duda, la mayor dotación antisísmica la tiene Japón. Allí se registran cada año más de 70 terremotos de intensidad superior a la del de Haití.

La Mediateca de Sendai de Toyo Ito es un claro ejemplo de magnífica arquitectura con capacidad contrastada de resistencia a los seísmos. El moderno edificio de 7 plantas soportó sin daños relevantes el terremoto de 2011 a pesar de su potencia (superior a 1.200.000 veces la del de Lorca).

Durante los temblores diversos bloques de gran altura sufrieron oscilaciones muy considerables, pero fueron también correctamente controladas y finalmente amortiguadas.

Para conseguir esta capacidad resistente se requiere inicialmente un estudio en profundidad de todos los efectos mencionados, estudio que se realiza mediante complejos análisis matemáticos y computacionales y también mediante el análisis experimental en mesas de simulación sísmica.



Estas constan de una plataforma oscilante accionada por actuadores mecánicos (habitualmente émbolos hidráulicos) sobre la que se dispone el edificio a escala real. Durante el ensayo se estudia su comportamiento y se monitorizan los movimientos en las distintas plantas.

En estas instalaciones se analizan por ejemplo la estabilidad de tableros de puentes, la influencia de la ductilidad de los materiales, el esfuerzo cortante sobre los pilares de la primera planta, el agotamiento de muros o las relaciones entre masa y rigidez.

Con los resultados de múltiples estudios y la experiencia acumulada, se han desarrollado en las últimas décadas diferentes técnicas y dispositivos de diseño sismorresistente.

Técnicas de Control Pasivo

Las Técnicas sismorresistentes de Control Pasivo son técnicas de reacción frente a los movimientos sísmicos y se pueden agrupar en tres grandes bloques según la estrategia empleada.

Durante un temblor, los movimientos del terreno aportan a los edificios una gran cantidad de energía y la primera de las estrategias consiste en la absorción de una parte de esta mediante disipadores, con el objeto de reducir la transmitida a los elementos estructurales.

Un primer grupo de disipadores aprovecha la absorción energética que conllevan los procesos de plastificación de los metales. Son los empleados por ejemplo en de la torre Titanium en Chile que, con doscientos metros de altura, resistió sin daños estructurales el terremoto de 2010.

Los movimientos relativos entre plantas provocan deformaciones que rebasan la zona elástica de los elementos intermedios y la energía absorbida reduce en un 40% la oscilación del edificio.

El plomo, por las favorables características de su curva de histéresis, es un metal especialmente adecuado para este tipo de disipadores.

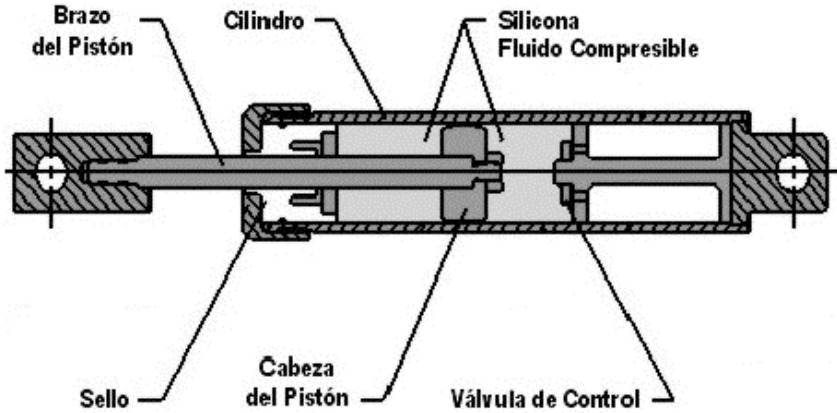


Una segunda opción es el empleo de dispositivos de fricción por su capacidad transformación de la energía de rozamiento en calor. Pueden ser rotacionales o lineales. En la ciudad italiana de Potenza múltiples viviendas los muestran exteriormente.



Un tercer grupo de disipadores utilizan un material viscoelástico intermedio con gran capacidad de absorción de energía ante desplazamientos longitudinales. Eran los empleados en la Torres Gemelas en las uniones de los forjados con la estructura de fachada.

La última técnica de este bloque es la de disipación viscosa: la absorción de energía se produce ahora por el paso alternado de un fluido muy denso (una silicona) entre las dos cavidades del cilindro a través de pequeños orificios dispuestos en la cabeza del pistón.



Estos dispositivos se emplean con profusión, en una gama de tamaños que va desde los muy reducidos a los muy grandes (de varios miles de toneladas de capacidad de carga) y posibilidades de disposición horizontal (la más común) o vertical (en este caso se aprovecha el movimiento relativo entre el núcleo y la fachada durante la oscilación).

La segunda de las estrategias no persigue la disipación de la energía sino la compensación de los movimientos producidos en el edificio. Y esto se hace dotando al mismo de sistemas inerciales acoplados: los conocidos como amortiguadores de masa sintonizados (TMD).

La gran altura del Citigroup Center y la reducida rigidez en su base lo hacen especialmente vulnerable frente a los efectos dinámicos de viento o sismo.

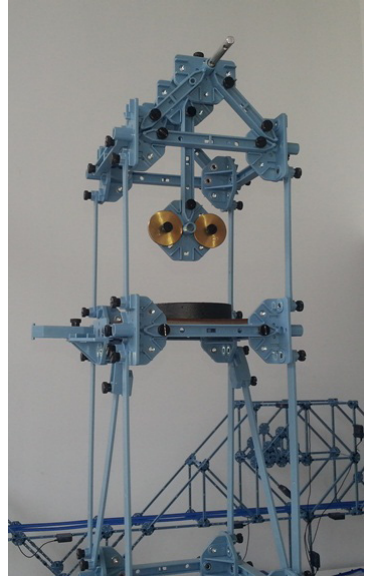
Fue el primer rascacielos de Estados Unidos en el que se dispuso una masa deslizante en su parte superior.



Ante la oscilación del edificio hacia un lado, la inercia de la masa impide que lo acompañe y mediante unos muelles se ejercen mutuamente fuerzas opuestas. Cuando el edificio oscila hacia el otro lado, la masa todavía continúa su desplazamiento en sentido opuesto y va adquiriendo un movimiento oscilatorio desfasado respecto al bloque. Si el periodo de oscilación de ambos es coincidente, el movimiento de la masa tiende a estabilizar el edificio.

Este funcionamiento se puede apreciar en el Laboratorio de Estructuras de esta Escuela. En él una pequeña plataforma doméstica produce oscilaciones variables sobre un modelo a escala. Su comportamiento dinámico depende lógicamente de la frecuencia del movimiento en la base. Concretamente, a 1,35 Hercios se produce el primer modo de resonancia, con grandes desplazamientos en coronación y el teórico colapso del sistema.

Para contrarrestar dicho movimiento se dispone una pequeña masa pendular de 40 gramos en su zona superior y al repetir el experimento con la misma frecuencia de solicitación, se observa una drástica reducción de las oscilaciones. Ahora es la masa la que oscila y con ello compensa los movimientos de nuestro sistema.



Muchos edificios emblemáticos disponen de amortiguadores de masa sintonizados. La torre John Hancock, las Petronas, o hotel Burg-al-Arab (que tiene 11) pero muy especialmente el Taipei-101. El hasta hace poco edificio más alto del mundo alberga, entre sus plantas 87 y 91, un péndulo de 700 toneladas.

En el polo opuesto se situaba el Millenium brigde de Londres. La carencia de estos dispositivos dio lugar a una notable inestabilidad ante el paso de los usuarios su cierre dos días después de su apertura en julio del año 2000. La colocación de unos amortiguadores de masa bajo el tablero solventó finalmente el problema en febrero de 2002.

Otros puentes y pasarelas famosos los incorporan ya en su diseño inicial: el Infinity bridge, el Skywalk sobre el Grand Canyon o el reciente mirador AlpSpIX en Alemania.

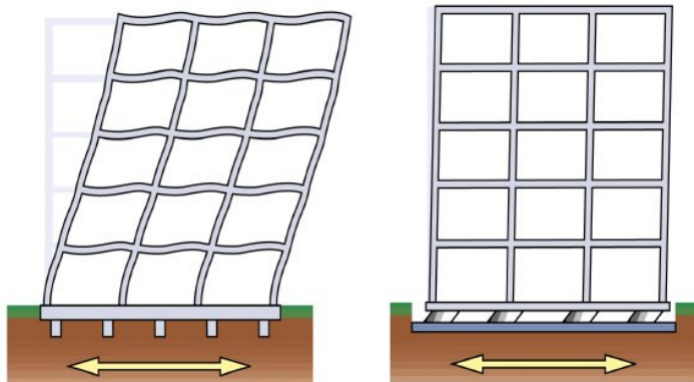


Un resultado similar se puede obtener mediante los amortiguadores de agua sintonizados (TLMD). Durante la oscilación, el movimiento del líquido contrarresta el del edificio

Entre sus primeras implantaciones se encuentra la torre One Rincon Hill de San Francisco y el record actual lo ostenta el Comcast Center de Filadelfia, de casi 300 metros de altura, con un tanque de 1300 toneladas de agua.

La tercera de las estrategias de diseño sismo-resistente no pretende disipar la energía ni contrarrestar los movimientos que provoca. Plantea que el que esta energía sísmica no llegue a transmitirse al edificio.

El bloque de la izquierda posee una cimentación convencional y en el de la derecha se emplea una técnica de aislamiento de base.



En el primer caso las oscilaciones del terreno se transmiten directamente al edificio mientras que en el segundo quedan fundamentalmente absorbidas en los aisladores.

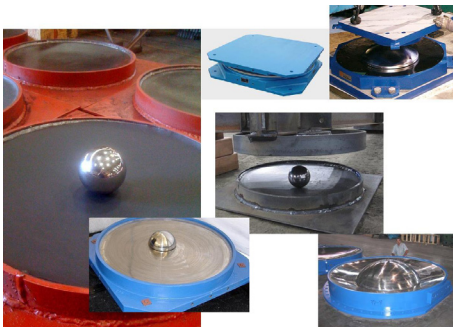
Los aisladores de edificios pueden ser elastoméricos (de neopreno o teflón y placas de acero, con fuerte capacidad resistente frente a cargas verticales y muy reducida frente a acciones horizontales) o aisladores de fricción con capacidad de deslizamiento.

Las disposiciones constructivas de los aisladores son variadas. Pueden aprovechar la existencia de una planta inferior diáfana o requerir un pequeño rebaje específico.



Este rebaje se realiza *a posteriori* cuando se interviene sobre edificios históricos. El Capitol State Building de Utah se sustenta actualmente sobre 280 aisladores de base.

Un tipo de aislador de fricción frecuentemente utilizado es el pendular. En él la concavidad de su superficie deslizante facilita que el propio peso del edificio lo haga retornar a la posición original.



Existen aisladores pendulares de todos los tamaños, e incluso agrupaciones de dos de ellos que proporcionan entre ambos una importante longitud de desplazamiento.

El uso de estos dispositivos se disparó exponencialmente tras la comprobación de su eficacia en el terremoto de Kobe de 1995.

Se emplean actualmente en bastantes miles de edificios, desde los singularmente grandes (como el Motoazabu Hills Forest Tower en Japón), hasta los más pequeños. Un cuidado diseño arquitectónico no está reñido con el aislamiento sísmico.



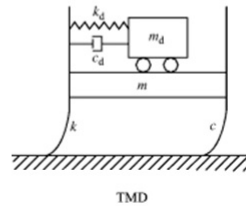
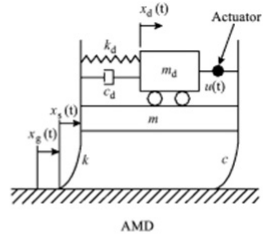
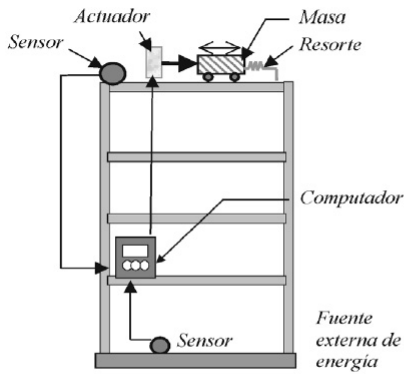
Este se emplea también en puentes, puertos, en grandes plataformas *offshore* y en pequeños *racks* de computadores.

Técnicas de Control Activo

Precisamente los computadores son los protagonistas de las estrategias más recientes de diseño antisísmico. A diferencia de los procedimientos anteriores de control pasivo, las Técnicas de Control Activo se anticipan a la acción de la naturaleza, ejerciendo directamente fuerzas mediante actuadores.

En un sistema de amortiguación de masa activa, una serie de sensores miden los desplazamientos, velocidades y aceleraciones en el terreno y en diversos puntos de la estructura y un computador evalúa la evolución futura de sus posiciones y ordena a un actuador que aplique una fuerza calculada en cada momento.

Esta fuerza adicional sobre la masa se suma a la de la inercia mejorando la eficacia de su oposición al movimiento del edificio.



El Shanghai World Financial Center, de 490 metros de altura, dispone de dos masas activas de 125 toneladas cada una gestionadas por ordenador. Están situadas en la planta 90, se desplazan simultáneamente sobre dos carriles ortogonales y pueden compensar múltiples movimientos del edificio.





El conjunto de las tres torres del Harumi Island emplea otra ingeniosa técnica de control activo. Debido a su distinta altura, las tendencias de oscilación de las torres son diferentes y unos brazos con actuadores aprovechan estas diferencias para ejercer fuerzas entre cada dos edificios, calculadas en cada instante para minimizar el movimiento del conjunto.

La oscilación de cada torre ayuda a compensar la de las otras mediante la aplicación de un sistema de tendones activos.

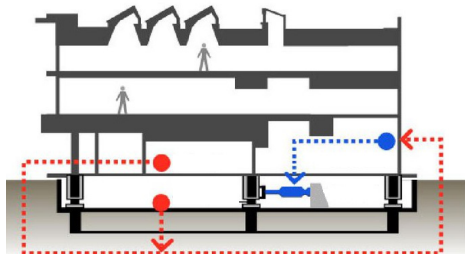
Técnicas de Control Híbrido

El gran inconveniente de los sistemas de Control Activo es su requerimiento de fuertes cantidades de energía para alimentar los actuadores. En previsión de una eventual falta de suministro eléctrico durante el terremoto, los sistemas activos se combinan habitualmente con otros pasivos, dando lugar a los sistemas de Control Híbrido.

En ellos, a una masa deslizante pasiva (movida por la inercia) se le acopla otra masa menor, a su vez deslizante y activa (desplazada mediante un actuador). Unos sensores miden el movimiento de terreno, del edificio y de la masa pasiva y con estos datos una computadora calcula en cada instante la fuerza que debe ejercer por el actuador sobre la masa activa para mejorar la eficacia del conjunto de ambas. Si se produce un corte de energía, actúa solamente la masa pasiva (la mayor).

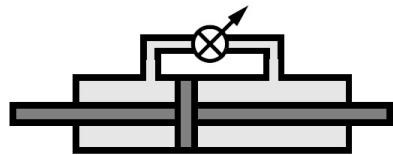
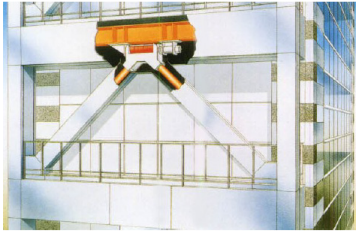
Estos dispositivos están implementados por ejemplo en las torres del Shinjuku Park en Tokio, en el Osaka World Trade Center, en la torre Yokohama Landmark y en la torre de televisión de Cantón, de 618 metros de altura.

Los sistemas de Control Híbrido se pueden aplicar también al aislamiento de base. En el esquema, los sensores de la izquierda miden los desplazamientos del terreno y edificio, y el conjunto computador-actuador de la derecha provoca fuerzas adicionales para acelerar su estabilización.

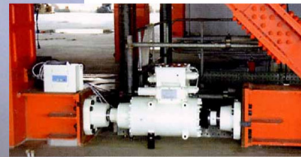
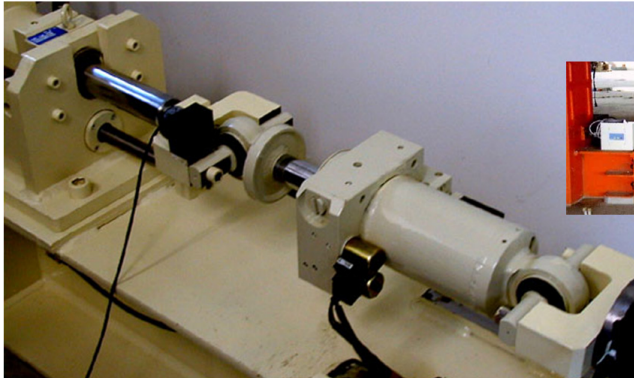


Técnicas de Control Semiactivo

La estrategia más sofisticada y compleja es la del Control Semiactivo. En ella también se cuenta con un sistema informático que evalúa permanentemente los datos recogidos por múltiples sensores, pero en este caso las decisiones de actuación no se aplican directamente sobre la estructura (mediante fuerzas de actuadores), se aplican sobre los dispositivos pasivos, alterando sus propiedades en tiempo real para optimizar su eficacia sin necesidad de aportes considerables de energía.



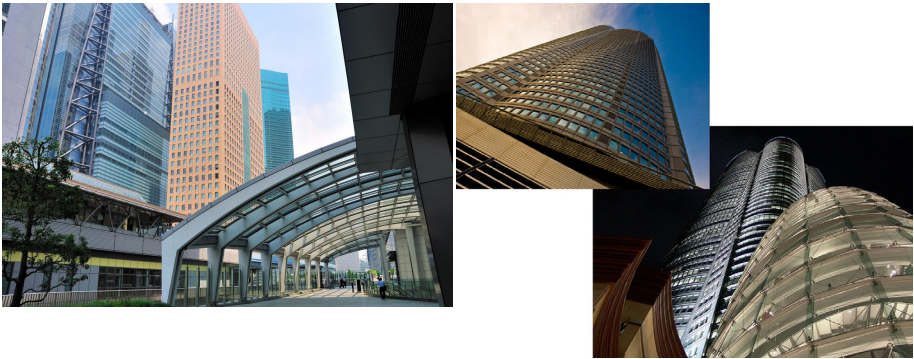
Schematic of Variable-Orifice Damper.



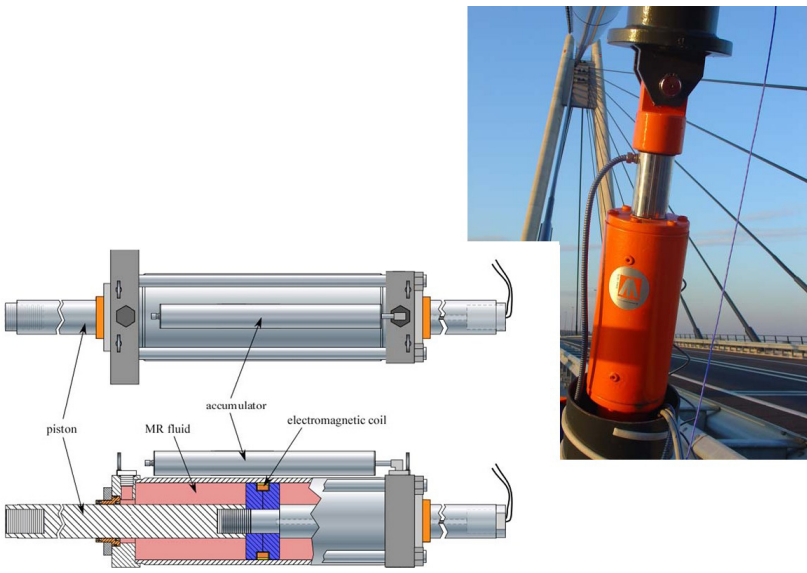
En el sistema semiactivo de la figura, de amortiguación con orificio variable el pistón no está perforado y el líquidos tiene que pasar de una a otra cavidad siempre a través del *by-pass* superior. Una pequeña válvula en el mismo controlada por ordenado, regula este paso y con ello la fuerza ejercida en cada instante por el amortiguador.

El control automatizado de múltiples amortiguadores de este tipo en las distintas plantas permite establecer la distribución y secuencia de fuerzas que mejor reduce los movimientos del edificio.

Este es el caso de la torre Royal Park Shiodome con 88 dispositivos o de la Roppongi Hills Mori con 356 amortiguadores hidráulicos semiactivos.



Una mejora adicional en la velocidad de respuesta se consigue eliminando las válvulas mecánicas y disponiendo amortiguadores magnetoreológicos. Estos dispositivos incorporan un fluido especial cuya viscosidad cambia en presencia de un campo electromagnético en intervalos de milisegundos. La generación computerizada de la adecuada secuencia de intensidades magnéticas en cada amortiguador altera instantáneamente las viscosidades y con ello las fuerzas ejercidas en cada punto de la estructura.



312 de estos dispositivos magnetoreológicos proporcionan la resistencia antisísmica del puente Dongting Lake en China.



Otro puente, este sobre el río Volgogrado en Rusia, tuvo un episodio de resonancia provocado por el viento en mayo de 2010. Las oscilaciones verticales del tablero obligaron a su cierre temporal y finalmente se optó por la implantación de sistemas de masa semiactivos con dispositivos de fricción controlada por amortiguadores magnetoreológicos.

Dispositivos combinados

Tras la exposición de las diferentes técnicas y dispositivos de sistemas de control pasivos (por disipación energética, acoplamiento de masas o aislamiento de base), activos, híbridos o semiactivos surge lógicamente una pregunta: ¿Cuál de ellos es el mejor? Obviamente dependerá de cada situación concreta. Así por ejemplo, en un edificio rígido (de altura moderada) cimentado en roca, son previsible frecuencias de oscilación muy altas y la técnica del aislamiento de base puede ser especialmente efectiva. Sin embargo, un edificio más alto y flexible cimentado sobre un terreno disgregado, tendrá frecuencias de oscilación bajas y resultará más adecuada la implantación de un amortiguador de masa sintonizado.

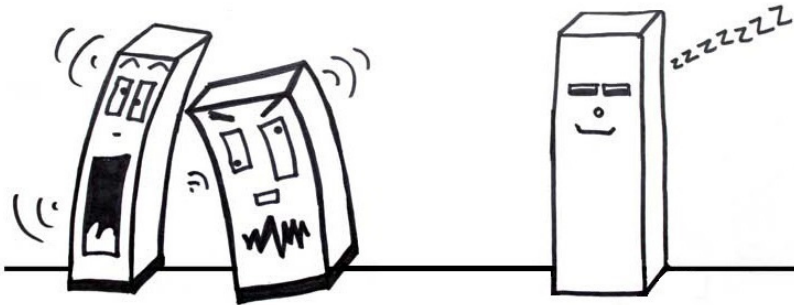
Además, los dispositivos descritos pueden complementarse entre sí y no resultan infrecuentes las soluciones combinadas de disipadores de energía con aisladores de base. No constituyen sistemas híbridos activo-pasivo sino combinaciones de pasivos.



- Vibration control device (High-strain super-plastic alloy dampers)
- Solid center steel column (200~250 Ø)
- Flat slab
- Super-flex wall (Extremely thick earthquake-resistant wall/core portion)
- Sky Garden (Steel frame truss)
 - Control device
 - Broadband damper
 - Oil damper
- Hybrid base-isolation system
- Cast-in-place reinforced concrete ball piles

El Island Tower Sky Club de Fukuoka (en la imagen anterior) combina por ejemplo 5 tipos diferentes de dispositivos.

El desarrollo tecnológico en este campo experimenta avances notables. La sismología es una ciencia en constante crecimiento y los logros conseguidos en los últimos tiempos en el diseño sismorresistente nos permiten abrigar esperanzas de futuro con un mejor control de las fuerzas de la naturaleza.



Muchas gracias a todos

Referencias

B. F. Spencer Jr., S. Nagarajaiah. State of the Art of Structural Control. Journal of Structural Engineering ASCE / July 2003. pp. 845-856.

Seismic Response Control Systems for Structures, Nishant Kishore Rai, G. R. Reddy, S. Ramanujam, V. Venkatraj and P. Agrawal. Defence Science Journal, Vol. 59, No. 3, May 2009, pp. 239-251.

Dolce, M.; Martelli, A. & Panza G. F. Let us protect from earthquakes. The Modern technologies and Methodologies and the New Seismic Code, 2nd edition, 21mo Secolo, Milan, Italy, 2005.

Dubey, P. N.; Reddy, G. R.; Deb, S. K.; Vaje, K. K.; Ghosh, A. K. & Kushwaha, H. S. Performance of base isolated RCC framed building under actual earthquake. Proceedings of the International Workshop on Earthquake Hazards and Mitigation, Guwahati, India, 2007.

Sreekala, R. & Muthumani, K. *et al.* Passive seismic response control using devices made of shape memory alloys. Proceedings of 8th Technical Programme Discussion Meeting, 2006, pp. 93-103.

Fujita, T., Seismic isolation, energy dissipation and active vibration control of structures - Kobe, Japan, June 11-16, 2005. Proceedings of the 9th World Seminar, JAVIT, Tokyo, Japan.

Kurokawa, Y., *et al.* Structural Design and Vibration Control of A Complex High-Rise Building. 1994.

Nishitani, Akira. Application of Active Structural Control in Japan. Progress in Structural Engineering and Materials, 1998 Vol 1, pp. 301-307.

Spencer, Bill. Recent Trends in Vibration Control in the USA. Third International Conference on Motion and Vibration Control. Chiba, September 1-6, 1996.

Soong, T. T. (1990), Active Structural Control: Theory and Practice, Longman, England and Wiley, New York, NY.

Active Structural Control Research at Kajima Corporation. Jerome Peter Lynch. Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University. September 17, 1998.

ASCE, *Journal of Engineering Mechanics*. Special Issue: Structural Control: Past, Present, and Future. Volume 123, No 9. ASCE Press. 1997.

Active, Semi-Active And Hybrid Control of Structures - T. T. Soong (State University of New York) & B. F. Spencer, J. R (University of Notre Dame, Indiana) - 12WCEE 2000.

Ohri, S. *et al.* Development of Active-Passive Composite Tuned Mass Damper and an Application to the High Rise Building. First World Conference on Structural Control, 1994.

Kobori, T. *et al.* Seismic Response Controlled Structure with Active Variable Stiffness System. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 22, 925-941, 1993.

Baker, G. A., Johnson, E. A., Spencer Jr., B. F. and Fujino, Y. (1999), "Modeling and semiactive damping of stay cables", Proc. 13th ASCE Engrg. Mech. Conf., Baltimore, Maryland.

Carlson, J. D. and Spencer Jr., B. F. (1996), "Magneto-rheological fluid dampers for semi-active seismic control", Proc. 3rd Int. Conf. on Motion and Vib. Control, Chiba Japan, III, pp. 35-40.

Higashino, M. and Aizawa, S. (1993), "Application of active mass damper system in actual buildings", G. W. Housner and S. F. Masri (eds), Proc. Int. Workshop on Structural Control, pp. 194-205, Los Angeles, CA. 16 2834.

Spencer Jr., B. F., Dyke, S. J., Sain, M. K. and Carlson, J. D. (1997), "Phenomenological model of a magnetorheological damper", *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 123(3), pp. 230-238.

Spencer Jr., B. F., Johnson, E. A. and Ramallo, J. C. (1999), "Smart isolation for seismic control", Proc. Pioneering Int. Symp. on Motion and Vib. Control in Mechatronics, Tokyo, Japan, pp. 169-174.

Seto, K. (1998), "Modeling and active vibration control of flexible structures", Proc. of 2nd World Conf. on Struct. Control, 1, pp. 15-24, Kyoto, Japan.

Soong, T. T., Reinhorn, A. M., Aizawa, S. and Higashino, M. (1994), "Recent structural applications of active control technology", *J. Struct. Control*, 1(2), pp. 5-21.

Samuele Infanti, Jamieson Robinson, Rob Smith. Viscous Dampers for High-Rise Buildings. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China.

Félix Hernando Mansilla (Pontevedra, 1959) es Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Licenciado en Ciencias Físicas con especialidad en Física Automática e Industrial y doctorando en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial.

Tiene una dilatada trayectoria profesional en Ingeniería Nuclear en España e Italia, en proyectos de estructuras civiles y de edificación y en proyectos informáticos en ámbitos técnicos, científicos, empresariales y académicos. Desde 2007 desempeña el cargo de *Director de Nuevas Tecnologías y Sistemas de Información y Gestión* de la Fundación Universitaria San Pablo CEU.

En paralelo y desde 1989 desarrolla una intensa actividad docente en el C.E.S. CEU-Arquitectura. En el año 2001 se crea la Escuela Politécnica Superior y asume su dirección hasta el año 2006. En enero de 2009 el Patronato de la Universidad San Pablo CEU le nombra nuevamente *Director de la EPS*, hasta junio de 2012.

Es Profesor Agregado y Responsable del Área de Conocimiento de *Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras* y ha organizado e impartido numerosas asignaturas correspondientes a las titulaciones de Arquitectura, Arquitectura Técnica, Ingeniería de la Edificación, Ingeniería de Telecomunicación y Fabricación Digital.

Profesor invitado en distintos programas de Master, es autor de diversas publicaciones y múltiples programas informáticos orientados a la docencia y la investigación y ha desarrollado numerosas ponencias, conferencias y seminarios en diferentes Universidades, Centros, y Colegios Profesionales.