

ESTADO DEL ARTE SOBRE DISPOSITIVOS PARA REDUCIR DAÑOS PROVOCADOS POR TEMBLORES

José M. Jara

**Escuela de Ingeniería Civil, Universidad
Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

RESUMEN

Se presenta una descripción de los principales dispositivos usados en la actualidad que buscan reducir los daños provocados por eventos sísmicos. Se comenta el uso de sistemas de controles pasivo y activo, así como el de cables de presfuerzo para la rigidización de una estructura y su aplicabilidad en la República Mexicana.

ABSTRACT

A description of the main devices used recently in order to search how to reduce damage produced by seismic events are presented. The use of passive and active control systems and prestressed cables in a stiff structure and its application in México is commented.

INTRODUCCIÓN

El intento por reducir los daños provocados por temblores ha llevado al desarrollo de elementos que se incorporan en las estructuras para modificar sus propiedades dinámicas y, en algunos casos, incrementar su capacidad de disipación de energía.

A partir de la última década ha crecido considerablemente el número de dispositivos fabricados en el mundo. Paralelamente, las instituciones de investigación han dedicado cada vez mayor tiempo al estudio analítico y experimental de estructuras con estos sistemas. Los dispositivos se han agrupado como función de su forma de trabajo en dispositivos de control pasivo y dispositivos de control activo.

1. DISPOSITIVOS DE CONTROL PASIVO

Existen cuatro sistemas principales desarrollados en la actualidad:

- Disipadores de energía
- Aisladores de base
- Osciladores resonantes
- Cables de presfuerzo

Los disipadores de energía modifican la rigidez de la estructura y buscan concentrar en ellos la mayor parte de la disipación de energía. Para su funcionamiento dependen fundamentalmente de los desplazamientos relativos de entrepiso. Los aisladores de base son elementos que se colocan comúnmente entre la cimentación y el edificio para intentar aislar el movimiento del terreno del de la superestructura. Un oscilador resonante es una o varias masas adicionales, generalmente sobre el último nivel de la estructura, con ciertas propiedades dinámicas que reducen la respuesta de la estructura; y los cables de presfuerzo rigidizan a la estructura e incrementan la carga axial en las columnas reduciendo, en algunos casos, los giros en sus extremos.

1.1 Disipadores de energía

Estos dispositivos se ubican generalmente en contravientos, y tienen como finalidad disminuir o eliminar la disipación de energía histerética

en las conexiones viga-columna de la estructura. También se han usado en combinación con aisladores de base. Se pueden agrupar, de acuerdo con la manera en que disipan energía, en los siguientes:

- Dispositivos de materiales con comportamiento elastoplástico
- Por extrusión
- Por fricción
- Dispositivos de materiales con comportamiento viscoelástico

a) Comportamiento elastoplástico

Su comportamiento idealizado es semejante al mostrado en la fig 1. La pendiente de la zona inelástica depende de las características de cada dispositivo y la disipación de energía es más grande conforme se incrementa el área bajo la curva.

El dispositivo mostrado en la fig 2 fue estudiado por Skinner y col (1975-b). Consiste en dos placas en forma de U que disipan energía al desplazarse una cara con respecto a la otra. La parte central del dispositivo se une a un nivel de la estructura y las partes extremas al nivel inmediato superior mediante barras. Los desplazamientos relativos entre los niveles ocasionan el movimiento conocido como rolado por flexión mediante el cual se disipa energía.

Aguirre y Sánchez (1989 y 1990) probaron experimentalmente soleras también en forma de U (fig 3). Su comportamiento histerético es muy estable (fig 4) y por la manera en que se deforman alcanzan la fluencia en casi toda la sección transversal al mismo tiempo. El número de ciclos de carga y descarga que soportan depende de la amplitud de deformación (fig 5). El Instituto de Ingeniería de la UNAM (Chávez y González, 1989) realizó pruebas experimentales en mesa vibradora con un marco de una crujía y dos niveles uniendo dos de estos dispositivos (para dar la forma de una oruga de tractor). Jara y col (1992) estudiaron la respuesta analítica de una estructura de acero de diez niveles y una estructura de concreto de nueve con este dispositivo, sometidas a temblores con las características de los que ocurren con mayor frecuencia en la ciudad de México. Al someter a las estructuras al temblor de Michoacán de

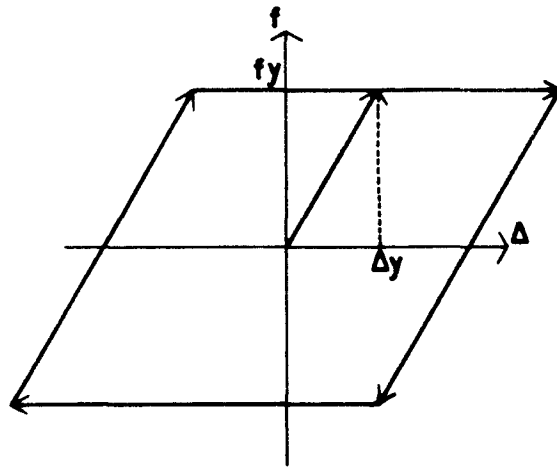


Fig. 1 Comportamiento elastoplástico

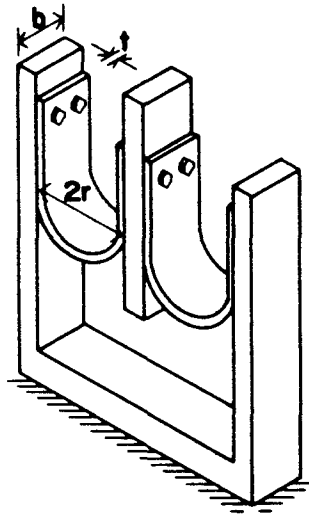


Fig. 2 Dispositivos en forma de U

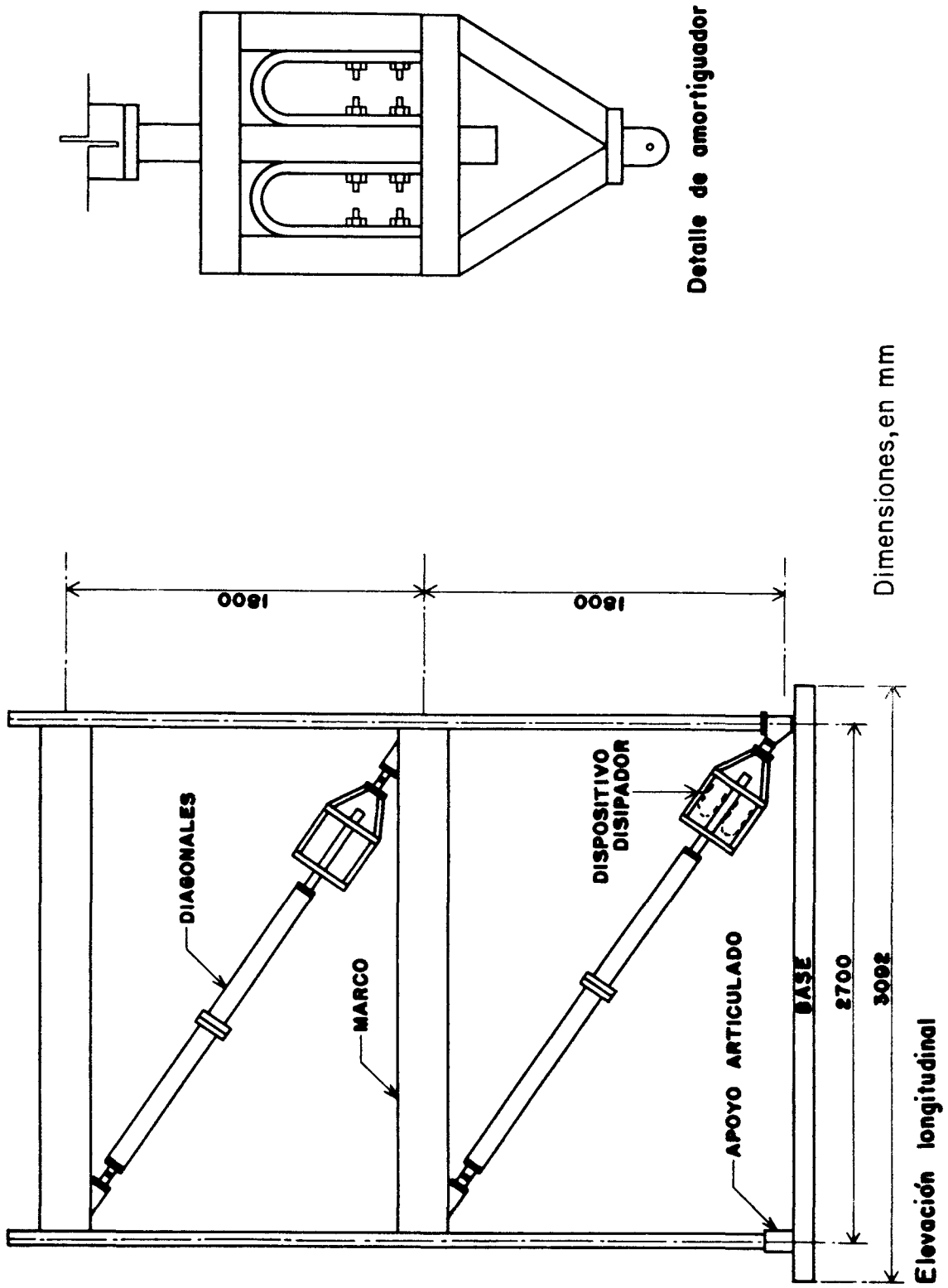


Fig. 3 Dispositivo en forma de U

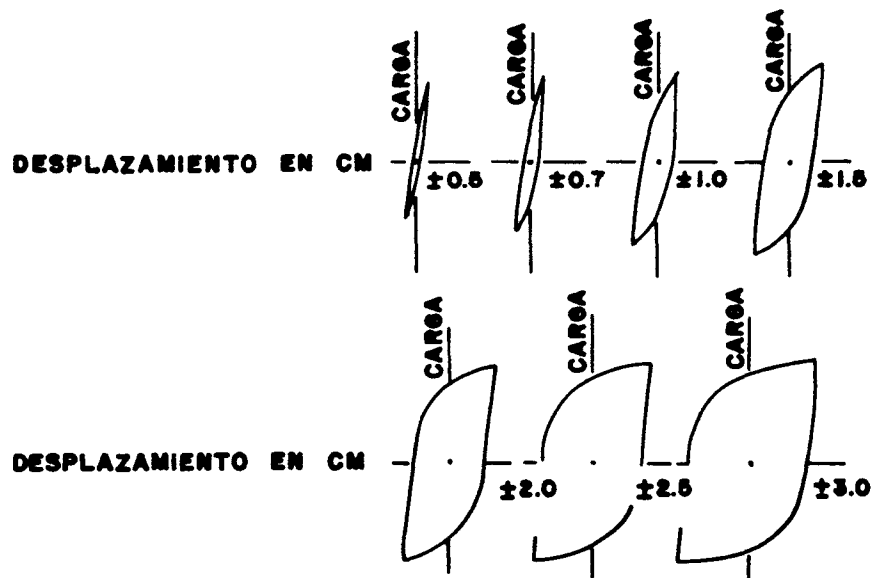


Fig. 4 Comportamiento histerético de los dispositivos en forma de U

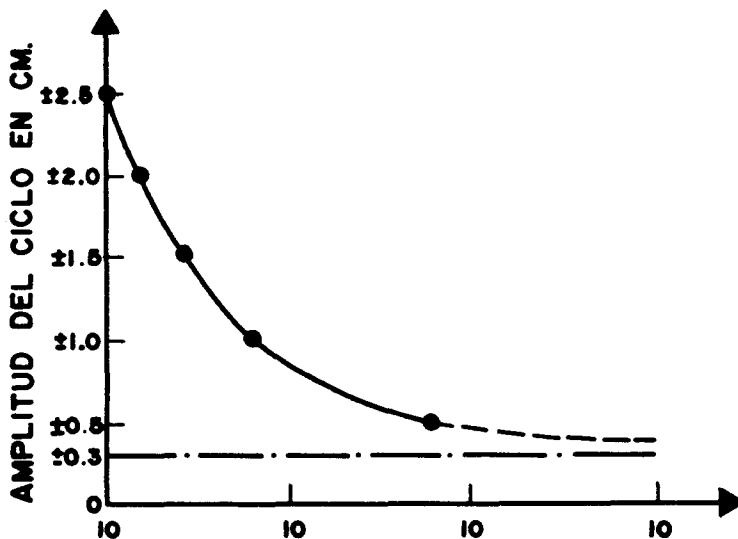


Fig. 5 Curva de fatiga de dispositivos U

1985 registrado en SCT, se obtuvieron resultados alentadores para la reducción de la respuesta en la zona blanda del Distrito Federal, sobre todo para la estructura de acero. Estudios posteriores del análisis paramétrico de un sistema de un grado de libertad con disipadores de energía y demandas de ductilidad de dos y cuatro, mostraron que el intervalo de aplicación de este sistema en la zona blanda de la ciudad, se limita a periodos de las estructuras inferiores a 1.6 seg (Gómez y col, 1993).

Urrego y col (1993) estudiaron la variación de la respuesta sísmica de marcos de concreto reforzado con tres crujías y diez niveles para diferentes ubicaciones de disipadores con respecto a la altura del edificio. Los resultados muestran la inconveniencia de colocar distribuciones de disipadores no simétricos.

Skinner y col (1975-a y b) y Skinner y McVerry (1975) estudiaron experimentalmente elementos sometidos a flexión en cantilíver, que se colocan en la cimentación como se muestra en la fig 6. Al ocurrir un desplazamiento relativo entre la superestructura y la cimentación se disipa energía debido al comportamiento histerético del cantilíver. Los ciclos son estables y sus parámetros fueron determinados experimentalmente por Skinner y col (1975-b). Por el lugar en que se colocan se pretende que se incorporen combinados con aisladores de base.

Kelly (1988) usó un dispositivo semejante al anterior en un edificio de la corporación Kajima en Japón, de tres niveles, construido sobre aisladores de base (fig 7). Los resultados analíticos mostraron que la respuesta es del orden de la tercera parte de la respuesta obtenida para la estructura original sometida a temblores con contenidos altos de frecuencias altas.

A este mismo tipo pertenece el dispositivo formado por una placa de sección trapecial (fig 8) usado en la base de una chimenea construida en Nueva Zelanda (Skinner y col, 1980). Los parámetros que determinan su geometría son proporcionados en gráficas que relacionan la altura de las placas con su espesor que se obtuvieron con base en pruebas

experimentales. Al sistema se adicionaron barras de acero dobladas (para permitir desplazamientos horizontales) que combinados con aisladores de base incrementan el amortiguamiento (fig 9). El comportamiento de la chimenea bajo las cargas reales a que se ha visto sometida no se ha publicado en la literatura.

El elemento que se muestra en la fig 10, usado en la construcción de un puente (Skinner y col, 1980), está formado por una barra circular de acero que se deforma, por la acción de dos brazos, hacia arriba y hacia abajo disipando energía por flexión; en la figura se muestran también los ciclos histeréticos del disipador que resultan casi rectangulares, lo que lo hace muy eficiente en la disipación de energía. Los dispositivos se colocaron entre la superestructura y el estribo de apoyo fijo.

Alonso (1989), Whittaker y col (1989), Scholl (1990), Su y Hanson (1990-a y 1990-b) y Bergman y Hanson (1990) estudiaron un dispositivo compuesto por placas de acero, con sección transversal en forma de X (figs 11 y 12), llamadas ADAS (Added Damping and Stiffness). La variación de la sección transversal obedece a que al desplazarse un nivel respecto al otro, las placas se deforman en doble curvatura, así que, si se empotran las placas, se genera un diagrama de esfuerzos casi uniforme en todo el peralte que cambia de signo en el eje neutro. Esto ocasiona que el esfuerzo de fluencia se alcance prácticamente en todo el volumen al mismo tiempo. Se han probado también placas de sección transversal rectangular. Dado que la distribución de esfuerzos por flexión sigue siendo triangular, en este caso los esfuerzos de fluencia se alcanzan sólo en pequeñas zonas extremas lo que reduce radicalmente la disipación de energía con respecto a la sección transversal en forma de X.

Las placas ADAS se pueden colocar como se señala en las figs 13 y 14 en marcos y muros de rigidez con traveses de acoplamiento, respectivamente. El comportamiento histerético de las placas se muestra en la fig 15. Los dispositivos se sometieron a más de cien ciclos de carga y descarga, mostrando un comportamiento muy estable, sin degradación. De estos resultados se desprende la recomendación que en su diseño se consideren valores de ductilidad máxima de seis.

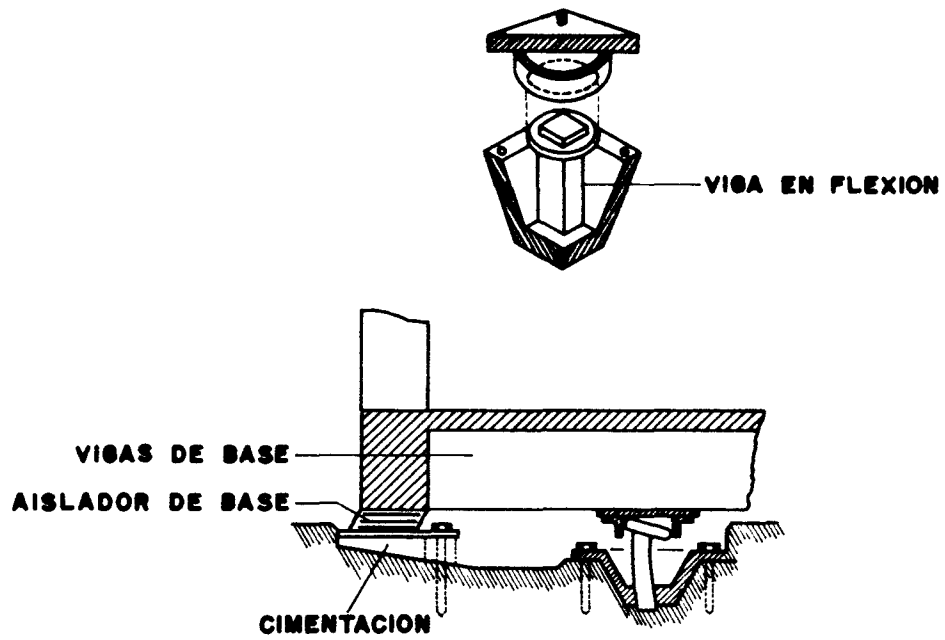


Fig. 6 Dispositivo a flexión

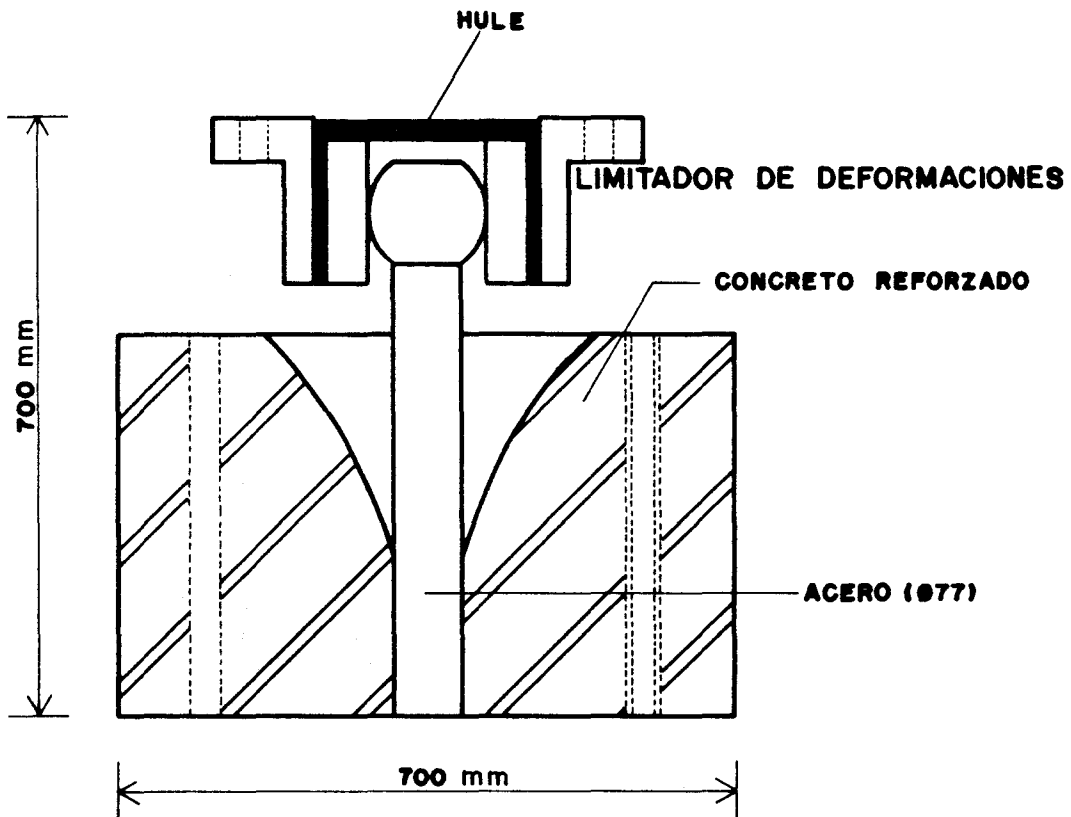


Fig. 7 Amortiguador histerético de acero

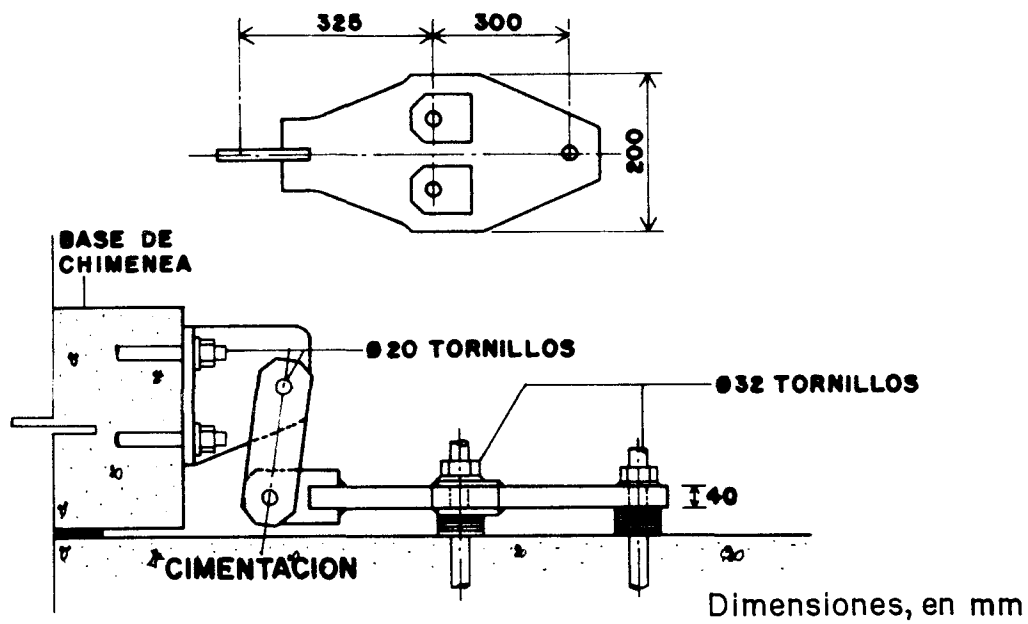


Fig. 8 Amortiguador en la base de una chimenea

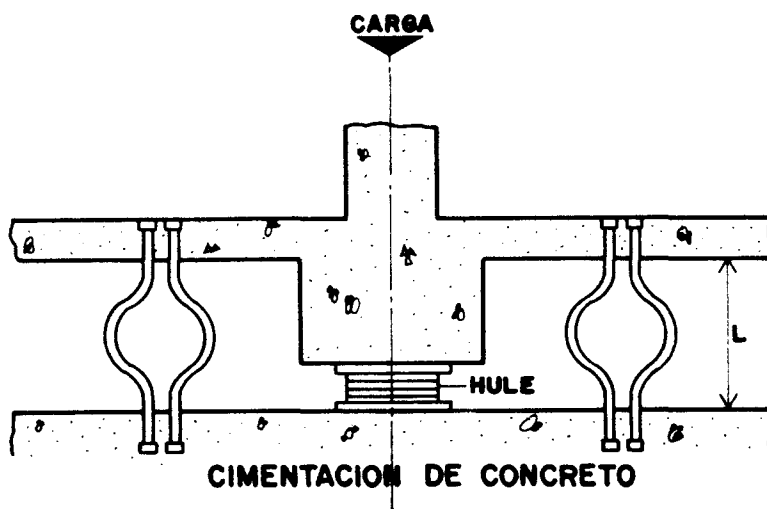


Fig. 9 Aislador de base y amortiguadores de barras dobladas

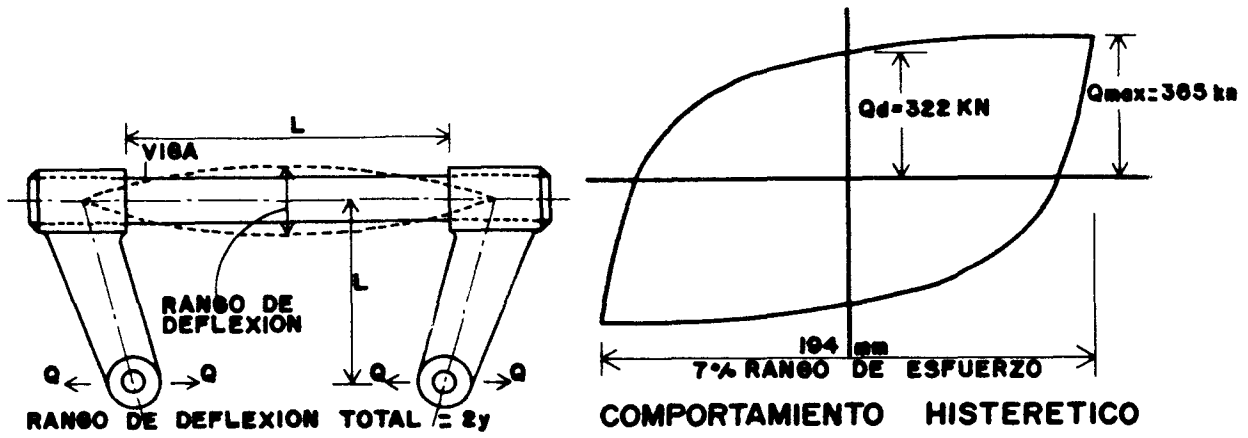


Fig. 10 Amortiguador de viga flexionante

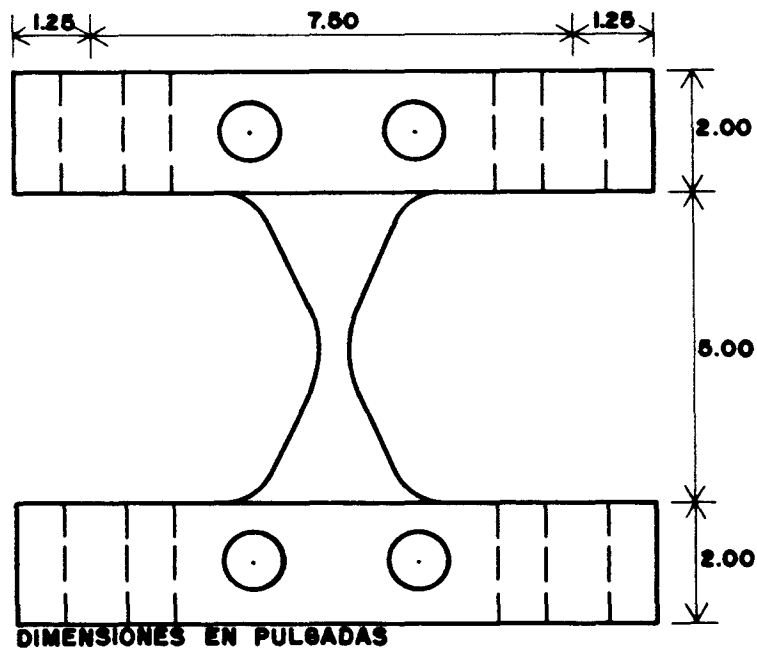


Fig. 11 Dispositivo adas

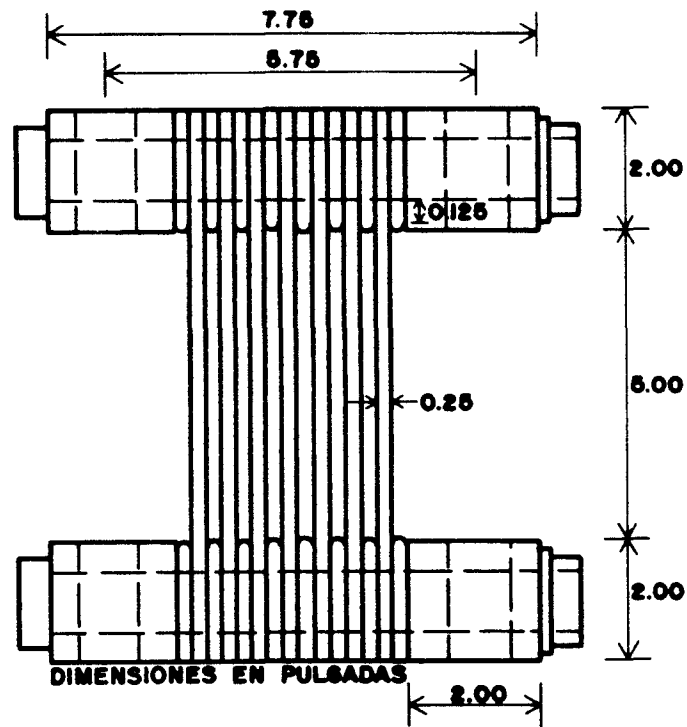


Fig. 12 Dispositivo adas del marco experimental en el primer nivel

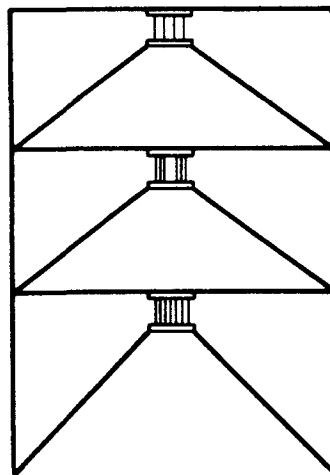


Fig. 13 Marco experimental con los dispositivos adas

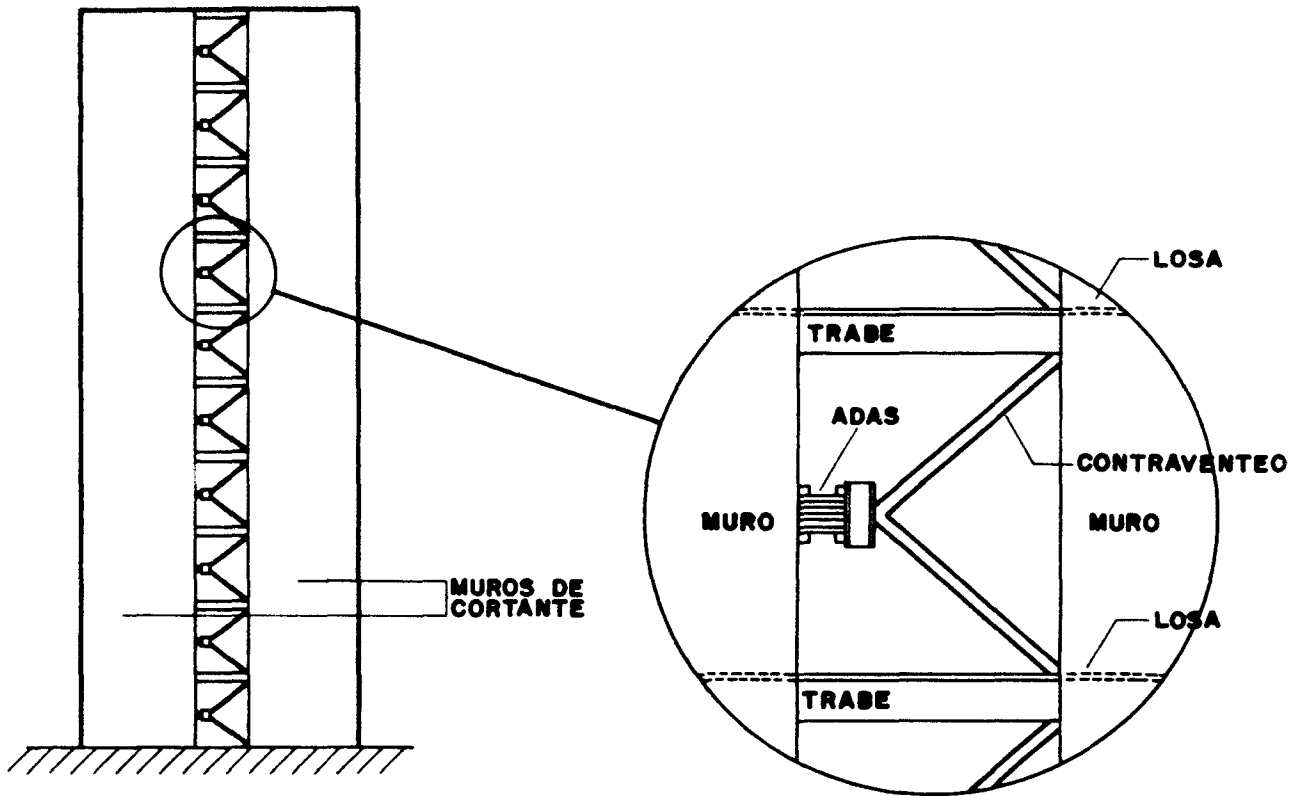


Fig. 14 Dispositivos adas en edificios con muros de cortante

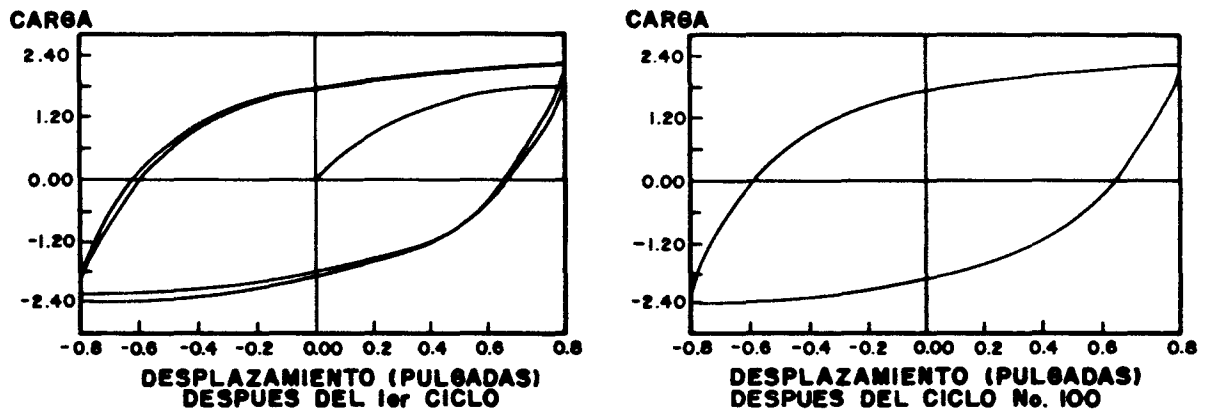


Fig. 15 Curvas de histéresis obtenidas experimentalmente

Estos dispositivos se usaron como solución estructural en la reparación de dos edificios de la ciudad de México dañados por los temblores de septiembre de 1985 (Martínez, 1990).

Tsai y col (1993) estudiaron una placa triangular (similar a la mitad de una placa de ADAS) llamada TADAS. Las placas se empotran en uno de sus lados a otra placa de acero que se conecta al nivel superior del entrepiso. En el vértice del triángulo se colocan pernos que se conectan a contravientos que parten del nivel inferior del entrepiso (fig 16). Este tipo de conexión ocasiona que las placas se deformen en curvatura simple. Al incorporar este sistema en un marco de acero a escala natural se pudo comprobar que las reducciones en la respuesta son similares a las obtenidas con ADAS. Sin embargo, de acuerdo con los autores, los resultados del modelo analítico del marco se acercan más al modelo experimental con este dispositivo debido a que la rigidez lateral de las placas, por la forma de conectarlas, se pre-

dice con menor incertidumbre que con las placas ADAS, en las que la rigidez es fuertemente dependiente de la conexión con las placas de apoyo. Esta dependencia se señala también en el estudio de Whittaker y col (1989).

Kobori y col (1992) estudiaron la respuesta experimental de placas de acero similares en sección transversal a los ADAS pero colocadas en su dirección perpendicular y unidas entre sí. Por el espacio que queda entre las placas, se le nombró de tipo panal (fig 17). Los ciclos histeréticos obtenidos son muy estables, con forma casi rectangular. Se realizó un estudio analítico de este sistema colocado entre un nivel y otro, a través de muros, en una estructura de 29 niveles. Las reducciones en la respuesta fueron de hasta un 60%. Adicionalmente, analizaron otro dispositivo de acero de sección circular variable empotrado en dos placas de acero (fig 18). Este dispositivo se analizó en el estudio analítico de una rampa de 98 m de altura máxima; la respuesta resultó 40% menor que aquella que se obtuvo sin incorporar la barra de acero.

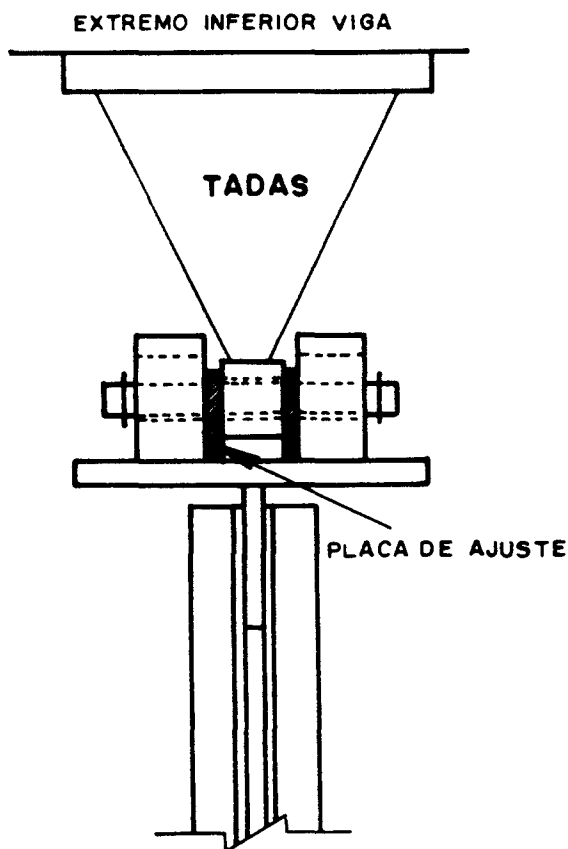


Fig. 16 Dispositivo Tadas

El comportamiento elastoplástico se logra también al someter una barra de acero a torsión (fig 19) (Skinner y col 1975-a y b, y Skinner y McVerry, 1975), que como sucede con los disipadores ADAS y en forma de U, alcanza el esfuerzo de fluencia al mismo tiempo en casi todo su volumen. La torsión se genera sobre la placa 5 al conectar los elementos 1 y 2 a la base y los brazos 3 y 4 a la cimentación. Este sistema fue usado en la construcción de un puente en Nueva Zelanda (Beck y Skinner, 1974).

Estudios posteriores (Kelly y col, 1977) muestran que una zona crítica en el diseño de estos elementos es la unión entre los brazos del dispositivo y la placa que trabaja a torsión. El estudio experimental consistió en probar un edificio de tres niveles provisto de aisladores de base (fig 20). Las vigas a torsión se comportan elásticamente, y se plastifican cuando la excitación sobrepasa cierto umbral, lo que modifica la rigidez del edificio en condiciones de servicio. Al disipar energía se incrementa también el amortiguamiento crítico equivalente, estimándose este en 30% para el modelo de tres niveles, lo que causa una fuerte reducción de la respuesta.

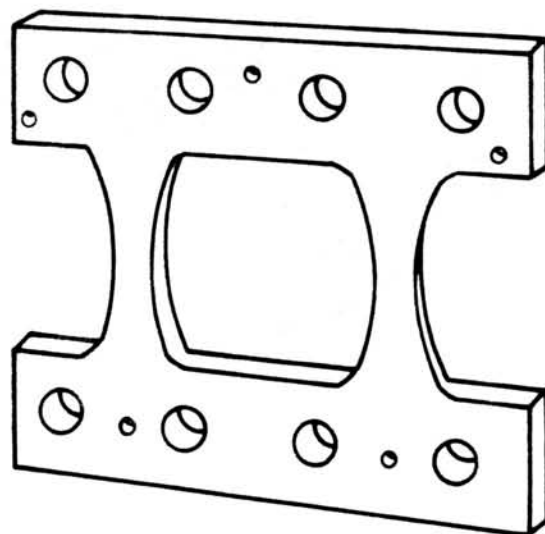


Fig. 17 Dispositivo tipo panel

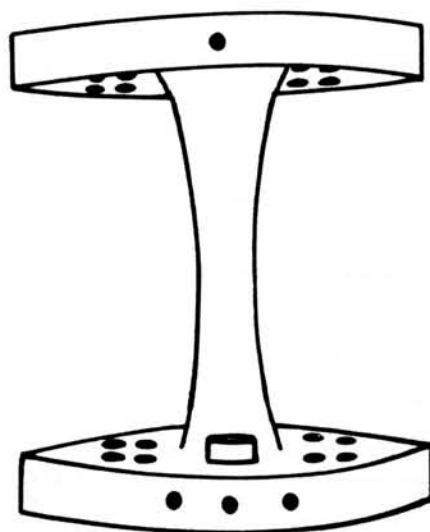


Fig. 18 Dispositivo de sección variable

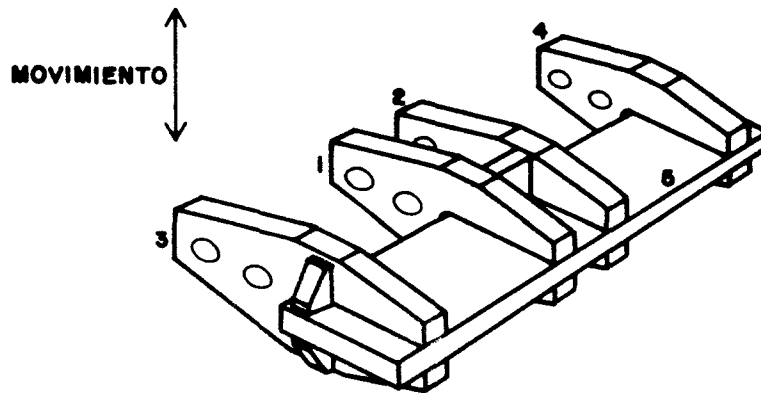


Fig. 19 Dispositivo a torsión

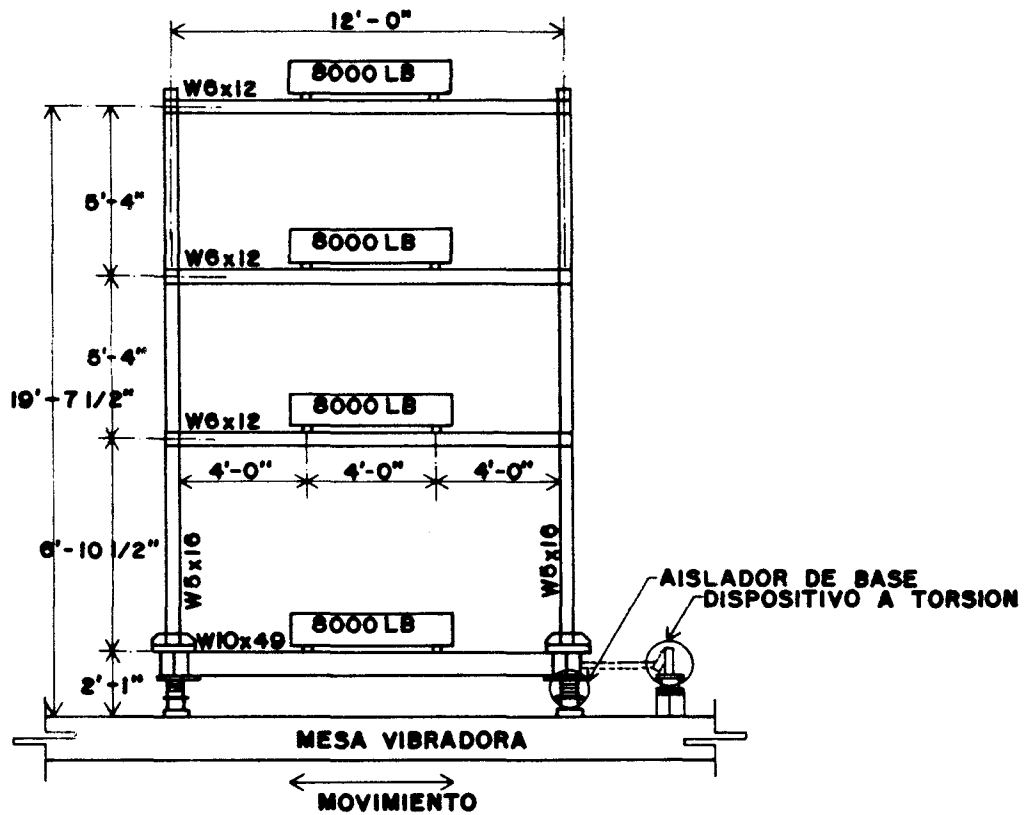


Fig. 20 Dimensiones del marco experimental

Medeot y Albajar (1992) hacen una descripción de los dispositivos incorporados en puentes y estudios llevados a cabo en Italia sobre estos sistemas. La mayor parte tienen forma y comportamiento similar a varios de los anteriores. Se hace mención también del buen comportamiento encontrado en sistemas híbridos.

Para que estos sistemas se usen en la práctica profesional, es necesario que se obtengan recomendaciones de diseño sencillas y de fácil aplicación. Con este propósito, School (1993) y Whittaker y col (1993) sugieren criterios generales que deben considerarse para el análisis de estructuras con disipadores de energía. La incorporación de estos dispositivos en los reglamentos actuales requiere que se continúe con estudios experimentales y analíticos que permitan contar con un mayor número de resultados en qué fundamentar las propuestas.

Otra forma promisoría de reducción de la respuesta con comportamiento elastoplástico, pero ahora en la estructura misma, sin necesidad de dispositivos especiales, consiste en colocar una barra diagonal desde el nudo del nivel inferior hasta a un punto distante del nudo del nivel superior, o dos barras desde los nudos del nivel inferior al centro de la viga superior sin que se conecten al mismo punto, como se muestra en la fig 21. Esto ocasiona que la parte de la viga ubicada entre la barra y el nudo o entre las dos barras fluya por cortante y disipe energía. Por la manera en que se conectan los elementos diagonales, a este sistema se le denomina de contravientos excéntricos (Ricles y Popov, 1987; Popov y col 1989, y Ricles y Bolin, 1990).

b) Disipación por extrusión

En estos sistemas, la disipación se logra al deformar un material en su sección transversal. Esto ocurre cuando se mueve el material disipador dentro de un tubo de sección variable (fig 22). El sistema fue propuesto inicialmente por Robinson y Greenbank (1975 y 1976) y Robinson y Cousins (1987) para su uso en la construcción de dos puentes en Nueva Zelanda.

El dispositivo está formado por un tubo de acero con plomo en su interior. Al deformarse

el plomo se disipa energía, y, al recuperar su sección original, se recrystaliza y recupera sus propiedades iniciales. El dispositivo fue sometido a ciento veintitres ciclos de carga y descarga con ciclos histéricos casi rectangulares y sin degradación apreciable (fig 23).

c) Disipación por fricción

Los disipadores por fricción consisten en colocar dos placas en la intersección de contravientos en forma de cruz, de manera que al desplazarse lateralmente la estructura produzca esfuerzos de fricción por el contacto entre las placas.

El sistema mostrado en la fig 24 fue desarrollado por Pall y Marsh (1982). Se conecta con barras al marco y disipa energía por fricción, al desplazarse una diagonal con respecto a la otra. El diseño busca evitar el deslizamiento bajo cargas de servicio, lo que da rigidez adicional al marco y, al sobrepasar un umbral, se inicia la disipación de energía por fricción. Estudios posteriores de este sistema se encuentran en Pall (1984) y refinamientos en su modelación analítica en Filiatrault y Cherry (1987 y 1990) y Filiatrault y col (1990). El comportamiento de los dispositivos se muestra en la fig 25.

La incorporación de este dispositivo en estructuras de hasta diez niveles en Canadá se menciona en Pall y Pall (1993). La modelación analítica de estas edificaciones muestra que los desplazamientos laterales de los marcos con los disipadores son del orden de la tercera parte de los marcos solos, al ser sometidos a los registros sísmicos utilizados en el estudio.

Scholl (1984) estudió un dispositivo desarrollado por Oiles Industry Co., Ltd of Tokio, Japón, formado con acero y hule (fig 26). Se coloca, al igual que el anterior, en la intersección de contravientos. El estudio experimental de un marco de un nivel con estos elementos, muestra incremento en el amortiguamiento y modificación en la rigidez con respecto al marco sin dispositivos. La principal desventaja es su costo comparativo con otros sistemas.

Nims y col (1993) determinaron la respuesta analítica de un marco de seis niveles escala 1/3

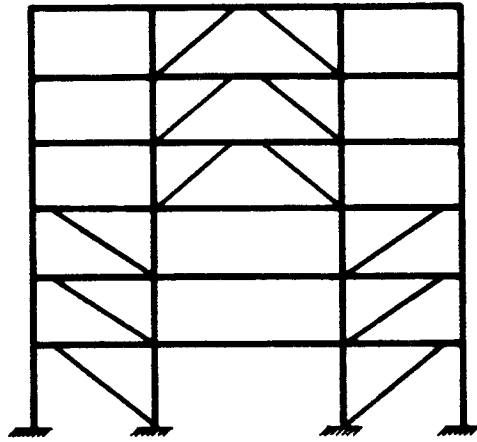


Fig. 21 El marco con contraventeos excéntricos

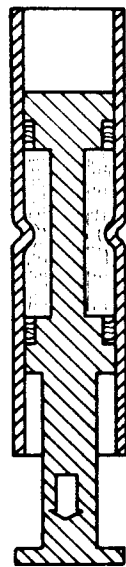


Fig. 22 Disipador por extrusión

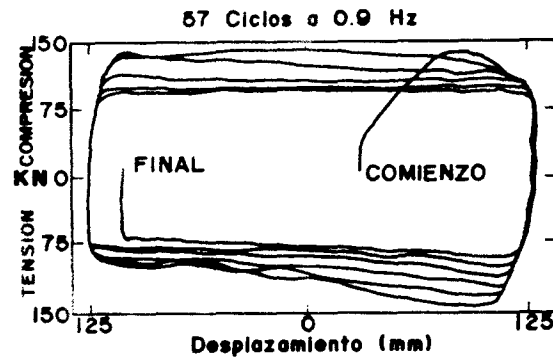


Fig. 23 Comportamiento histerético del disipador por extrusión

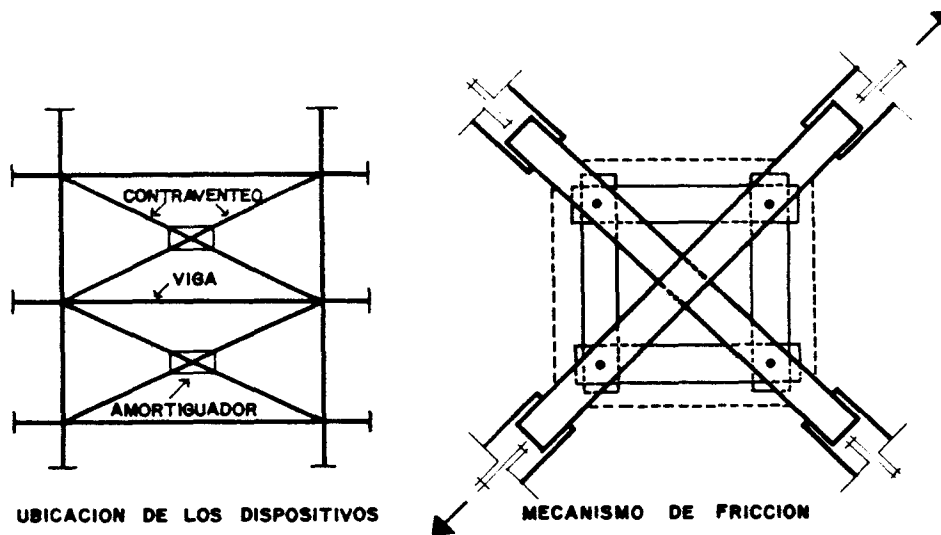


Fig. 24 Disipador de energía por fricción

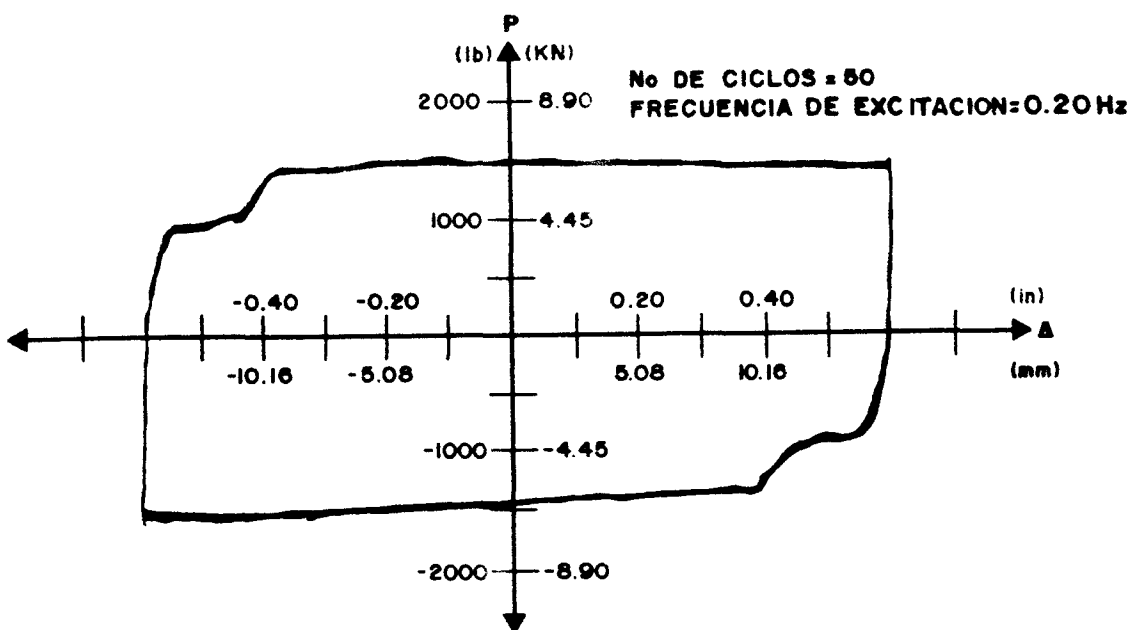


Fig. 25 Comportamiento histerético del dispositivo de fricción

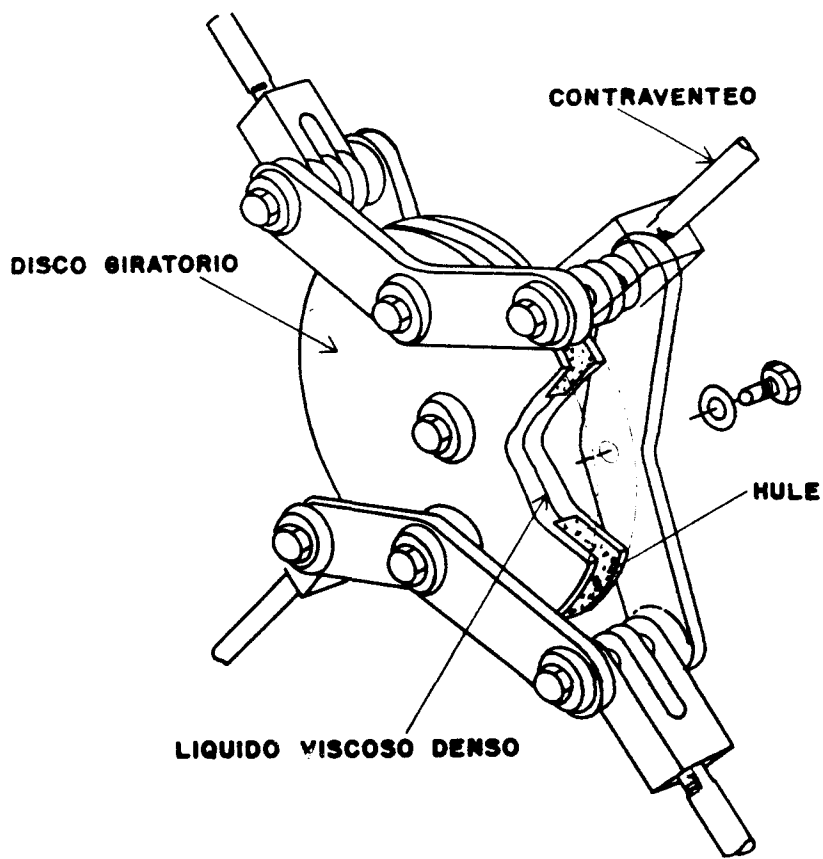


Fig. 26 Disipador de energía

probado anteriormente en laboratorio, con un elemento disipador por fricción. La fuerza de fricción que se desarrolla es proporcional al desplazamiento relativo entre sus extremos. El disipador está compuesto por un cilindro de acero que en su interior tiene resortes con bordes de bronce en los extremos. La respuesta analítica se comparó con la respuesta del marco solo y del marco con diagonales. Los desplazamientos del marco con el disipador son del orden de la mitad de los obtenidos para los otros dos modelos y los cortantes son prácticamente iguales para el marco solo y el marco con el dispositivo; el marco con diagonales genera fuerzas cortantes del orden del triple de los dos modelos anteriores.

Grigorian y Popov (1993) probaron dos tipos de dispositivos. En el primero, la fricción ocurre entre dos superficies de acero y en el segundo entre acero y latón. Las placas se unen por medio de un perno con un agujero para permitir el desplazamiento. Los elementos se colocan en diagonales de manera que si la carga axial sobre estos excede un umbral, el sistema se desliza y disipa energía por fricción. Los ciclos histeréticos de los dispositivos son muy estables y casi rectangulares. Los dispositivos se incorporaron en un modelo de tres niveles en los laboratorios de la Universidad de California en Berkeley. Los primeros resultados publicados muestran que el sistema no tuvo degradación después de ser sometido a varios temblores.

d) Disipadores con comportamiento viscoelástico

Los disipadores de este tipo se colocan de forma similar a los de fricción, pero su comportamiento es el correspondiente a materiales viscoelásticos. Se han llevado a cabo estudios experimentales de marcos con la inclusión de dispositivos como el que aparece en la fig 27 que mostraron este comportamiento (Lin y col, 1988). Los ciclos histeréticos se grafican en la fig 28. Los resultados obtenidos muestran un fuerte incremento del amortiguamiento del marco y reducciones importantes en la respuesta. Esta misma conclusión fue obtenida en el estudio de Aiken y col (1990), en el que resultaron despreciables los incrementos de temperatura generados durante la prueba, en el material viscoelástico.

Soong y Mahmoodi (1990) estudiaron el comportamiento de este sistema al variar la temperatura de 22 C a 35 C. Encontraron una fuerte dependencia del amortiguamiento como función de este parámetro, por lo que se debe tener especial cuidado en su evaluación.

Kirekawa y Asano (1992) realizaron una prueba experimental sobre un marco de acero de un nivel con un disipador viscoelástico de acrílico. Las curvas histeréticas del disipador son muy estables y muestran buena capacidad de disipación. Sin embargo, el amortiguamiento es también muy dependiente de la temperatura ambiente a la que se lleve a cabo la prueba.

Chang y col (1992) proponen un procedimiento de diseño para el análisis de estructuras con disipadores viscoelásticos. Las fórmulas propuestas se obtuvieron con base en resultados de estudios analíticos y experimentales de un modelo de laboratorio de cinco niveles de acero, escala 2/5.

Constantinou y col (1993) probaron un amortiguador consistente en un pistón de acero con un orificio de bronce que contiene en su interior fluido viscoso con comportamiento viscoelástico. A diferencia de otros dispositivos del mismo tipo, este reduce los desplazamientos laterales y los momentos flexionantes sin introducir fuerzas axiales importantes. El análisis de un modelo de acero de tres niveles mostró reducciones de la respuesta de dos a tres veces con respecto al marco sin los dispositivos, al someterse al registro del temblor de El Centro, 1940. Se incorporaron también en un puente, apoyado sobre aisladores, para incrementar su capacidad de disipación. Los resultados incrementaron el amortiguamiento del sistema hasta un valor cercano al 50% del crítico. Una limitante de los dispositivos con este comportamiento es que su comportamiento histerético depende de la frecuencia de excitación.

1.2 Aisladores de base

Estos sistemas tienen como finalidad aislar la cimentación de la superestructura. Al colocarlos se alarga considerablemente el periodo fundamental de vibración de la estructura. Se han aplicado fundamentalmente en lugares donde los principales temblores que ocurren tienen

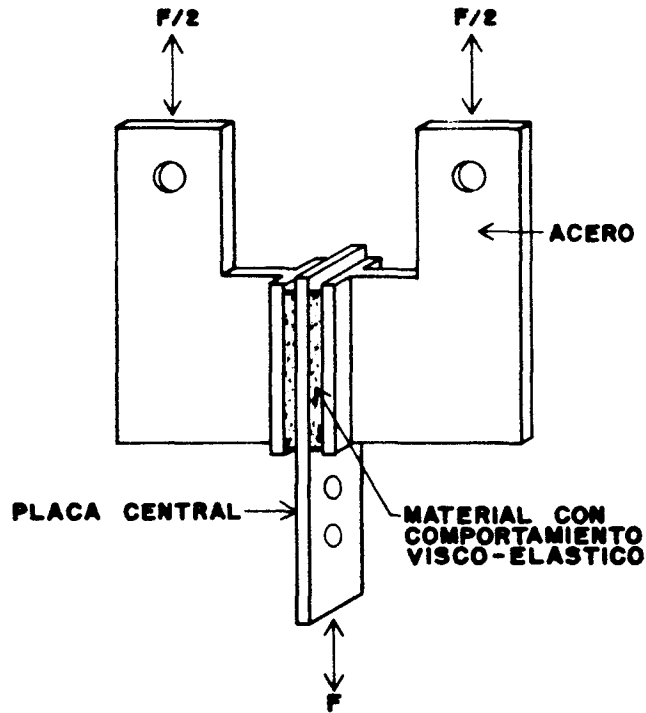


Fig. 27 Disipador con comportamiento viscoelástico

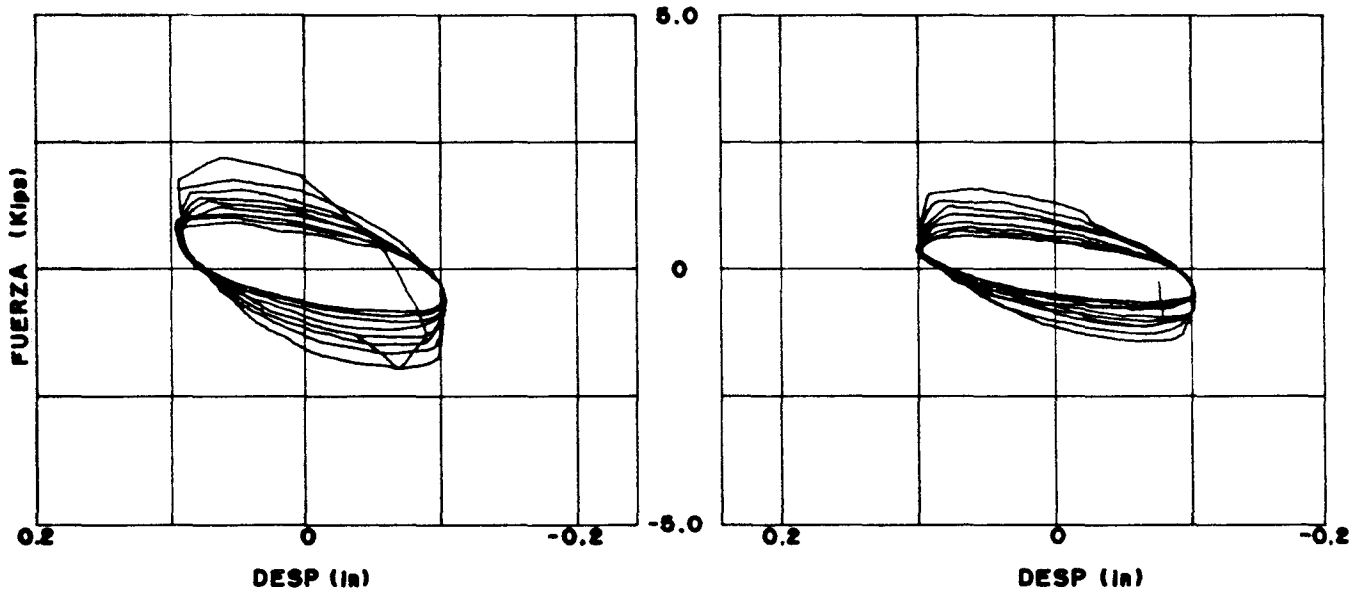


Fig. 28 Comportamiento histerético del dispositivo viscoelástico

gran contenido de frecuencias altas; así, la estructura se aleja de los periodos con amplificaciones importantes del terreno.

Los primeros intentos por usar aisladores como los actuales se describieron en el Tercer Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica celebrado en 1965 (Katsuta y Mashizu, 1965, y Matsushita e Izumi, 1965-a y b).

Las primeras aplicaciones de los aisladores de base actuales fueron en puentes debido a que estas estructuras normalmente se apoyan sobre placas de neopreno para permitir el libre desplazamiento ocasionado por cambios de temperatura. Esto permitió la sustitución, sin mayores modificaciones, de las placas de neopreno por aisladores de base.

Entre los primeros aisladores de base fabricados comercialmente se encuentran los apoyos rectangulares o circulares formados con placas de hule intercaladas con placas más delgadas de acero (fig 29). Este sistema es muy flexible horizontalmente pero tiene gran rigidez vertical. Su disipación de energía es pequeña y su objetivo fundamental consiste en flexibilizar lateralmente la estructura.

Los aisladores se han combinado con algunos de los sistemas disipadores de energía mencionados, para tener en conjunto una estructura flexible con disipación de energía en la base (Skinner y col, 1975-a y b, y Skinner y McVerry, 1975). Se han realizado estudios de laboratorio con esta combinación, como el de la fig 20 (Kelly y col, 1977), en la Universidad de California, en Berkeley. Los estudios demuestran la conveniencia de adicionar disipadores de energía para limitar los desplazamientos y tener un comportamiento adecuado en condiciones de servicio. De acuerdo con la modelación analítica del marco, se demostró que la reducción de la respuesta experimental se predice adecuadamente si se considera que el disipador proporciona un porcentaje de amortiguamiento crítico equivalente adicional de alrededor del 30% para el primer modo de vibrar.

En el estudio anterior se destaca también que aunque en general una estructura aislada tiene un comportamiento similar al de un sistema de un grado de libertad, al incorporar disi-

padores de energía, pueden llegar a tener importancia los modos superiores de vibrar. Esto se comprueba en los estudios de Lee y Medland (1977 y 1978-a) y Priestley y col (1977).

Tyler (1977-a) realizó pruebas dinámicas con estos aisladores. Aunque el comportamiento histerético para un número elevado de ciclos de carga en los que se alcanzó una deformación unitaria al corte de 50% es muy estable, la disipación de energía es pequeña.

Un sistema similar pero formado con placas de teflón y acero lubricadas y sin lubricar fue probado por Tyler (1977-b). Las áreas de las curvas histeréticas son bastante amplias, lo que hace atractivo su uso como disipador de energía. Con estas placas Tyler (1977-c) propone un dispositivo para desligar elementos no estructurales que a su vez incrementa el amortiguamiento de la estructura.

Skinner y col (1976) estudiaron el comportamiento de una planta nuclear aislada, con dispositivos de acero en cantiliver que disipan energía por comportamiento inelástico. Encontraron reducción de las fuerzas y desplazamientos de diseño, de hasta diez veces.

Robinson y Tucker (1977) y Robinson (1982) realizaron estudios con un aislador en que se insertó un corazón de plomo (fig 30) con la finalidad de disipar energía. La principal ventaja sobre los aisladores anteriores es el incremento sustancial de la disipación de energía, como lo muestran los ciclos histeréticos (fig 31).

Para mejorar el comportamiento de los aisladores anteriores sometidos a aceleraciones moderadas, Shimoda y col (1992) proponen que se reduzca la sección del corazón de plomo en los extremos del aislador, al colocar placas de hule verticales entre el plomo y las placas horizontales. El comportamiento mejora sustancialmente para aceleraciones menores de 100 gals. Para valores mayores de la aceleración, el comportamiento es similar al aislador original.

Con la misma idea de obtener disipación de energía con aisladores de base, Suzuki y col (1993) proponen un nuevo aislador formado por placas de hule mezclado con ferrita, de alto amortiguamiento. Las curvas histeréticas de este

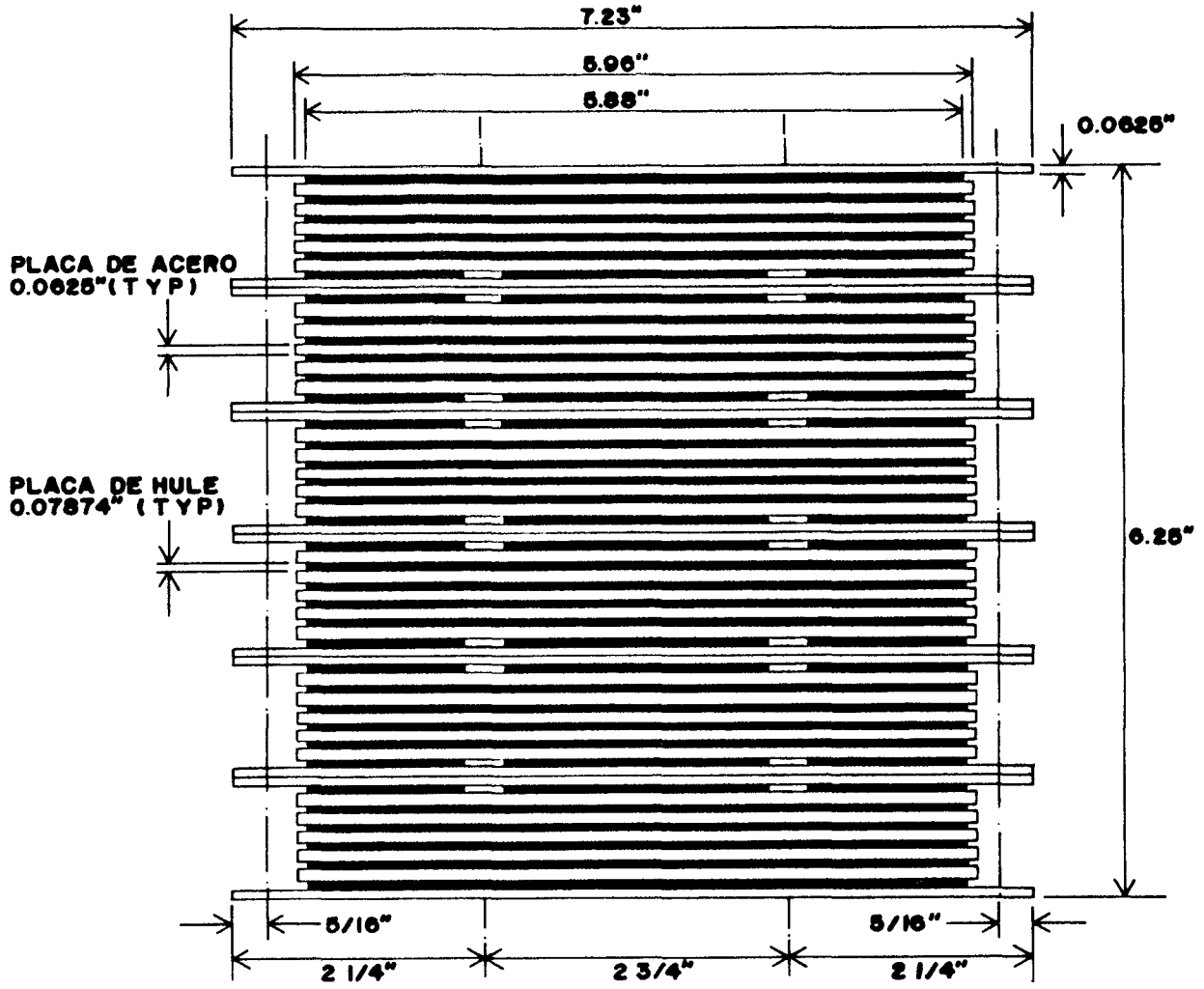


Fig. 29 Aislador de base

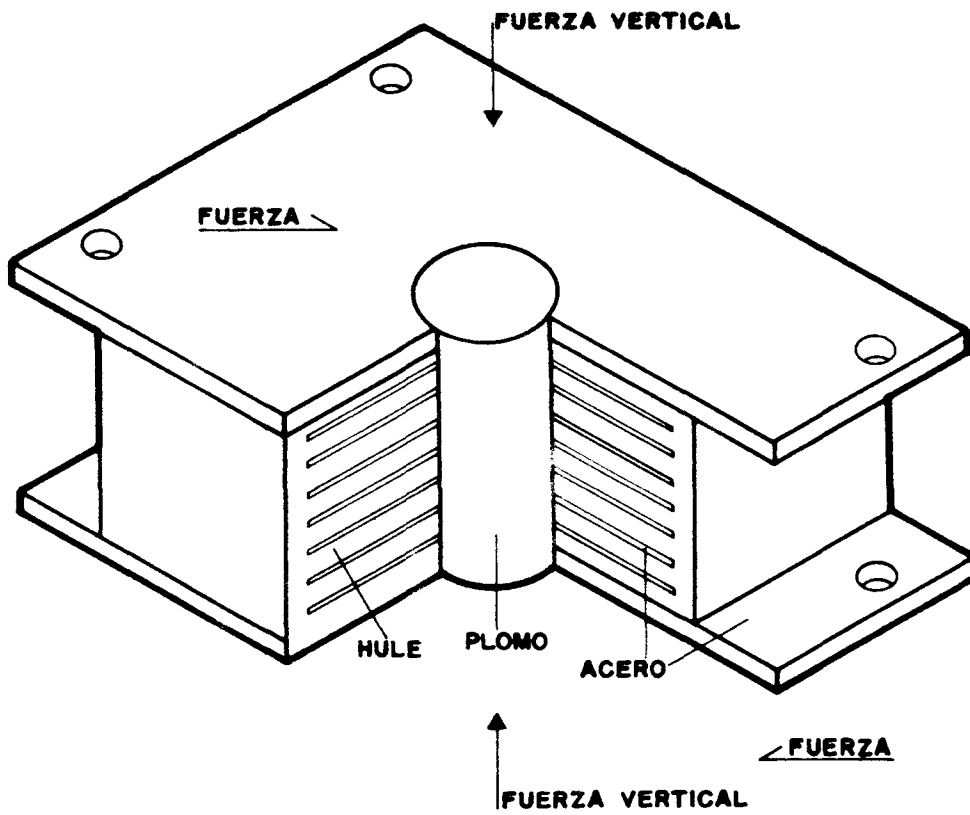


Fig. 30 Aislador de base con corazón de plomo

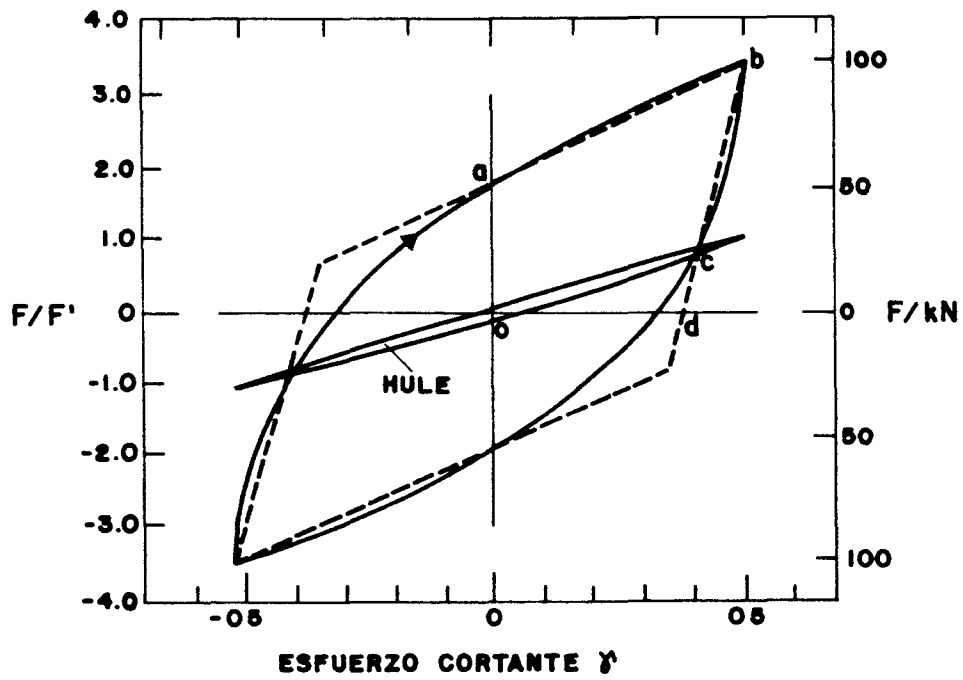


Fig. 31 Comportamiento histerético

aislador son mucho más amplias que las obtenidas con hule normal.

Al usar las propiedades calculadas en Lee y Medland (1978-a), dichos autores (1978-b) estudiaron varias estructuras de seis niveles sometidas a 19 tipos de temblores con y sin aisladores. Los resultados muestran reducciones de la respuesta de hasta 80%, con respecto a la estructura sin aisladores. Los autores dan también algunas recomendaciones de diseño para estructuras aisladas.

Megget (1978) realizó el estudio del primer edificio aislado en Nueva Zelanda. Consta de cuatro niveles con estructuración de marcos de concreto reforzado (fig 32). Para protegerlo, se usaron aisladores con corazón de plomo (Robinson y Tucker, 1977). El diseño se realizó con dispositivos lo suficientemente rígidos, para que el plomo se comportara elásticamente ante las máximas fuerzas esperadas producidas por viento. El costo de los aisladores representó el 3.5% del costo total del edificio y se estimó similar al costo requerido del edificio sin aisladores, para soportar las mismas acciones de diseño.

Kelly y col (1980) estudiaron un marco de acero de cinco niveles con aisladores de base, a escala 1/3, en el laboratorio de la Universidad de California en Berkeley. Se adicionó un sistema de seguridad que entra en funcionamiento al presentarse la falla de los aisladores y consiste en apoyos adicionales que disipan energía por fricción y limitan los desplazamientos, aunque incrementan las aceleraciones transmitidas a la estructura.

Tyler y Robinson (1984) encontraron satisfactorio el comportamiento de aisladores de base con corazón de plomo para deformaciones unitarias por corte mayores del 100%. Estudios posteriores que corroboran el buen comportamiento del aislador, para un gran número de ciclos de carga (Rodwell y col, 1990)

Fujita (1985) hizo una revisión de los sistemas desarrollados en Japón para aislar equipos. Los sistemas se han combinado con amortiguadores de aceite y fricción y/o disipadores.

Constantinou y Tadjbakhsh (1984) muestran las ventajas del uso de aisladores de base en un estudio analítico mediante la teoría de vibraciones aleatorias y modelaron la excitación como un proceso no estacionario. Esta modelación permitió analizar un gran número de casos; se concluye que los desplazamientos y fuerzas cortantes se reducen de manera muy importante al incorporar los aisladores.

Con la finalidad de contar con métodos que permitan probar un mayor número de estructuras con aisladores de base, Tagami y col (1990) desarrollaron un método de prueba pseudo-dinámico, para el análisis de estructuras aisladas, al recurrir a técnicas de subestructuración.

El efecto de la aceleración vertical, en un sistema de dos masas, sobre la respuesta de aisladores que disipan energía por fricción, fue estudiado analíticamente, por Lin y Tadjbakhsh (1986). Los resultados bajo carga armónica muestran incrementos en la fricción y los desplazamientos relativos al incorporar la aceleración vertical. Sin embargo, su influencia fue prácticamente nula al someter al sistema al sismo de El Centro, de 1940.

Kelly y col (1986) estudiaron la superestructura de un puente sobre aisladores con y sin corazón de plomo. El aislador con plomo resulto efectivo para disipar energía y limitar los desplazamientos laterales. Encontraron también adecuado el método lineal equivalente, para el análisis de la estructura.

Para el diseño de aisladores, se ha iniciado el desarrollo de criterios que permiten obtener recomendaciones prácticas como las de Priestley y col (1977), Kelly y col (1986), Mehrain y Clayton (1987), Chalhoub y Kelly (1990), Kelly (1990), Mayes y col (1990), Kuntz (1990) y Griffith y col (1990-b).

Tadjbakhsh y Lin (1987) estudiaron el uso de aisladores con fricción proporcional al desplazamiento. La variación en la fricción se logra mediante la colocación de dos cables que producen un incremento de la fuerza axial sobre las placas al desplazarse lateralmente los aisladores. Los resultados muestran que el incremento de fricción reduce la respuesta de manera importante.

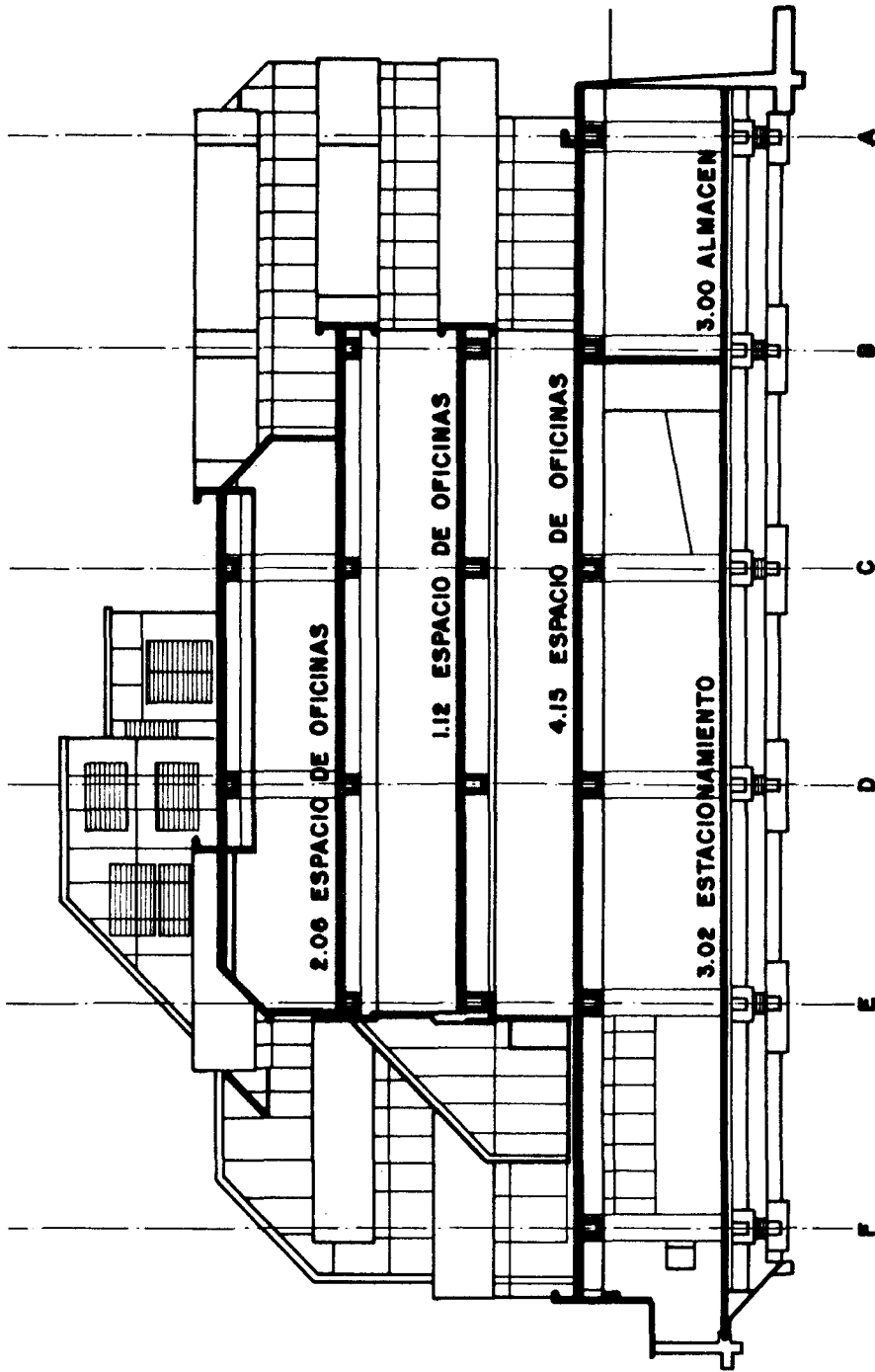


Fig. 32 Sección transversal de un edificio con aisladores de base de corazón de plomo

Anderson y Saunders (1987) estudiaron el uso de aisladores en la reparación y en el reforzamiento de edificios antiguos. Los elementos mecánicos y desplazamientos obtenidos bajo acciones sísmicas, corrobora los resultados de otros investigadores, con relación a los porcentajes de reducción de la respuesta.

Andriano y Carr (1987) colocaron aisladores de base en estructuras de muros de concreto. Comprobaron, con buenos resultados, la aproximación del método lineal equivalente y la distribución de fuerzas propuesta por Priestley y col (1977).

Constantinou y col (1987) determinaron experimentalmente la variación de la fricción en una interfase de teflón con acero. La fricción se incrementó al crecer la aceleración y disminuyó al aumentar la presión sobre las placas. Para frecuencias de la estructura menores a 0.5 Hz. y presiones bajas, el sistema proporciona un aislamiento eficiente para temblores moderados y grandes. Para otras combinaciones se carece de estudios experimentales que muestren el comportamiento.

Mokha y col (1990-a y b) realizaron estudios experimentales de aisladores con superficies de teflón. Determinaron que este material reduce la transferencia de frecuencias altas a la estructura por la dependencia de la fricción con la velocidad de deslizamiento. Con base en estos estudios se dan propuestas para el modelado analítico de este material.

Kelly (1981) e Ikonolmou (1982) proponen la sustitución de las placas de acero por teflón en los aisladores de base. El sistema cuenta con una varilla de acero que conecta la superestructura con la subestructura diseñada para fallar cuando las fuerzas producidas por el temblor exceden de cierto umbral (fig 33).

Griffith y col (1988) estudiaron un modelo experimental de siete niveles, escala 1/5, estructurado con muros de concreto sobre aisladores de base formados de placas de acero y hule. El modelo fue sometido a varios temblores entre los que se encuentra la componente E-W de la estación SCT del temblor del 19 de septiembre de 1985 de México. Ante la acción de temblores de gran magnitud la

estructura se separó de los apoyos. Para evitar tal separación Griffith y col (1990-a) proponen un aislador con un dispositivo en el centro que le permite trabajar en tensión y reducir los desplazamientos (fig 34). La efectividad del dispositivo se comprobó al estudiar un modelo de nueve niveles sometido a varios temblores.

Nagarajaiah y col (1989) desarrollaron un programa de computadora para analizar estructuras aisladas tridimensionalmente. Calibraron los resultados con estudios experimentales de otros investigadores. Posteriormente Nagarajaiah y col (1990) aplicaron este programa y demostraron que el comportamiento biaxial tiene mayor importancia en los aisladores con fricción que en los aisladores con corazón de plomo.

Un aspecto poco estudiado es el relacionado con la fatiga de los aisladores. Roeder y col (1990) realizaron varias pruebas de laboratorio con aisladores de hule y acero para determinar la importancia de los parámetros que intervienen en el fenómeno. De acuerdo con los resultados, la variación de la temperatura y la amplitud de los ciclos de histéresis son las variables que más contribuyen al fenómeno, que puede llegar a ser un aspecto importante en el diseño.

Zayas y col (1990) y Bozzo y col (1990) proponen un sistema de aislamiento de superficie cóncava basado en el movimiento de un péndulo. La fuerza restitutiva es proporcionada por la forma del dispositivo. El material con que se fabrica es acero y en la zona de deslizamiento cromo (fig 35). Por la geometría del aislador, el periodo no depende de la carga vertical aplicada y su rigidez es directamente proporcional a la carga lo que hace que las torsiones provocadas por concentraciones de masa en la estructura disminuyan en el nivel de aislamiento. Su comportamiento histerético se muestra en la fig 36. Su principal desventaja es que el cromo (similarmenete al teflón) se adhieren con el tiempo.

En México a mediados de los 60, el Ing Manuel González Flores (1964) desarrolló un sistema de aislamiento de base con placas de acero y balines (fig 37). El aislador fue incorporado en dos edificios de cinco niveles que hasta la fecha han mostrado buen comportamiento. Su principal limitación se

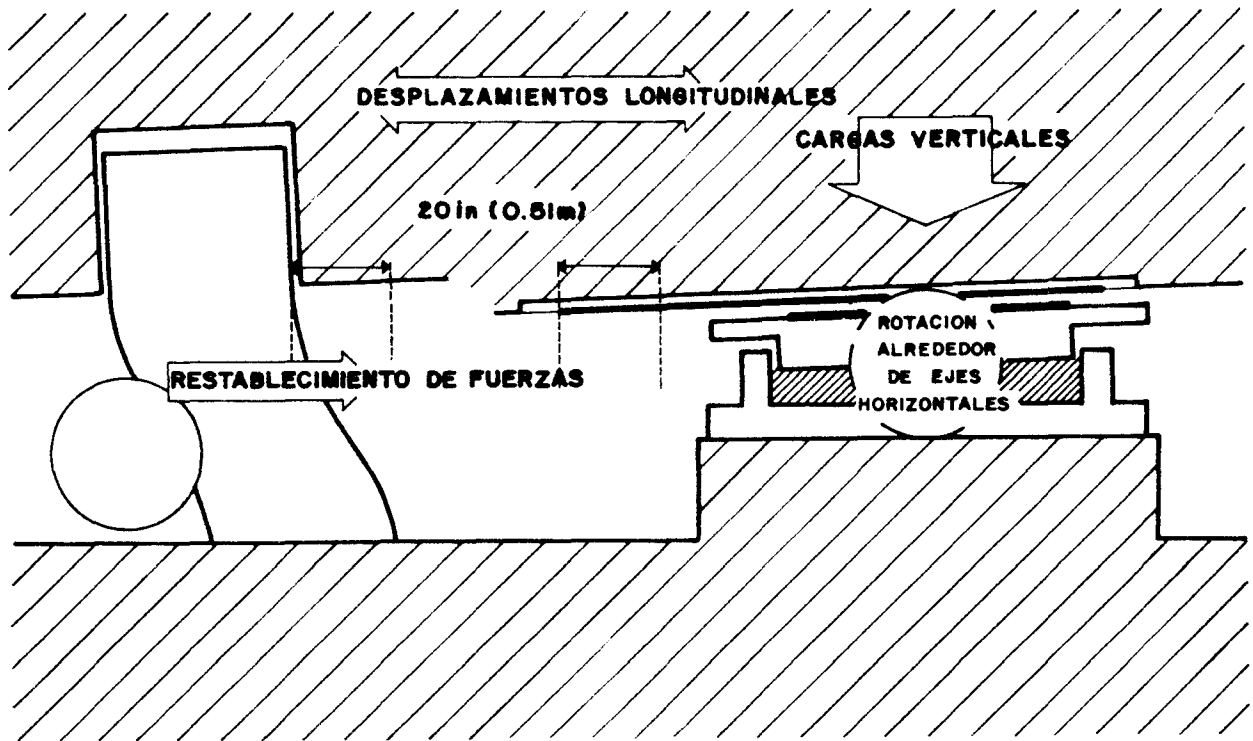


Fig. 33 Sistema de aislamiento usando placas de teflón

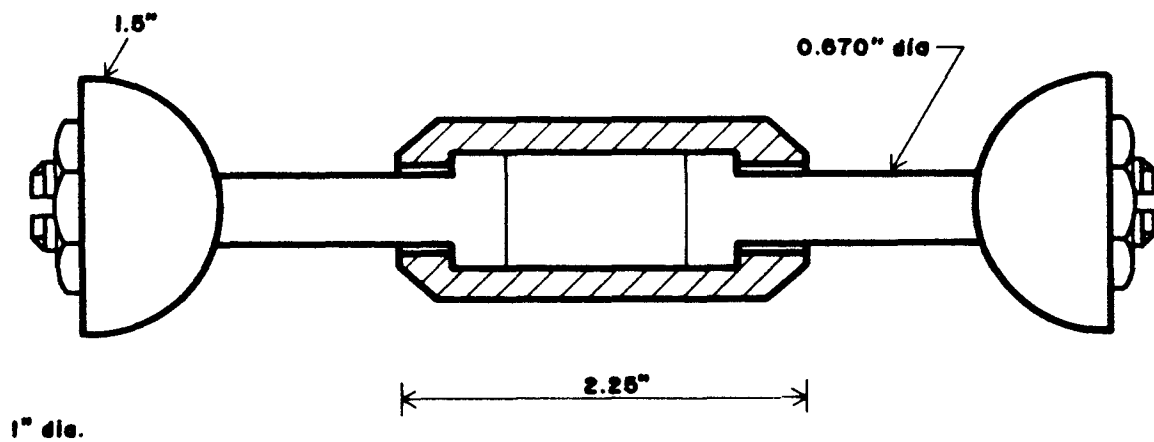


Fig. 34 Aislador de base con dispositivo para tomar tensiones

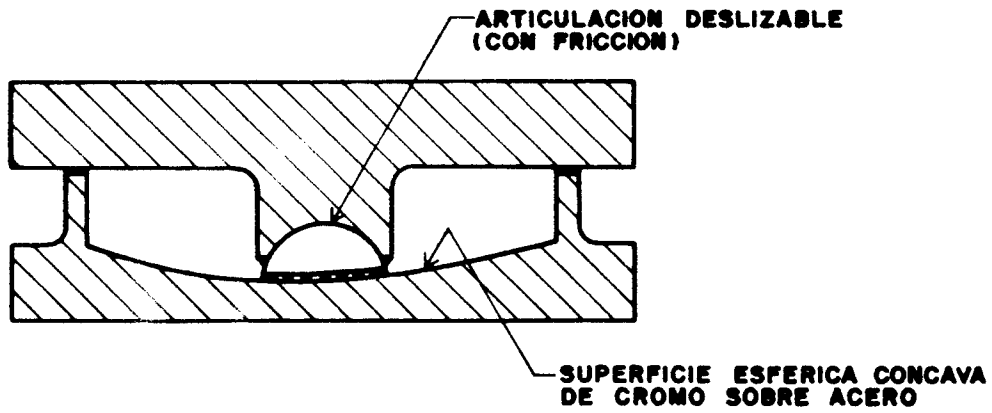


Fig. 35 Péndulo de fricción

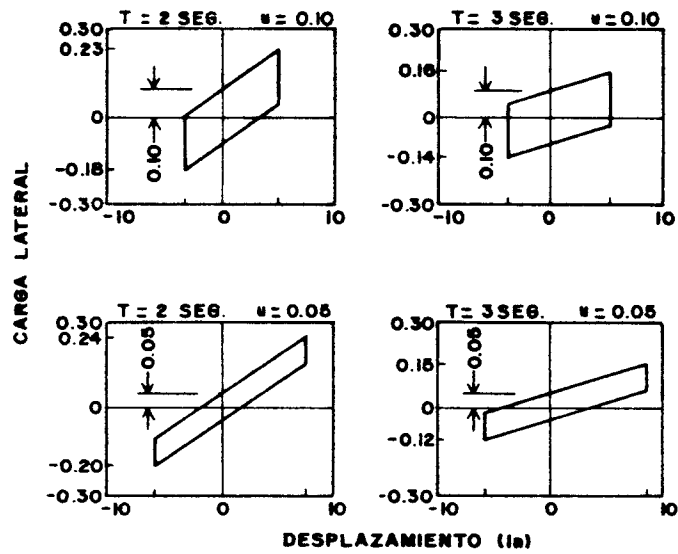


Fig. 36 Comportamiento histerético

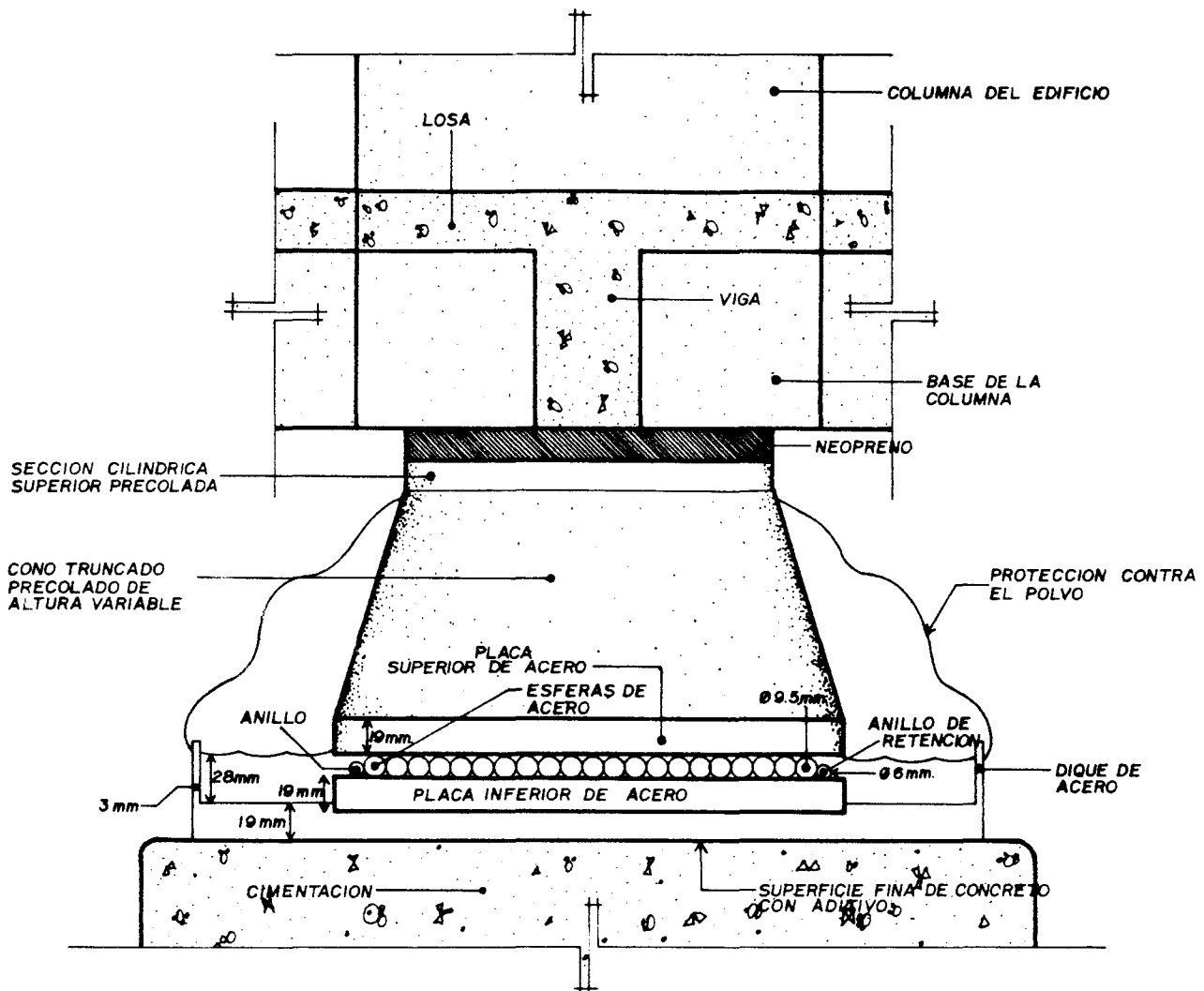


Fig. 37 Aislador de base del Ing. Manuel González Flores

encuentra en la carencia de un dispositivo disipador de energía que reduzca la demanda de disipación de la estructura. Sosa y Ruiz (1992) determinaron el comportamiento analítico de uno de los edificios de cinco niveles incorporando disipadores de energía de solera en forma de U. Los resultados muestran un adecuado comportamiento para edificios con periodos intermedios ubicados sobre terreno duro.

Un sistema similar pero con control de desplazamiento (fig 38) fue propuesto por Anderson (1990). El dispositivo redujo 30% la aceleración en un marco de acero de diez niveles

y los efectos P- Δ con respecto al marco original. Su comportamiento histerético se muestra en la fig 39.

Kaneko y col (1990) estudiaron la efectividad de cuatro tipos de aisladores de base colocados en estructuras reales de Japón. Se analizaron dos aisladores de hule laminados combinados con dispositivos amortiguadores con aceite y con disipadores formados por placas de acero; aisladores de hule de alto amortiguamiento y aisladores de hule con corazón de plomo. Dos de los edificios son de concreto reforzado de tres y cuatro niveles y uno de acero de ocho niveles. Se estudió su comportamiento bajo los

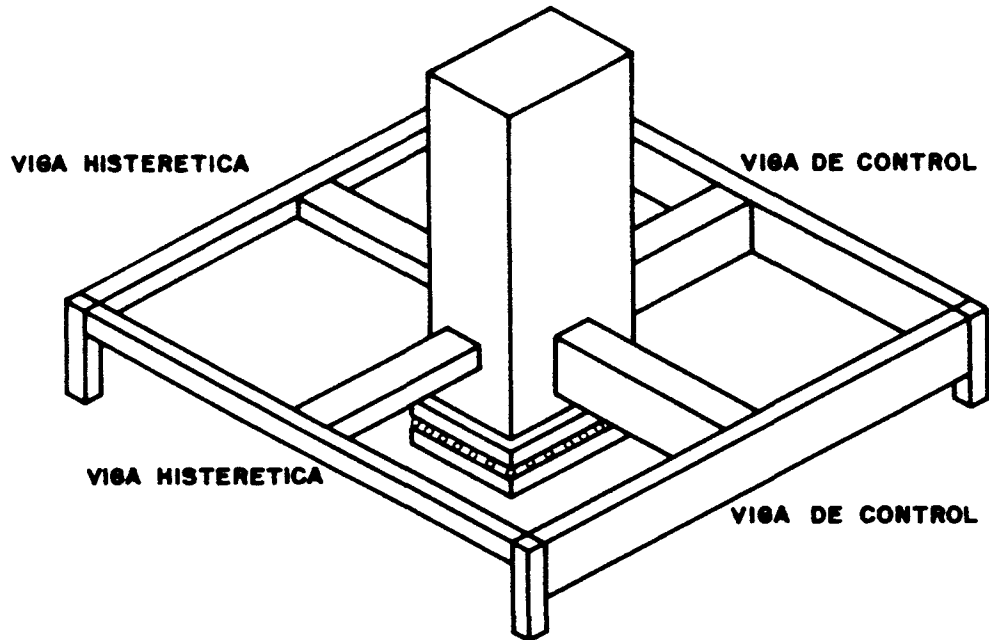


Fig. 38 Aislador con control de desplazamientos

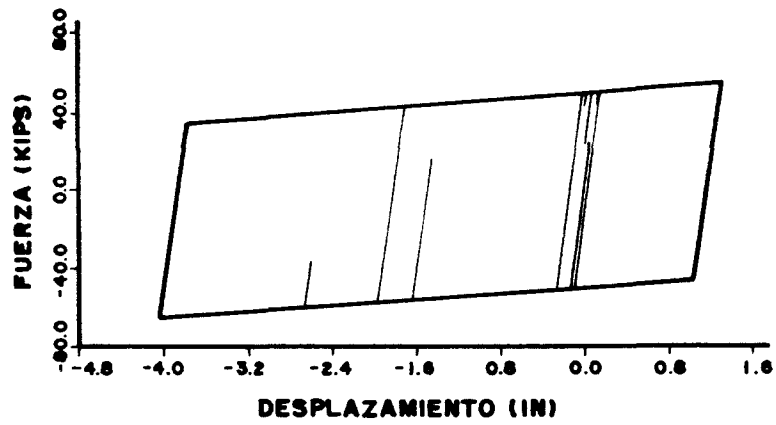


Fig. 39 Comportamiento histerético

temblores ocurridos en Japón entre 1986 y 1989 con un intervalo de magnitudes entre 3.4 y 6.8. El comportamiento observado para estos eventos muestra reducciones de entre 40 y 67% en la máxima aceleración de la azotea, normalizada con respecto a la aceleración registrada en la cimentación.

Buckle y Mayes (1990-a) determinaron analíticamente el comportamiento de un puente continuo de cuatro claros colocando aisladores de base con corazón de plomo en los estribos. Se encontraron reducciones en desplazamientos y fuerzas cortantes de 40% y 50% respectivamente.

Recientemente se han hecho aleaciones cuyo comportamiento esfuerzo deformación es como el mostrado en la fig 40. La gráfica del inciso a) corresponde a temperaturas menores a cierto umbral; si la temperatura al formar la aleación se incrementa, se puede tener un comportamiento como el de la figura b) (que disipa energía sin deformación permanente) o el de la figura c). Graesser y Cozzarelli (1989) han propuesto su uso para aisladores de base. Materiales con estas características podrían ser los que en un futuro se usen en la construcción.

Poco se ha avanzado en estudios que muestren la factibilidad económica de los sistemas aisladores de base. Kelly y col (1989) hacen una estimación para una estructura aislada y otra sin aislar según la metodología desarrollada por Ferrito (1984). Los costos así obtenidos no pueden considerarse generales, lo que reafirma la necesidad de dirigir futuros estudios con este objetivo.

Mediante un estudio costo-beneficio Mayes y col (1988) muestran la factibilidad del uso de aisladores en la industria de la prefabricación. Este estudio, sin embargo, no incorpora aspectos importantes para obtener conclusiones generales, como son los criterios de reposición.

Debido al creciente interés por los aisladores de base se han propuesto criterios de toma de decisiones para determinar la factibilidad de su uso (Olson y Lambright, 1990 y Sharpe, 1990). Uno de los principales obstáculos para la incorporación de estos sistemas a la práctica profesional es la carencia de códigos que rijan su diseño (Mayes y col, 1990).

Se han construido varias estructuras con aisladores de base como las descritas en Charlesson y col (1980), Skinner (1982), Andriano y Carr (1987), Takayama y col (1987), Skinner y col (1980), Kelly (1988), McVerry y Robinson (1989), Way y Howard (1990), Tajirian y col (1990), Gates y col (1990), Anderson (1990), Sveinsson y col (1990), Asher y col (1990), Hart y col (1990), Bachman y col (1990), Jones y col (1989), Mayes y col (1989), Jones (1990), Higashino (1990), Saruta y col (1990), Einsenberg y col (1992), Vestroni y col (1992), Tanabe y col (1992), Sarrazin y Moroni (1992), Amin y col (1993), Cho y Retamal (1993), Kelly y Boardman (1993), y Okoshi y col (1993).

Villaverde (1993) hace una revisión crítica de los sistemas de control activo y pasivo, y describe las principales estructuras en las que se han implementado. Del estudio se concluye que la aplicación de cada dispositivo depende de las propiedades dinámicas de los sismos y de las características propias de la estructura. Los costos actuales de estos sistemas deberán disminuir en un futuro cuando su utilización se extienda de manera generalizada.

1.3 Osciladores resonantes

La inclusión de una o varias masas adicionales, con propiedades dinámicas conocidas, sobre un edificio puede reducir considerablemente su respuesta ante eventos sísmicos.

Den Hartog (1956) fue uno de los primeros investigadores que abordó el tema de sistemas con osciladores resonantes, demostró que con ciertos parámetros dinámicos del sistema conjunto pueden obtenerse reducciones importantes de la respuesta. En un sistema de dos grados de libertad, si el periodo de la carga coincide con el periodo de vibrar del segundo nivel (piso adicional), el movimiento del primer nivel es nulo y el segundo se ve sometido a una fuerza de igual magnitud y sentido contrario a la fuerza de excitación. Al existir amortiguamiento ambas masas se mueven pero los desplazamientos de la primera pueden reducirse de manera importante al elegir adecuadamente las propiedades dinámicas de la segunda masa. Cuando el sistema es elástico y las frecuencias están bien separadas, Den Hartog obtuvo expresiones para evaluar los parámetros del oscilador.

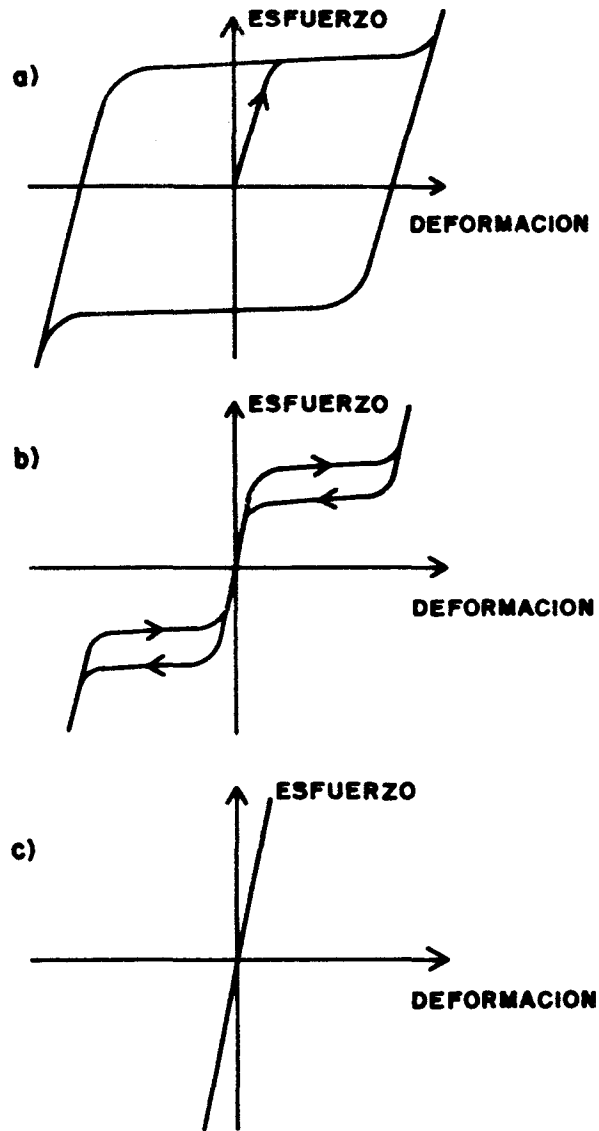


Fig. 40 Curvas esfuerzo deformación de dispositivos de aleación con memoria adaptable

En la República de Armenia se han estudiado analítica y experimentalmente edificios de varios grados de libertad con un piso adicional sometidos a eventos sísmicos con características dinámicas diversas, obteniéndose reducciones de la respuesta a la mitad de la obtenida sin este piso (Korenev y Reznikov 1988 y Khachian y col, 1990) .

Paniagua y col (1989) estudiaron analíticamente un sistema de dos grados de libertad considerando como masa adicional un tinaco con agua. La mayor reducción de la respuesta se encontró para excitaciones correspondientes a registros de la zona blanda del valle de México (temblores de banda angosta).

Generalmente, la masa y amortiguamiento del piso adicional difieren considerablemente del resto de la estructura. Esto dificulta el análisis debido a la carencia de modos clásicos de vibrar. El problema ha sido tratado por varios investigadores entre los que se encuentran: Warburton y Soni (1977), Villaverde y Newmark (1980), Villaverde (1986 y 1988), Yang y col (1988), Chen y Soong (1989), Ibrahim y col (1989) e Igusa (1990).

Actualmente, se lleva a cabo un estudio analítico de un sistema de dos grados de libertad, en el que el primero representa a la estructura y el segundo a la masa adicional (Aguíñiga y Jara, 1993). Los resultados del análisis elástico permiten ver que una limitación importante para aplicar estos sistemas es que el oscilador se ve sometido a demandas de desplazamientos que resultan inalcanzables desde un punto de vista práctico. Sin embargo, de acuerdo con lo hasta ahora obtenido, si se permite que la estructura tenga demandas de ductilidad moderadas, los desplazamientos del oscilador disminuyen considerablemente, lo que podría hacer aplicable al sistema. Los resultados no son todavía concluyentes, por lo que el estudio sigue en proceso.

1.4 Cables de presfuerzo

Los enormes daños provocados por los temblores de septiembre de 1985 obligaron a buscar sistemas alternativos de reparación y reforzamiento de estructuras. Uno de los sistemas propuestos y usado en el reforzamiento

de escuelas fue la inclusión de cables de presfuerzo como contravientos de la estructura para incrementar su resistencia y rigidez (Rioboo y col, 1989). Se han llevado a cabo estudios analíticos (Paniagua y col, 1989) y experimentales (Miranda y Bertero, 1989) del comportamiento de estos sistemas que muestran reducciones importantes en la respuesta al incorporar los cables. Aunque no es propiamente un sistema de disipación, el comportamiento de las estructuras analizadas lo hacen atractivo como una posible solución para la reducción de daños sísmicos. Los estudios anteriores se han limitado a estructuras pequeñas con estructuraciones similares a las que se utilizan en la construcción de escuelas bajo excitaciones sísmicas de registros cercanos a los epicentros (costa del pacífico de México) y alejados de ellos (Ciudad de México). Uno de los parámetros considerados en los análisis fue la variación de las fuerzas cortantes de entrepiso con la inclinación de los cables. Para los casos estudiados se concluye que, al graficar la fuerza cortante contra desplazamiento relativo del entrepiso al incorporar los cables, el comportamiento lateral es prácticamente elástico, por lo que los edificios deben diseñarse para una demanda de ductilidad de uno.

La bondad del sistema se ha comprobado en estudios de edificios de uno y de dos niveles. La solución, sin embargo, es atractiva para edificios pequeños y de mediana altura, como se comprueba en los estudios analíticos de Jara y col (1992) y Gómez y col (1993), donde se muestra que para edificios diseñados originalmente con demandas de ductilidad de dos y cuatro, esta pueden reducirse de manera apreciable al incluir los cables de presfuerzo.

2. DISPOSITIVOS DE CONTROL ACTIVO

El control activo se basa en el principio de eliminar las vibraciones de una estructura mediante la aplicación de fuerzas externas. El movimiento se detecta mediante la inclusión de sensores, en varias partes de la estructura, que miden la respuesta de esta y las excitaciones externas.

Los sensores se conectan a una computadora que envía señales a sistemas (actuadores) que

aplican fuerzas a la estructura con la finalidad de contrarrestar el movimiento.

Los principales sistemas desarrollados en la actualidad se describen a continuación:

2.1 Masa activa

Este sistema es una extensión del sistema pasivo con osciladores resonantes. El movimiento de la masa sobre el último nivel de la estructura es controlado por medio de una computadora que detecta el movimiento del edificio a través de los sensores y envía a los actuadores el movimiento que se debe aplicar a las masas (fig 41). A diferencia del sistema pasivo, el activo controla el movimiento del edificio para temblores de banda angosta y de banda ancha. La primera aplicación de este sistema se hizo en Japón para un edificio de acero de 11 niveles (Toyama y col, 1992). Mediciones de la respuesta ante la acción del viento han mostrado que el movimiento lateral del edificio es de alrededor del 30% del que tendría, si no existiera la masa activa.

Una de las principales desventajas de estos sistemas es la gran demanda de energía que se requiere para aplicar las fuerzas de control. Encaminados a ampliar la aplicación de estos dispositivos, se han propuesto diversos sistemas como el descrito por Maebayashi y col, 1992. Se propone un sistema de control similar al anterior, pero con el uso del sistema de masa tanto activa como pasiva, con lo que se logra disminuir la energía necesaria a la tercera parte para el control de viento y sismos moderados. El sistema se encuentra instalado en un edificio del Japón de siete niveles.

Similar al anterior, Fujita y col (1992) describen el estudio experimental de un modelo a escala natural de seis niveles en el que se incorporó una masa de control activo para viento y temblores moderados, que se convierte en pasiva para temblores de gran magnitud. La reducción de la respuesta para estos últimos eventos es de alrededor del 40%. Una propuesta similar es la de Kitamura y col (1992), que incorporan como masa adicional seis tanques sobre aisladores de base, en el último nivel de la estructura. El sistema se incorporó en una estructura de 21 pisos y 130 m de altura.

La respuesta analítica de los desplazamientos con control activo representa el 35% de la estructura sin control. Cuando la masa actúa como sistema pasivo, la máxima reducción encontrada es del 10%.

2.2 Tendones activos

Los tendones son contravientos colocados diagonalmente en forma de X que abarcan uno o varios niveles de la estructura (fig 42). Las fuerzas que se requiere aplicar a los tendones se obtienen de manera similar al sistema anterior.

Se han desarrollado también tendones activos para modificar las propiedades dinámicas de la estructura cuyo objetivo es alejar el periodo fundamental de la estructura de las frecuencias dominantes del temblor para cada instante y con esto evitar el efecto de resonancia. Una de las posibles alternativas es la de modificar la inclinación del tendón con el tiempo, lo que permite cambiar la rigidez de los marcos.

Descripciones más detalladas de estos elementos y estudios de laboratorio se encuentran en Higashino (1990) y Soong (1990 y 1991).

Se han propuesto métodos de análisis para estos sistemas como los descritos en Cheng (1990), Suhardjo y col (1990) y Yamada y col (1990).

2.3 Dispositivo de fricción activo

Akbay y Aktan (1990) propusieron un sistema de control activo, que disipa energía por fricción, similar al pasivo de Pall (1982). El sistema puede controlar la fuerza umbral de deslizamiento de los dispositivos en condiciones de servicio y en condiciones últimas.

COMENTARIOS FINALES

La aplicación de los sistemas anteriores depende de parámetros, que involucran las características de los eventos sísmicos, la localización y el tipo de estructura.

Los disipadores de energía son una opción viable para la disminución de daños provocados

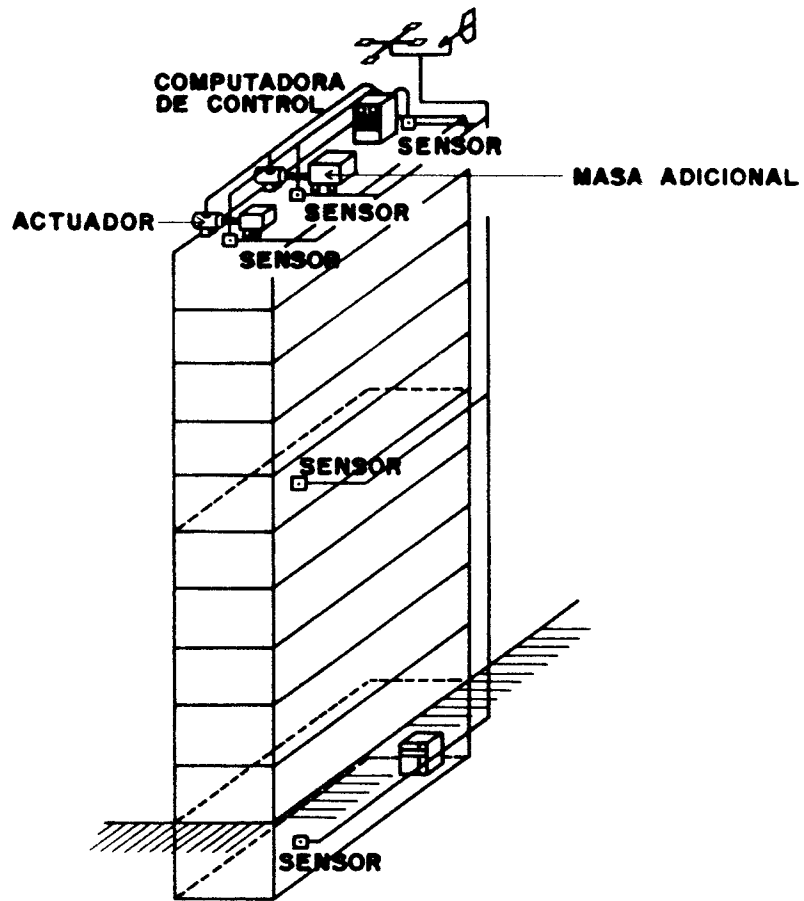


Fig. 41 Sistema de masa activa

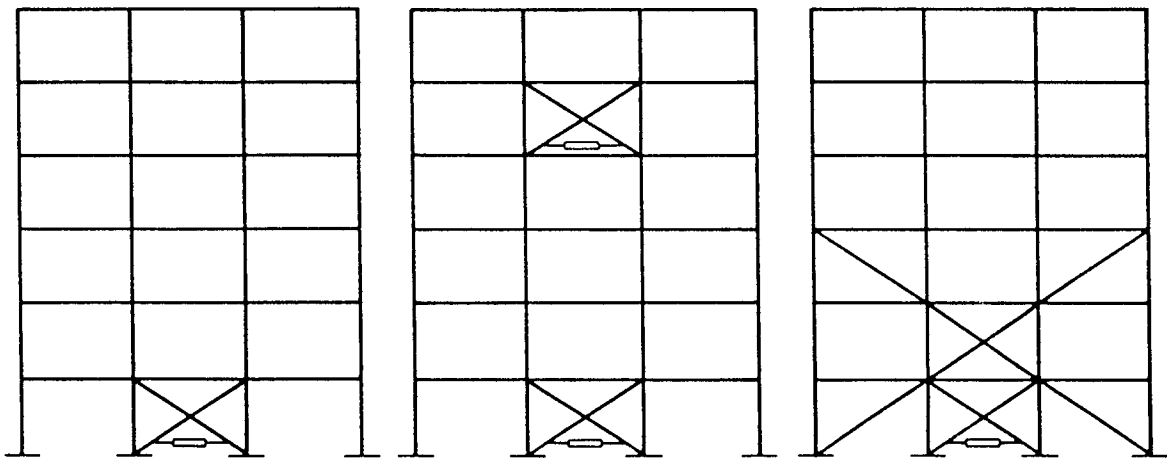


Fig. 42 Sistema de tendones activos en un modelo estructural de seis niveles

por temblores en la República Mexicana para ciertas características de las edificaciones. Sin embargo, es necesario comparar su comportamiento con sistemas alternativos que permitan elegir el más adecuado económica y estructuralmente. Por la manera en que disipan energía (mediante desplazamientos relativos entre dos niveles consecutivos) y de acuerdo con los resultados hasta ahora obtenidos, su utilización resulta atractivo para edificios pequeños y de mediana altura.

El principal objetivo de los aisladores de base consiste en flexibilizar a la estructura. La esbeltez es uno de los parámetros que restringe su uso debido a los momentos de volteo y a los desplazamientos laterales. Las mayores reducciones de la respuesta se obtienen en estructuras con periodos pequeños bajo excitaciones con grandes contenidos de frecuencias altas. Debido a lo anterior y a los posibles asentamientos diferenciales, no parece atractivo su uso en la zona blanda de la ciudad de México, aunque sí en otras partes de la República, como son las costas del Pacífico.

El oscilador resonante es un sistema promisorio para estructuras con comportamiento lineal. Los estudios que actualmente se llevan a cabo permitirán definir la aplicabilidad del sistema. El incremento de la capacidad de disipación del sistema se podría lograr con la incorporación de disipadores de energía, o bien con un piso adicional de comportamiento elastoplástico y adecuada ductilidad. Otra posibilidad que hace atractivo al sistema es permitir demandas de ductilidad pequeñas en la estructura cuando se vea sometida a eventos sísmicos de gran magnitud.

Los cables de presfuerzo son una solución atractiva para estructuras pequeñas y de mediana altura para cierto tipo de temblores. Aunque no modifican, de manera importante, la capacidad de disipación de energía de la estructura, incrementan su rigidez y resistencia, y mejoran el comportamiento sísmico, con la contribución de la estructura existente.

Los sistemas de control activo se encuentran en desventaja en nuestro país con respecto a los pasivos, por su elevado costo y la necesidad de mantenimiento periódico; no obstante,

pueden controlar más eficazmente el movimiento de la estructura. Es de esperarse que en el futuro se desarrollen con mayor frecuencia combinaciones de sistemas pasivos y activos (sistemas híbridos) que disminuyan las limitaciones de los primeros y reduzcan las fuerzas de control necesarias, con la consecuente disminución del costo.

RECONOCIMIENTO

Se agradece la lectura crítica de Emilio Rosenblueth y Manuel Jara cuyas valiosas sugerencias se incluyeron en este trabajo. El artículo forma parte de un proyecto de investigación financiado por la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El inicio de este trabajo se realizó en el Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, bajo el patrocinio del Departamento del Distrito Federal.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguíñiga, F y Jara, J M** (1993), "Reducción de daños sísmicos mediante el uso de osciladores resonantes", X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Pto. Vallarta, Jalisco, pp 826-832.
- Aguirre, M y Sánchez, R** (1989), "Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica", IMCYC.
- Aguirre, M y Sánchez, R** (1990), "Disipadores de energía sísmica", Construcción y Tecnología, Vol. III, No. 27, pp 15-19.
- Aiken, I D, Kelly, J M, y Mahmoodi, P** (1990), "The Application of viscoelastic dampers to seismically resistant structures", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 459-468.
- Akban, Z y Aktan, H M** (1990), "Intelligent energy dissipation devices", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 427-435.
- Alonso, J L** (1989), "Mechanical characteristics of X-plate energy dissipators", CE 299 Report, University of California at Berkeley.

- Amin, N, Mokha, A y Fatehi, H** (1993), "Seismic isolation retrofit of the U.S. Court of Appeals Building", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, V1, pp 185-196.
- Anderson, J C y Saunders, W D** (1987), "Seismic rehabilitation using strengthening and isolation", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda, 297-308.
- Anderson, J C** (1990), "A slip surface isolation system for multistory buildings", Earthquake Spectra, Vol 6, No.2, pp 353-369.
- Anderson, T L** (1990), "Seismic isolation design and construction practice", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 519-528.
- Andriano, T y Carr, A J** (1987), "Seismic performance of base-isolated multistorey structures", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda, 309-320.
- Asher, J W y col** (1990), "Seismic isolation design of the USC University Hospital", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 529-538.
- Bachman, R E, Gómez, M J y Chang, K C** (1990), "Verification analysis of the base isolated Los Angeles County Fire Command and Control Facility", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 539-548.
- Beck, J L y Skinner, R I** (1974), "The seismic response of a reinforced concrete bridge pier designed to step", International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 2, pp 343-358.
- Bergman, D M y Hanson, R D** (1990), "Viscoelastic versus steel plate mechanical damping devices and experimental comparison", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 469-477.
- Bozzo, L, Mahins, S y Zayas, V** (1990), "Design of friction base isolation systems", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 549-557.
- Buckle, I G y Mayes, R L** (1990-a), "Seismic retrofit of bridges using mechanical energy dissipators", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 305-314.
- Constantinou, M C y Tadjbakhsh, I G** (1984), "Hysteretic dampers in base isolation random approach", J Struct Eng, ASCE, Vol 111, No 4, 705-721.
- Constantinou, M C, Caccese, J y Harris, C H** (1987), "Frictional characteristics of teflon-steel interfaces under dynamic conditions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 15, pp 751-759.
- Constantinou, M C y col** (1993), "Fluid Viscous dampers in applications of seismic energy dissipation and seismic isolation", Proc of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, ATC 17-1, San Francisco California, pp 581-592.
- Chalhoub, M S y Kelly, J M** (1990), "Comparison of SEANOC Base Isolation Tentative Code to shake table test", J Struct Eng, ASCE, Vol 116, No 4, 925-938.
- Chang y col** (1993), "Development of a design procedure for structures with added viscoelastic dampers", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, V2, pp 473-484.
- Charleson, A W, Wright, P D y Skinner, R I** (1987), "Wellington Central Police Station base isolation of an essential facility", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda, 377-387.
- Chávez, J H y González, R** (1989), "Efecto de dos tipos de amortiguadores externos en la respuesta de una estructura metálica de dos niveles", VIII Cong Nal Ing Sis y VII Cong Nal Ing Estruct, Vol III, F341-F350.

- Chen, Y Q y Soong, T T** (1989), "Seismic behavior and response sensitivity of secondary structural systems", Report No. NCEER-89-0030, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo.
- Chen, F Y** (1990), "Optimum design of seismic structures: methodologies and results", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 917-926.
- Cho, D M y Retamal, E** (1993), "Bearings to withstand an earthquake bigger than the "Big One", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, V1, pp 209-220.
- Den Hartog** (1956), "Mechanical Vibrations", 4th ed, MacGraw Hill, NY.
- Eisenberg, J M y col** (1992), "Applications of seismic isolation in the USSR", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2039-2046.
- Ferrito, J M** (1984), "Economics of Seismic Design for New Buildings", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 12.
- Filiatrault, A y Cherry, S** (1987), "Performance evaluation of friction damped braced steel frames under simulated earthquake loads", Earthquake Spectra, Vol 3, No 1, 57-78.
- Filiatrault, A y Cherry, S** (1990), "A simplified seismic design procedure for friction damped structures", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 479-488.
- Filiatrault, A, Cherry, M y Byrne, P M** (1990), "The influence of México City soils on the seismic performance of friction damped and base isolated structures", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 335-352.
- Fujita, T** (1985), "Earthquake isolation technology for industrial facilities research, development and applications in Japan", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol 18, No 3, 224-249.
- Fujita, T y col** (1992), "Mass damper with convertible active and passive modes for response control of buildings", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2079-2083.
- Gates, W E, Hart, G C y Crouse, C B** (1990), "Vibration studies of an existing building for base isolation retrofit", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 559-568.
- Gómez, C, Rosenblueth, E y Jara J M** (1993), "Estudio paramétrico de estructuras con disipadores de energía", Boletín del Centro de Investigación Sísmica, Fundación Javier Barros Sierra, Vol 3, No.1.
- Gómez, C y col** (1993), "Estudio paramétrico de estructuras con cables de prefuerzo", X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jalisco, pp 463-469.
- González, M** (1964), "Sistema para eliminar los esfuerzos peligrosos que los temblores causan en las estructuras", V Congreso Mexicano de la Industria de la Construcción, Tijuana, B.C., México.
- Graesser, E J y Cozzarelli, F A** (1989), "Multidimensional models of hysteretic material behavior for vibration analysis of shape memory energy absorbing devices", National Center for Earthquake Engineering, Report No. NCEER-89-0018, Research, State University of New York at Buffalo.
- Griffith, M C y col** (1988), "Experimental evaluation of seismic isolation of medium-rise structures subject to uplift", National Center for Earthquake Engineering Research, Report No. UCB/EERC-88/02, University of California at Berkeley.
- Griffith, M C, Aiken, I D y Kelly, J M** (1990-a), "Displacement control and uplift restraint for base-isolated structures", J Struct Eng, ASCE, Vol 116, No 4, 1135-1148.

- Griffith, M C, Aiken, I D y Kelly, J M** (1990-b), "Comparison of earthquake simulator test results with the SEANOC Tentative Seismic Isolation Design Requirements", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 2, pp 403-417.
- Grigorian, C E y Popov, E P** (1993), "Slotted Bolted Connections for Energy Dissipation", *Proc of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control*, ATC 17-1, San Francisco California, pp 545-556.
- Hart, G C y col** (1990), "Seismic strengthening of a tall building incorporating base isolation", *Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, California, pp 333-342.
- Higashino, M** (1990), "The application of base isolation and structural control system in Takenaka", *Seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural*, México, D.F., pp 249-271.
- Ibrahim, Y, Grigoriu, M y Soong, T T** (1989), "Random vibration and reliability analysis of primary-secondary structural systems", *National Center for Earthquake Engineering Research*, Report No. NCEER-89-0031, State University of New York at Buffalo.
- Igusa, T** (1990), "Response characteristics of inelastic 2-DOF primary-secondary system", *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, Vol. 116, No.5, pp 1160-1174.
- Ikonomov, A S** (1982), "Seismic isolation of bridges with the alexisismon", *Proceedings Conference Short and Medium Span Bridges*, Toronto, pp 141-153.
- Jara, J M y col** (1992), "Seismic performance of buildings with energy dissipating systems", *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, España, V4, pp 2455-2460.
- Jones, L R, Mayes, R L y Sveinsson, B I** (1989), "Preservando una obra maestra, mejoramiento sísmico del City and County Building de Salt Lake City, UTAH, EEUU", *Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Acapulco, Guerrero, pp F.159-F.168.
- Jones, L R** (1990), "Analytical methods in seismic isolation design", *Seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural*, México, D.F., pp 157-176.
- Kaneko, M y col** (1990), "Earthquake response characteristics of base-isolated buildings", *Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, California, pp 569-578.
- Katsuta, C y Mashizu, N** (1965), "Earthquake isolation method of structure by a high speed electrohydraulic servomechanism", *Proceedings of the 3rd. World Conference on Earthquake Engineering*, pp 276-297.
- Kelly, J M, Eiding, J M y Derham, C J** (1977), "Practical soft story earthquake isolation system", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No UCB/EERC-77/27, Berkeley, California.
- Kelly, J M, Beuckle, K E, y Skinner, M S** (1980), "Experimental testing of a friction damped aseismic base isolation system with fail safe characteristics", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No UCB/EERC-80/18, University of California at Berkeley.
- Kelly, J M** (1981), "Control of seismic response of piping systems and other structures by base isolation", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No. UCB/EERC-81/01, University of California at Berkeley.
- Kelly, J M, Buckle, I G y Tsai, H C** (1986), "Earthquake simulator testing of a base-isolated bridge deck", *Earthquake Engineering Research Center*, Report No UCB/EERC-85/09, Berkeley, California.
- Kelly, T E, Mayes, R L y Jones, L R** (1986), "Preliminary design procedures for seismically isolated structures", *Proc Workshop*

- on Base Isolation and Passive Energy Dissipation, ATC, Appendix E.
- Kelly, J M** (1988), "Base isolation in Japan, 1988", Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-88/20, University of California at Berkeley.
- Kelly, J M** (1990), "Base isolation: linear theory and design", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 223-244.
- Kelly, T E, Mayes, R L y Weissberg, S** (1989), "Estimación del daño causado por sismos en estructuras convencionales y aisladas", Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero, pp F.149-F.158.
- Kelly, T E y Boardman, OP R** (1993), "Seismic isolation of the museum of New Zealand, Te Papa Tongarewa", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, V1, pp 389-400.
- Khachian, E E, Khigatian, Z M y Melkumian, M G** (1990), "Earthquake engineering of high-rise buildings with flexible upper floor (Vibration Damper)", comunicación personal.
- Kirekawa, A, Ito, Y y Asano, K** (1992), "A study of structural control using viscoelastic material", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2047-2054.
- Kitamura, H y col** (1992), "Design and analysis of a tall building with an active mass damper", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2061-2067.
- Kobori, T y col** (1992), "Development and application of hysteretic steel dampers", Tenth World Conference on Earthquake Engineering, España, V4, pp 2341-2346.
- Korenev, B G y Reznikov, L M** (1988), "Vibration dynamic dampers theory and technical additions", Physical and Mathematical Literature, Moscú.
- Kuntz, R J** (1990), "Earthquake hazard mitigation. The need for human resources development and research", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 265-276.
- Lee, D M, y Medland, I C** (1977), "Base isolation for earthquake protection of multi-storey shears structures", Proc 6th Aust Conf Mech and Struct Mats, Vol 1, pp 181-188.
- Lee, D M y Medland, I C** (1978-a), "Base isolation -An historical development and the influence of higher mode responses", Bull N Z Nat Soc Earth Eng, Vol 11, No 4, pp 219-233.
- Lee, D M y Medland, I C** (1978-b), "Estimation of base isolated structure response", Bull N Z Nat Soc Earth Eng, Vol 11, No 4, pp 234-244.
- Lin, B C y Tadjbakhsh, I** (1986), "Effect of vertical motion of friction-driven isolation system", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14, pp 609-622
- Lin, R C y col** (1988), "An experimental study of seismic structural response with added viscoelastic dampers", National Center for Earthquake Engineering Research, Report NCEER-88-0018, Buffalo, Nueva York.
- Maebayashi y col** (1992), "Hybrid mass damper system for response control of building", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2359-2364.
- Martínez, E** (1990), "Mejoramiento de la respuesta sísmica de edificios dañados, mediante la acción de disipadores de energía", Memorias del Seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural, México, D.F., pp 211-248.
- Matsushita, K y Izumi, M** (1965-a), "Some analyses of mechanisms to decrease seismic force applied to buildings", Proceedings of the 3rd. World Conference on Earthquake Engineering, pp 342-359.
- Matsushita, K y Izumi, M** (1965-b), "Deflection controlled elastic response of buildings and

- methods to decrease the effect of earthquake forces applied to buildings", Proceedings of the 3rd. World Conference on Earthquake Engineering, pp 360-372.
- Mayes, R L, Buckle, I G y Jones, L R (1988)**, "-Seismic isolation- A solution to the earthquake problems of the precast concrete industry", PCI Journal, may-jun, pp 25-57.
- Mayes, R L, Buckle, I G y Jones, L R (1989)**, "Uso del aislamiento sísmico, Una perspectiva mundial", Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Acapulco, Guerrero, pp F.169-F.178.
- Mayes, R L, Jones, L R y Buckle, I G (1990)**, "Impediments to the implementation of seismic isolation", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 283-296.
- Mayes, R L, Jones, L R y Kelly, T E (1990)**, "The economics of seismic isolation in buildings", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 245-263.
- McKay, G R, Chapman, H E y Kirkcaldie, D K (1990)**, "Seismic isolation New Zealand applications", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 203-222.
- McVerry, G H y Robinson, W H (1989)**, "Seismic isolation in New Zealand", Indian Workshop.
- Medeot, R. y Albajar, L. (1992)**, "The evolution of seismic devices for bridges in Italy", Tenth World Conference on Earthquake Engineering, España, V4, pp 2227-2232.
- Megget, L M (1978)**, "Analysis and design of a base-isolated reinforced concrete frame building", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol 2, No 4, pp 245-254.
- Mehrain, M y Clayton, M (1987)**, "Determination of design forces in base isolated buildings", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda, pp 331-338.
- Mokha, A, Constantinou, M y Reinhorn, A (1990-a)**, "Teflon bearings in base isolation. I: testing", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 2, pp 439-454.
- Mokha, A, Constantinou, M y Reinhorn, A (1990-b)**, "Teflon bearings in base isolation. II: modeling", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 2, pp 455-474.
- Nagarajaiah, S, Reinhorn, A M y Constantinou, M C (1989)**, "Nonlinear dynamic analysis of three-dimensional base isolated structures (3D-Basis)", National Center for Earthquake Engineering Research, Report NCEER-89-0019, State University of New York at Buffalo.
- Nagarajaiah, S, Reinhorn, A M y Constantinou, M C (1990)**, "Analytical modeling of three-dimensional behavior of base isolation devices", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 579-588.
- Nims, D K y col (1993)**, "Application of the energy dissipating restraint buildings", Proceedings of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control", Applied Technology Council ATC 17-1, pp 627-638.
- Okoshi, T y col (1993)**, "Aseismic design of C-1 building: The biggest base isolated building in the world", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, San Francisco, California, V1, pp 413-424.
- Olson, R A y Lambright, W H (1990)**, "Base isolation. What we need to know to diffuse this technology", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 277-282.
- Pall, A S (1984)**, "Response of friction damped buildings", Proc 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, V, pp 1007-1014.
- Pall, A S y Marsh, C (1982)**, "Response of friction damped braced frames", J Struct Div, ASCE, Vol 108, No ST6, pp 1313-1323.
- Pall A S y Pall R (1993)**, "Friction-dampers used for seismic control of new and existing

- buildings in Canada", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, V2, pp 675-686.
- Paniagua, J P, Gómez, A, e Iglesias, J** (1989), "Sistema amortiguador hidrodinámico", VIII Con Nal Ing Sis y VII Nal Ing Est, Vol III, Acapulco, Guerrero, pp F227-F236.
- Popov, E P, Engelhardt, M D y Ricles, J M** (1989), "Eccentrically braced frames. US practice", Engineering Journal, AISC.
- Priestley, M J N, Crosbie, R L y Carr, A J** (1977), "Seismic forces in base isolated masonry structures", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol 10, No 2, pp 55-68.
- Ricles, J M y Popov, E P**, (1987), "Dynamic analysis of seismically resistand eccentrically braced frames", Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-87/07, University of California at Berkeley.
- Ricles, J M y Bolin, S M** (1990), "Energy disipation in eccentrically braced frames", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 309-318.
- Robinson, W H y Greenbank, L R** (1975), "Properties of an extrusion energy absorber", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 3, pp 187-191.
- Robinson, W H y Greenbank, L R** (1976), "An extrusion energy absorber suitable for the protection of structures during an earthquake", International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 4, pp 255-259.
- Robinson, W H y Tucker, A G** (1977), "A lead rubber shear damper", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol 10, No. 3, pp 151-153.
- Robinson, W H** (1982), "Lead rubber hysteretic bearings suitable for protecting structures during earthquakes", Earth Eng Struct Dyn, Vol 10, pp 593-604.
- Robinson, W H y Cousins, W J** (1987), "Recent development in lead dampers for base isolation", Pacific Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda, pp 279-283.
- Rodwell, E y col** (1990), "EPRI contribution to international utility industry seismic isolation development program", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 419-430
- Roeder, W C, Stanton, J F, y Taylor, A W** (1990), "Fatigue of steel reinforced elastomeric bearings", J Struct Eng, ASCE, Vol 116, No 2, pp 407-425.
- Sarrazin, M y Moroni, M O** (1992), "Design of a base isolated confined masonry building", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2505-2508.
- Saruta, M, Yokota, H y Watanabe, H** (1990), "Verification test on base isolated building", Memorias del seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural, México, D.F., pp 273-289.
- Scholl, R E** (1984), "Brace dampers: An alternative structural system for improving the earthquake performance of buildings", Proc 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, V, pp 1015-1022.
- Scholl, R E** (1990), "Improve the earthquake performance of strutures with added damping and stiffness elements", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 489-498.
- Scholl, R E** (1993), "Desig criteria for yielding and friction energy dissipator", Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, San Francisco, California, V2, pp 485-495.
- Sharpe, R L** (1990), "Independent engineer peer review for seismic isolation projects", Earthquake Spectra, Vol.6, No. 2, pp 309-316.
- Shimoda, I y col** (1992), "Development of a lead rubber bearing with stepped plug", Pro-

- ceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 2327-2332.
- Skinner, R I y McVerry, G H** (1975), "Base isolation for increased earthquake resistance of buildings", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol 8, No 2, pp 93-101.
- Skinner, R I, Beck, J L y Bycroft, G N** (1975-a), "A practical system for isolating structures from earthquake attack", Earth Eng Struct Dyn, Vol 3, pp 297-309.
- Skinner, R I, Kelly, J M y Heine, A J** (1975-b), "Hysteretic dampers for earthquake resistant structures", Earth Eng Struct Dyn, Vol 3, pp 287-296.
- Skinner, R I, Tyler, R G y Hodder, S B** (1976), "Isolation of nuclear power plants from earthquake attack", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 9, No.4, pp 199-204.
- Skinner, R I y col** (1980), "Hysteretic dampers for the protection of structures from earthquakes", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol 13, No 1, pp 22-36.
- Skinner, R I** (1982), "Base isolation provides a large building with increased earthquake resistance; development design and construction", Conf on NR for Earthquakes Protection of Buildings.
- Soong, T T y Skinner, G T** (1981), "Experimental study of active structural control", ASCE, J. Eng. Mech., Div., Vol 107, pp 1057-1068.
- Soong, T T** (1990), "Active control of building structures under seismic loads", Memorias del Seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural, México, D.F., pp 291-304.
- Soong, T T y Mahmoodi, P** (1990), "Seismic behavior of structures with added viscoelastic dampers", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 499-506.
- Soong, T T, Masri S F y Housner G W** (1991), "An overview of active structural control under seismic loads", Earth Spectra, Vol 7, No. 3, pp 483-505.
- Sosa, G y Ruiz, S E** (1992), "Análisis estructural y costos de edificios con aisladores sísmicos", Sociedad de Ingeniería Sísmica, Revista de Ingeniería Sísmica, ene-mar, pp 11-28.
- Su, Y F y Hanson, R D** (1990-a), "Seismic response of buildings structures with mechanical damping devices", Department of Civil Engineering, University of Michigan.
- Su, Y F y Hanson, R D** (1990-b), "Comparison of effective supplemental damping equivalent viscous and hysteretic", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 507-516.
- Suhardjo, J, Spencer, B F y Sain, M K** (1990), "Feedback-feedforward control of seismic structures", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 437-446.
- Suzuki, H y col** (1992), "Theoretical study and development of new base-isolation systems for power equipment", Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, España, V4, pp 1999-2003.
- Sveinsoon, B I y col** (1990), "Seismic isolation analysis of an existing eight-story building", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 589-597.
- Tadzbakhsh, I y Lin, B C** (1987), "Displacement proportional friction (DPF) in base isolation", Earth Eng Struct Dyn, Vol, 15, pp 799-813.
- Tagami, J y col** (1990), "Application of substructure pseudo dynamic test to base isolated structure", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 599-608.

- Tajirian, F F, Kelly, J M y Aiken, I D** (1990), "Seismic isolation for advanced nuclear power stations", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 2, pp 371-401.
- Takayama, M Tada, H y Wada, A** (1987), "A practical research of base isolation system", *Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Nueva Zelanda, pp 285-296.
- Tanabe, T y col** (1992), "Experiments of base isolation with full-scale buildings", *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, España, V4, pp 2479-2484.
- Toyoma, K y col** (1992), "Application of the active mass driver (AMD) system to structural active seismic response control", *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, España, V4, pp 2347-2352.
- Tsai, K CH y col** (1993), "Welded steel triangular plate device for seismic energy dissipation", *Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control*, San Francisco, California, V2, pp 687-698.
- Tyler, R G** (1977-a), "Dynamic test of laminated rubber bearings", *Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng*, Vol 10, No 3, pp 143-150.
- Tyler, R G** (1977-b), "Dynamic test on PTFE sliding layers under earthquake conditions", *Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng*, Vol. 10, No. 3, pp 129-138.
- Tyler, R G** (1977-c), "Damping in building structures by means of PTFE sliding joints", *Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng*, Vol. 10, No. 3, pp 139-142.
- Tyler, R G y Robinson, W H** (1984), "High-strain test on lead rubber bearings for earthquake loads", *Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng*, Vol 17, No 2, pp 90-105.
- Urrego, O E y col** (1993), "Influencia de la distribución de disipadores de energía en la respuesta sísmica de un edificio", *X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Puerto Vallarta, Jalisco, pp 849-855.
- Way, D y Howard, J** (1990), "Seismic rehabilitation of the mackay school of mines, phase III, with base isolation", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 2, pp 297-308.
- Vestroni, F y col** (1992), "Dynamic behaviour of isolated buildings", *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, España, V4, pp 2473-2478.
- Villaverde, R y Newmark, N M** (1980), "Seismic response on light attachments to buildings", *Civil Engineering Studies, Struct Res Series No 469*, University of Illinois.
- Villaverde, R** (1986), "Simplified seismic analysis of secondary systems", *J Struct Eng*, Vol 112, No. 3.
- Villaverde, R** (1988), "Rosenblueth's modal combination rule for systems with non-classical damping" *J Earth Eng Struct Dyn*, No 16, pp 315-328.
- Villaverde, R** (1993), "Are vibration control techniques a competitive alternative for the seismic design of structures?", *X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Pto. Vallarta, Jalisco, pp 870-878.
- Warburton, G B y Soni, S R** (1977), "Errors in response calculation of non-classically damped structural dynamics", *J Earth Eng Struct Dyn*, Vol 5, pp 363-375.
- Whittaker, A. y col** (1993), "Code requirements for the design and implementation of passive energy dissipation systems", *Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control*, San Francisco, California, V2, pp 497-508.
- Whittaker, A y col** (1989), "Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements", *Earthquake Engineering Research Center, Report No UCB/EERC-89/02*, University of California at Berkeley.

Xiaoming, L (1989), "Optimization of the stochastic response of a bridge isolation systems with hysteretic dampers", *Earth Eng Struct Dyn*, Vol 18, pp 951-964.

Yamada, Y y col (1990), "Phase delayed active control of structures under random earthquake motion", *Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, California, pp 447-456.

Yang, S N, Sarkani, S y Long, F X (1988), "Modal analysis of non-classical damped structure system using canonical transformations", *National Center for Earthquake Engineering Research, Report No NECCR-88-0014*, Buffalo, Nueva York.

Zayas, V A, Low, S S y Mahin, S A (1990) "A simple pendulum technique for achieving seismic isolation", *Earthquake Spectra*, Vol.6, No. 2, pp 317-333.