

SISTEMAS DE CONTROL EN ESTRUCTURAS*

Por: José Luis Ahumada Villafañe**

Fecha de recibido: 5 de julio de 2010 • Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2010

RESUMEN:

En el diseño estructural, la capacidad de disipación de energía en elementos que conforman los sistemas resistentes a fuerzas dinámicas, como las impartidas por la actividad sísmica y eólica, es suministrada por un minucioso detallado del acero de refuerzo y dimensiones en las secciones transversales de los elementos. Esta práctica es realizada bajo muchas suposiciones que en algunas ocasiones no corresponden a la realidad, y como es de esperarse, producen resultados inexactos y un desconocimiento del desempeño de la estructura. Por lo anterior es riesgoso confiar el 100% de la capacidad estructural a los elementos sobre todo cuando conforman sistemas estructurales diseñados en zonas de amenaza sísmica alta. En este artículo se presentan los sistemas de control, los cuales son una serie de dispositivos adaptados a las estructuras que absorben gran parte de la energía sísmica y liberan los elementos estructurales en gran porcentaje de la acción sísmica, logrando disminuir en ellas las sollicitaciones (fuerzas internas) y las respuestas (derivadas) con el objetivo de conseguir un buen desempeño, limitar el daño y abaratar los costos de reparación de fallas localizadas. Los sistemas de control que se analizarán en el presente artículo se dividen en control pasivo, control activo, control semiactivo y control híbrido.

PALABRAS CLAVE:

Disipadores de energía, Sistemas de control, Estructuras sismorresistentes, Análisis No-lineal.



* El presente artículo es un avance parcial de la investigación en curso Alternativas de reforzamiento de estructuras en concreto reforzado con disipadores histeréticos de energía.

** Ingeniero Civil, Corporación Universitaria de la Costa, CUC. Docente Medio Tiempo. Grupo de investigación: Suelo-estructuras. Candidato a Magister en Ingeniería Civil, énfasis en Estructuras, Universidad del Norte. Jahumada4@cuc.edu.co





5

CONTROL SYSTEMS IN STRUCTURES

By: José Luis Ahumada Villafaña

ABSTRACT:

In the structural design, the capacity dissipation of energy in elements that constitute the dynamic forces tolerant systems, as given by the seismic activity and wind power is supplied by a detailed minute of reinforcing steel. This practice is performed under many assumptions which sometimes do not correspond to reality and as expected produce inaccurate results and a lack of performance of the structure. Therefore it is risky to rely 100% of the structural capacity to the elements especially when up structural systems designed in areas of high seismic haz-

ard. In this paper, control systems, which are a series of devices adapted to the structures that absorb much of the released seismic energy and structural elements in large percentage of the seismic action, decreasing the stresses on them (forces internal) and responses (drifts) in order to achieve good performance, limiting the damage and lower repair costs to localized failures. The control systems are analyzed in this article are divided into passive control, active control, semi-active control and hybrid control.

KEY WORDS:

Energy sinks, Control systems, Sismorresistentes structures, Nonlinear analysis.



INTRODUCCIÓN

Los diferentes códigos sismorresistentes en el que se basan los diseños de estructuras a nivel mundial, no admiten daño en elementos que conforman el sistema estructural resistente ni en elementos de mampostería para sismos intensidad leve a moderada, pero permiten daños estructurales en sismos severos pero sin llegar al colapso. Lo anterior se logra suministrando a la estructura una adecuada resistencia y ante todo gran ductilidad para que tenga la capacidad de deformarse en el rango inelástico y disipar la energía.

Los sistemas de control han repercutido enormemente en la ingeniería estructural, desde su etapa inicial en el año 1950, han estado vinculados con aplicaciones en el campo militar donde se solucionó el problema presentado por las vibraciones en el uso de armas, equipos de guerra y vehículos de uso militar. La solución fue conseguir dispositivos que permitieran el amortiguamiento, aislamiento y absorción entre las piezas constitutivas de la estructura. Otra aplicación importante se presentó en el mejoramiento del desempeño del motor de combustión interna usada en automóviles y aviones los cuales generaban altas vibraciones y fuerzas dinámicas. En 1972 se realizó el primer estudio conceptual aplicado a la ingeniería civil.

El uso de sistemas de control permite liberar la estructura de las fuerzas externas producidas por el sismo y el viento concentrando gran cantidad de fuerzas en estos dispositivos y absorber por esta vía la energía impartida.

DESARROLLO

Dinámica estructural

La ecuación de movimiento establece:

$$M\ddot{X}(t) + C\dot{X}(t) + Kx(t) = -Mb\ddot{X}_s(t)$$

Los cuatro miembros de la ecuación se refieren a fuerzas. El primero corresponde a una fuerza

inercial que está determinada por la aceleración que adquiere la masa de la estructura por acción del movimiento sísmico. A mayor masa mayor fuerza inercial. El segundo miembro corresponde a la fuerza de amortiguamiento, que en estructuras de edificios está representada por la mampostería y otros elementos que no hacen parte del sistema estructural resistente a fuerzas. El amortiguamiento se genera por fricción entre estas partes que permiten frenar la fuerza sísmica. El tercer miembro es la fuerza en los elementos en el rango elástico y tiene que ver con su rigidez. A mayor rigidez mayor fuerza sobre la estructura. Estos tres miembros sumados deben contrarrestar el efecto del movimiento impartido por el sismo que es transmitido por el suelo ($Mb\ddot{X}_s$). Es decir, las tres fuerzas van en dirección contraria a la fuerza en la base que proviene de las ondas sísmicas superficiales.

Para mejorar la respuesta de la estructura se pueden afectar la masa, el amortiguamiento y la rigidez de la estructura. Estos tres parámetros son fáciles de manipular en caso de estructuras proyectadas para construir, pero para estructuras ya existentes es muy difícil lograrlo.

Variar la masa resulta en muchos casos muy difícil de ejecutar debido a los materiales usados, disposiciones arquitectónicas y aumento de respuestas dinámicas, igual ocurre con la rigidez de la estructura. La opción más acertada o más eficiente es variar el amortiguamiento usando los sistemas de control.

TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Control Pasivo: Son dispositivos adaptados a la estructura que tienen la función de absorber un gran porcentaje de las fuerzas dinámicas y disiparlas apoyándose en la capacidad de deformarse en el rango inelástico, lo que hace que la fuerza que tomen los elementos que conforman el sistema estructural sea mínima.

No necesitan de ningún tipo de activador o fuente de potencia para su funcionamiento. Es-

tos dispositivos generan fuerzas contrarias a la impartida por el sismo.

Estos sistemas incluyen aisladores de base, amortiguadores viscoelásticos, disipadores histeréticos de energía y amortiguamiento por fricción.

Los aisladores de base son dispositivos colocados entre la cimentación y la estructura que permiten aumentar el periodo fundamental de vibración haciendo que las aceleraciones espectrales disminuyan lo que se ve reflejado en una reducción de la fuerza. Están conformados por un elastómero de caucho natural o neopreno reforzado con finas láminas de acero como se observa en la figura 1.

Figura 1. Aislador de base

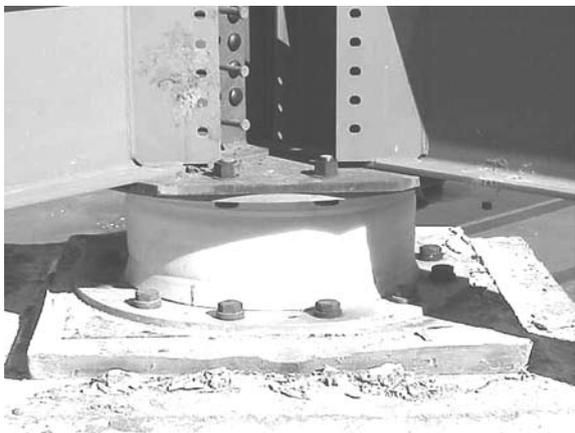
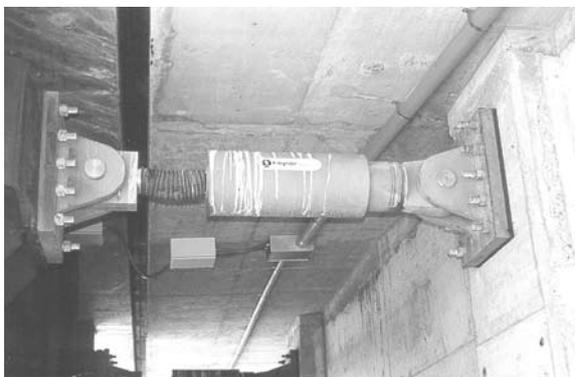


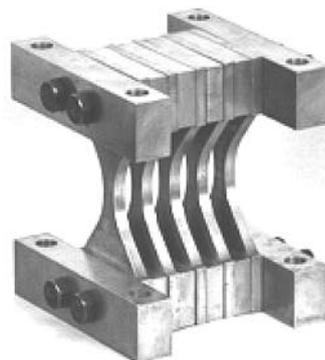
Figura 2. Disipadores viscosos. Puente Amolanas. Tramo La Serena y Los Vilos, Chile



Los amortiguadores viscoelásticos dependen fundamentalmente de la velocidad. Están constituidos por un material viscoelástico ubicado entre dos placas de acero. Estos dispositivos disipan la energía por medio de deformaciones aplicadas por un pistón sobre del fluido viscoso que pasa a través de un orificio.

El disipador histerético de energía consiste en acoplar a la estructura, por medio de riostras o diagonales, un dispositivo metálico capaz de deformarse en el rango inelástico para absorber energía y disiparla. Existen en la actualidad disipadores histeréticos que se ajustan a la estructura de tal forma que puedan trabajar a flexión, cortante, torsión y a carga axial como los mostrados en las figuras 3 y 4. Los materiales más usados en la fabricación de estos dispositivos son el acero blando y el plomo.

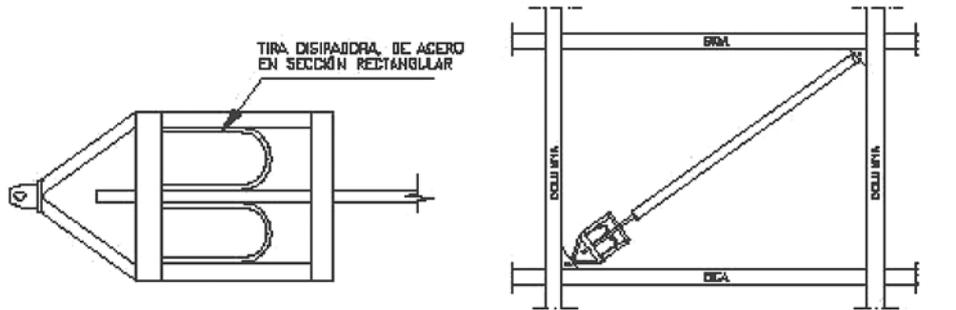
Figura 3. Disipador tipo Adas



El amortiguador de masa sintonizado (*Tuned mass damper*) está conformado por una masa secundaria conectada a la estructura por medio de un resorte y un amortiguador los cuales hacen que la masa oscile contrarrestando la fuerza impartida por el sismo.

Control Activo: Es un sistema que emplea dispositivos que necesitan de una fuente externa para ser accionados. Estos imparten fuerzas a las estructuras y también disipan energía. Su funcionamiento se basa en recibir información de las respuestas de la estructura (derivas, rotaciones,

Figura 4. Disipador trabajando a flexión



etc.) por medio de sensores que se encargan de medir las variables y calculan la fuerza necesaria para accionar los actuadores de control y contrarrestar la acción sísmica. Los actuadores de control consisten en tendones activos, tirantes activos y sistemas amortiguadores de masa activos.

Estos dispositivos presentan una gran desventaja debido a que necesitan de fuentes de energía para su funcionamiento. En caso de falla en el suministro de energía, caso muy común en sismos, dejan de funcionar.

Control Semiactivo: Son considerados dispositivos pasivos controlados, necesitan menor fuente de energía que los dispositivos de control activo, lo que permite ser más favorable ante un evento sísmico ya que con la energía de una batería pueden funcionar. No imparten fuerzas al sistema estructural lo que no les permite desestabilizarlo.

Estos sistemas tienen un mejor rendimiento que los dispositivos pasivos y en muchas ocasiones mejor que los activos. Ejemplos de estos sistemas son los dispositivos de líquidos controlables, amortiguadores de fluidos con orificio variable.

Control Híbrido: Son los que adaptan a la estructura una combinación de dispositivos de control pasivo y activo. Su unión permite superar deficiencias que presentan ambos dispositivos, siendo un sistema cooperante.

El sistema híbrido con amortiguador de masa (Hybrid Mass Damper HMD) es el más utilizado

en ingeniería y consiste en la combinación de un amortiguador de masa y un actuador de control activo.

Otro sistema híbrido bastante usado consiste en un aislador de base combinado con un actuador de control.

CONCLUSIONES

Los sistemas de control aplicados a las estructuras corresponden a un avance significativo en la optimización de sistemas estructurales para controlar las respuestas ante fuerzas sísmicas. Representan una solución acertada para lograr estructuras más seguras para proteger vidas humanas y garantizar daños leves de bajo costo de reparación ante sismos moderados y frecuentes.

Los sistemas de control pasivos representan las opciones más económicas, debido a su fácil fabricación y disponibilidad de materia prima para su elaboración lo que los hace más recomendables para usar en países en vías de desarrollo. Pruebas realizadas en estructuras reales con sistema de control pasivo de aislamiento de base demostraron que este dispositivo permite una disminución del 78% de la aceleración máxima impartida por un sismo.

La adaptación de sistemas pasivos de disipación de energía permite la disminución de la primera forma de vibración hasta en un 52%, además disminuyen los desplazamientos máximos, las fuerzas axiales máximas y los momentos flectores.



BIBLIOGRAFÍA

GÓMEZ, Daniel; MARULANDA, Johhano; THOMPSON, Peter. *Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas*. Medellín. Julio de 2008. pp. 78-82.

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente. NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Tomo I títulos A y C.

VALLIN, Donato (2009). *Diseño de prototipo magnético disipador pasivo de energía sísmica para amortiguación de estructuras*. Energy and technology for the american education, innovation, technology and practice. Junio 2-5, San Cristóbal, Venezuela.

Dr. VILLARREAL, Genner (2009). *Edificios con disipadores de energía*. Lima-Perú. pp. 108-120.