



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

"DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGIA  
EN EDIFICIOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MATADAMAS MEZA CARLOS

DIRECTOR DE TESIS:  
ING FRANCISCO DE JESUS CHACON GARCIA



CIUDAD DE MEXICO

MAYO DE 2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/069/02

Señor  
**CARLOS MATADAMAS MEZA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. FRANCISCO DE JESÚS CHACÓN GARCÍA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS"**

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA**
  - II. TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA**
  - III. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA**
  - IV. COSTOS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA**
  - V. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 19 de abril de 2002  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

## AGRADECIMIENTOS.

A mi padre Carlos Matadamas V., que con sus consejos, motivación y cariño, he llegado a culminar una de las etapas más importantes de mi vida...  
¡Este logro es tuyo también! ¡Gracias por todo!

A mi madre Maria Dolores Meza L. Que con su ejemplo, empuje y apoyo incondicional he logrado cumplir mis metas.

A mis hermanos Hugo y David que siempre han estado ahí para apoyarme.

A mi tía Ana Maria Matadamas , por todo el cariño y amor que recibí y que siempre tuvo fe en mi, para hacer una carrera universitaria.

A mi tío Avelino Matadamas por su apoyo y consejos.

A esa mujer que con su amor, cariño y motivación he logrado este trabajo.  
¡Gracias Diana!

A mis amigos por su apoyo y amistad.

A mi Universidad y a mi Facultad por brindarme una visión diferente de la vida.

A mis Profesores por brindarme su tiempo, conocimientos y amistad.

Y a todas aquellas personas que influyeron en mi de alguna manera para la realización de esta tesis.

---

***INDICE.***

***Introducción.***

***Capítulo I.***

**Antecedentes de los disipadores de energía. 1**

***Capítulo II.***

**Tipos de disipadores de energía. 11**

***Capítulo III.***

**Ventajas y desventajas de los disipadores de energía. 56**

***Capítulo IV.***

**Costos de los disipadores de energía. 79**

***Capítulo V.***

**Conclusiones. 86**

**Bibliografía. 92**

---

## **Introducción.**

Las fuerzas internas de nuestro planeta, necesitan liberarse y por consecuencia provocan sismos, los cuales han ocasionado daños a las construcciones de las personas desde tiempos inmemoriales.

Los efectos nocivos que producen los sismos se logran absorber gracias a la ductilidad de los elementos estructurales. Sin embargo se ha observado que los efectos de algunos sismos, sobre pasan los límites de ductilidad y han provocado deformaciones permanentes en los elementos estructurales, y en ocasiones el desplome de las construcciones. Por esta razón es importante diseñar estructuras seguras y confiables, que cubran los requisitos estéticos de estas, y resulten estructuras económicas.

En los últimos años se ha investigado la forma de evitar los efectos nocivos de los sismos, por lo que una opción viable es colocar disipadores de energía, desde el principio de un proyecto nuevo, o también para el refuerzo de uno ya existente.

El diseño y construcción de estos dispositivos disipadores de energía en México es muy escasa, una razón es que se tiene poca investigación y por consecuencia a los inversionistas no les da la confianza, para usar estos dispositivos. Más sin embargo en varios países del mundo se trabaja mucho con la investigación, experimentación y aplicación de estos dispositivos en distintas construcciones llámese edificios, puentes, estadios, en la industria aeroespacial, etc.

Este trabajo tiene la intención de dar a conocer los distintos tipos de disipadores de energía. En el primer capítulo se abunda sobre los antecedentes, en el que se menciona el origen de los sismos, después se menciona la historia de estos dispositivos, la función, así como también los primeros experimentos y los estudios que hay en la actualidad.

En el segundo capítulo se mencionan los tipos de disipadores de energía que existen en la actualidad, en donde se explican las características más importantes de cada disipador con una imagen de cada dispositivo.

---

En el tercer capítulo se mencionan las ventajas y desventajas de estos sistemas disipadores de energía en edificios, y se busco la disponibilidad de estos dispositivos, de la arquitectura, funcionalidad, peso, mano de obra e instalaciones, que necesitan estos dispositivos, se investigó con los fabricantes y gente que ha trabajado e instalado estos dispositivos, las ventajas y desventajas de estos disipadores de energía, como es el caso del ingeniero Enrique Martínez Romero, el cual da algunas recomendaciones de su experiencias en el uso de estos dispositivos.

En el cuarto capítulo se investigó del costo que tienen estos dispositivos, los cuales se basaron únicamente en los Disipadores Viscoelásticos de tipo Amortiguador Sísmico, ya que se pudo tener acceso con el fabricante el Dr. Douglas Taylor, vía correo electrónico el cual muy amablemente me proporcionó costos actualizados hasta el 18 de Marzo de 2004. También se menciona el caso de un edificio en el se hace la comparación de los costos totales de un edificio convencional y otro con la incorporación de amortiguadores sísmicos. Además se explica en este capítulo, otra comparación de costos entre dos edificios, uno convencional y otro con disipadores de energía tipo Solera, de acero comercial con forma de "U". Cabe mencionar que dentro de esta tesis se investigó que edificios en México, utilizan estos sistemas innovadores.

---

## Capítulo I.

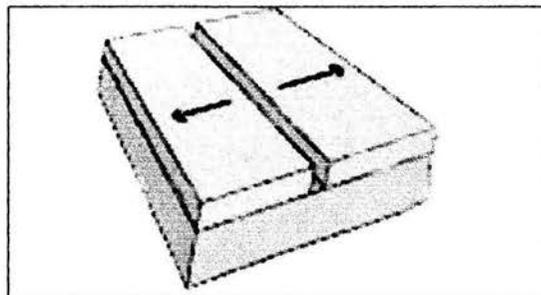
### ANTECEDENTES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.

#### I.1 Origen.

En la historia de la humanidad siempre se han presentado sismos, los cuales siempre han causado una gran incertidumbre en la gente, por que en ocasiones se han presentado perdidas humanas y la afectación de construcciones realizadas por el hombre. Los estudios que se tienen sobre el origen de los sismos se deben a dos razones fundamentales, la primera se debe a la actividad volcánica, que se presenta cuando el magma que se encuentra en el centro de la tierra, logra penetrar y salir a la superficie, así cuando, se presenta una erupción o cuando vuelve a tener actividad un volcán, se producen movimientos sísmicos. Casi todos los volcanes, se encuentran en la parte donde la corteza oceánica se sumerge por debajo de la corteza continental.

La segunda explicación se basa en la teoría de la tectónica de placas, la cual plantea la subdivisión de la corteza terrestre, en un cierto número de placas que podemos decir, que es una planca de roca sólida que conforma la superficie de la tierra (litosfera), que se encuentra flotando sobre un estrato de roca ígnea y fundida que conforman el centro del planeta (astenosfera). En el lugar donde se juntan dos placas se denomina "zonas de fricción", las cuales tienen las siguientes características:

**Fronteras divergentes:** Es en donde se genera nueva costra, ya que las placas tienden a separarse, o sea tienen un movimiento contrario una de otra. Cabe señalar que en esta frontera, los sismos no llegan a ser de gran magnitud.

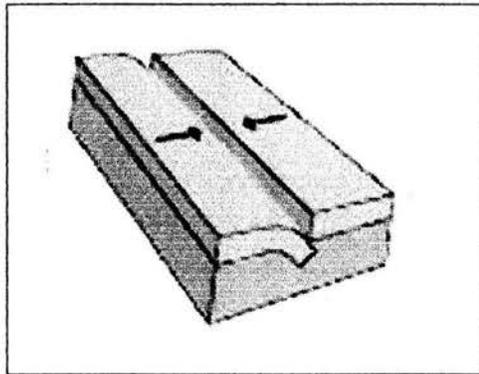


## DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

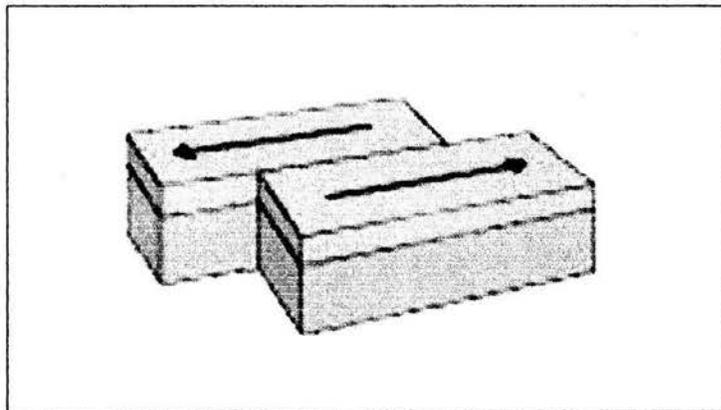
### I.- ANTECEDENTES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

---

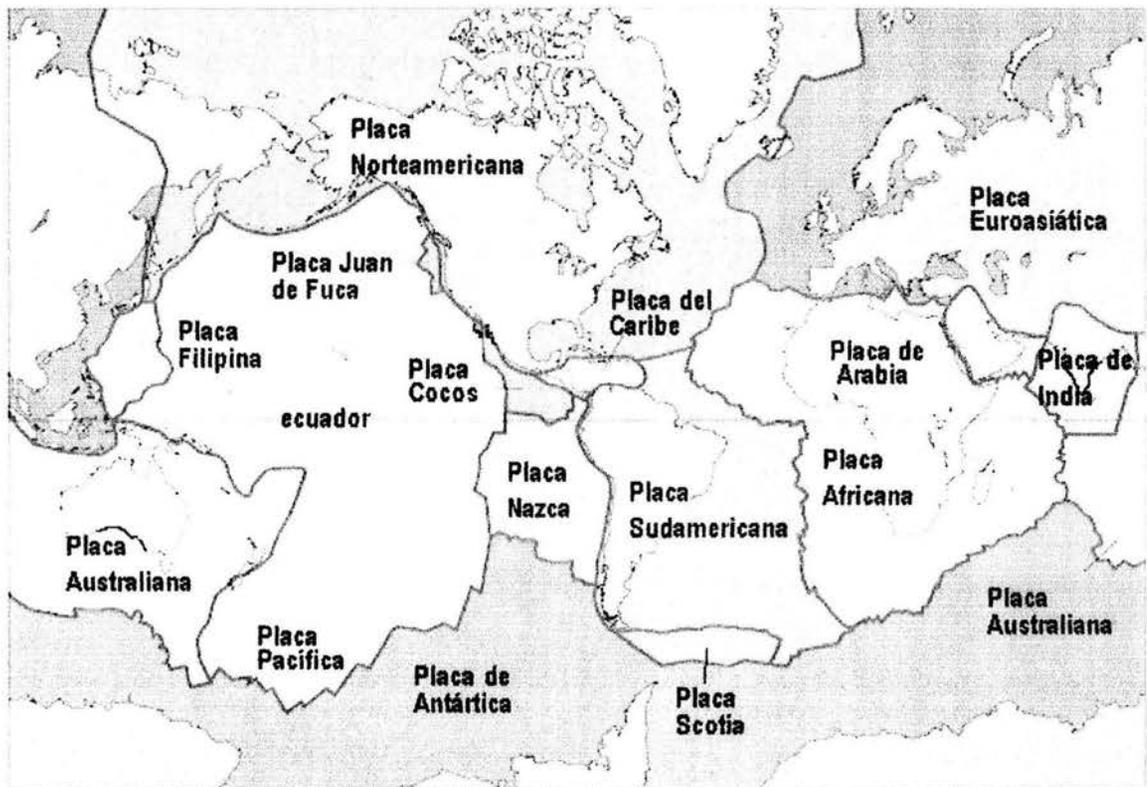
**Fronteras convergentes o de subducción:** Es en donde la costra es destruida al hundirse una placa bajo la otra (subducción). Un ejemplo muy claro es la placa de cocos que se esta hundiendo con la placa de Norteamérica y que genera la mayoría de los sismos en la Republica Mexicana.



**Fronteras de transformación:** donde la costra ni se destruye ni se produce y las placas sólo se deslizan horizontalmente entre sí. Un ejemplo de este tipo de fronteras es la tan conocida Falla de San Andrés, en California. Aquí podemos hacer mención que cuando dos placas se llegan a trabar, en el momento en que se separa una de la otra, se libera una gran cantidad de energía la cual va a provocar un sismo de magnitud considerable.



La distribución de las placas que conforman la corteza terrestre, las podemos ubicar en el mapa No 1.



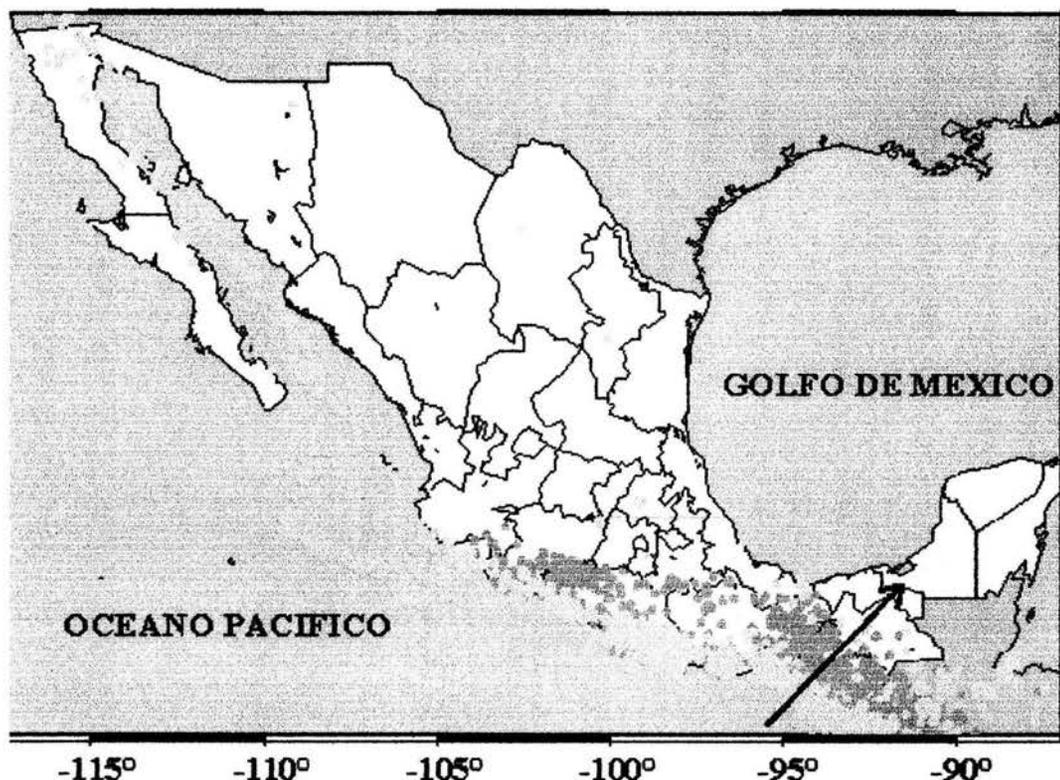
Mapa No 1.

Podemos mencionar que la gran mayoría de los sismos, se concentran a lo largo de las fronteras entre las placas tectónicas, sin embargo se puede notar en el mapa No. 2, la distribución de los sismos en México, en el que se puede notar que hay pocos sismos al interior del continente, más sin en cambio en regiones cercanas a la denominada faja volcánica, se concentra la mayor cantidad de sismos y de gran densidad de población en nuestro territorio nacional.

En este mismo mapa también se muestran los sismos con magnitudes mayores o iguales a 4.5 localizados en la República Mexicana entre 1964 y 1995. Los puntos cafés representan sismos superficiales (profundidades menores a 50 Km.), mientras que los azules representan sismos con profundidades mayores a 50 Km.

## DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

### I.- ANTECEDENTES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA



Sismos superficiales con profundidades menores a 50 Km.



Sismos superficiales con profundidades mayores a 50 Km.

Mapa No 2.

Es importante establecer que en México al ser una zona sísmica se planteo dividirla en cuatro zonas designadas con las letras de A a la D, en orden creciente de peligro sísmico. El peligro sísmico depende esencialmente de la distancia a la zona de mayor generación de sismos de gran magnitud que es la que se encuentra en la costa del Pacífico, frente a los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. La información se obtuvo de los registros históricos y a los datos sobre la aceleración del suelo de una serie de los grandes temblores ocurridos en este siglo. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo, esta información esta vaciada en el mapa No. 3, donde está la regionalización sísmica de la República Mexicana.

## DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

### I.- ANTECEDENTES DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA



Mapa No. 3

En la actualidad los reglamentos piden que se diseñe una estructura que pueda disipar la energía producida por el sismo, dentro de su comportamiento y esto conlleva a que sea excesivamente costoso. Pero los diseños se realizan actualmente considerando que las estructuras disipen la energía, producida por el efecto de un sismo, al deformarse inelásticamente algunos de los elementos estructurales que la forman. Al hacer trabajar a estos elementos en este rango se acepta que sufran a menudo daño significativo, aunque siempre tratando de evitar el colapso parcial o total de la estructura, lo que trae consigo grandes pérdidas económicas al tener que repararla o en el peor de los casos demolerla.

Esto ha llevado a buscar alternativas de diseño que resulten más eficientes para reducir la respuesta de las construcciones ante excitaciones sísmicas, lo que permite aminorar o eliminar la posibilidad de daños en la estructura (articulaciones plásticas, agrietamientos excesivos, etc.) Lo que ha llevado al estudio y desarrollo de sistemas externos que se integran a la estructura, para

así modificar sus propiedades dinámicas, e incrementar la capacidad de disipación de energía.

El uso de sistemas disipadores de energía para reforzar edificios sujetos a sismos es cada vez más frecuente, ya que los reglamentos de diseño actuales reconocen que es más costoso absorber la energía que es inducida a las estructuras, cuando ocurre un sismo de gran intensidad dentro de la capacidad elástica de los materiales. Los disipadores permiten reducciones apreciables en la respuesta sísmica, lo que permite aminorar o eliminar la posibilidad de daños en la estructura (articulaciones plásticas, agrietamientos excesivos, etc.). El concepto básico de estos dispositivos, es que la energía se disipe a través del trabajo que desarrollen estos elementos, no por el comportamiento dúctil de los materiales de la estructura. Por esta razón se hacen esfuerzos orientados a conocer y a proponer diferentes tipos de sistemas disipadores, a estudiar su influencia en la respuesta dinámica de los sistemas estructurales que los contienen, así como a desarrollar criterios y métodos aplicables a la práctica del diseño, tanto para el diseño de nuevas estructuras como para el refuerzo de edificios existentes.

## **I.2 Historia.**

A partir de las últimas décadas ha crecido el número de disipadores de energía en el mundo, los cuales ayuden a disipar o absorber energía. Las instituciones dedicadas a la investigación han hecho planteamientos analíticos y modelos a escala de estructuras con este tipo de sistemas, surgiendo así nuevas metodologías de diseño que toman en cuenta las características de este tipo de dispositivos.

En la década de los setentas el Instituto de Ingeniería desarrollo un sistema de dispositivos controladores de hundimientos en edificios, con la idea de ofrecer una alternativa ventajosa en comparación con los pilotes de control. Este sistema consta de elementos en forma de U, que son de solera de acero comercial. Este arreglo ya había sido estudiado por Skinner en 1973 y funcionan bajo el concepto de rolado por flexión y disipan energía al desplazarse a la manera de orugas de un tractor; pero al pasar los sismos de 1985 en México se pensó en utilizar este sistema no sólo como controlador de hundimientos sino como sistemas disipadores de energía, al colocarlos en las superestructuras.

### I.3 Función de los Disipadores de Energía.

Nuestro planeta tiene la necesidad de liberar su energía interna, por lo que las edificaciones reciben esta energía y necesitan disiparla. Esta energía de un sismo o de entrada ( $E_I$ ) de una edificación se puede disipar mediante las siguientes formas: Energía de deformación elástica ( $E_S$ ), Energía de movimiento, o energía cinética ( $E_K$ ), Energía de amortiguamiento ( $E_D$ ) y Energía por comportamiento inelástico ( $E_N$ ), también llamada Energía por comportamiento no lineal o ductilidad, y podemos plantear esta relación de la siguiente forma:

$$E_I = E_S + E_K + E_D + E_N$$

Los códigos de diseño sísmico dicen que la energía se debe disipar por la ductilidad  $E_N$  y se sabe que las otras tres fuentes de disipación  $E_S$ ,  $E_K$  y  $E_D$  representan una pequeña porción de la disipación total de energía y la distribución de la energía se puede representar de la siguiente manera:

$$E_I = E_S + E_K + E_D + E_N$$

Por lo que utilizar estos dispositivos novedosos, en el cual se busca que la mayor contribución de la disipación de energía que una estructura absorbe durante un sismo, sea mediante el amortiguamiento interno ( $E_D$ ), dejando a la energía por ductilidad ( $E_N$ ), solamente una fracción pequeña de la energía de entrada, es decir:

$$E_D \gg E_N$$

Y lo adecuado es que la energía de entrada se logre disipar de la siguiente forma:

$$E_I = E_S + E_K + E_D + E_N$$

Logrando así que el amortiguamiento interno sea una primer línea de defensa y que además se tenga la ductilidad de los elementos.

#### **I.4 Primeros experimentos.**

Los primeros datos de la utilización de disipadores de energía fueron los de tipo amortiguador, que en el año de 1897 se utilizó con fines bélicos, ya que este dispositivo se adaptó a una pieza de artillería de los E.U.A., se trataba de un cañón largo de la armada.

Se han desarrollado numerosos dispositivos que plastifican debido a esfuerzos Flectores; Skinner en 1975 estudio el comportamiento de dos placas en forma de U que disipan energía por flector puro al enrollarse por efecto del desplazamiento relativo entre sus extremos, su comportamiento histerético se demostró muy estable.

El sistema estructural con brazos excéntricos (Popov 1980) es el precursor de los disipadores a cortante. La mayoría de los disipadores adoptan una geometría similar: sección en doble T con alma rigidizada, Popov observó que este sistema era de una gran ductilidad (la UBC97 considera a las estructuras que lo incorporan de máxima ductilidad), y que permitía ciclos histeréticos estables y de gran capacidad disipativa siempre que la rigidización sea correcta.

Los primeros disipadores de energía que se utilizaron en México del tipo ADAS (Added Damping And Stiffness), fueron usados por parte del Ing. Martínez Romero en 1993, estos dispositivos se colocaron para reforzar el Hospital de Cardiología que se encuentra ubicado dentro del centro siglo XXI del IMSS en el Distrito Federal. Se trata de un edificio de 5 niveles y los dispositivos están en el exterior del mismo edificio, lo cual no interfiere con la operación normal del edificio y eso da una gran ventaja al tener más espacios.

Otro tipo de disipador de energía que se empezó a utilizar en México, fue el que disipa la energía por medio de fricción, por parte del Ing. José Luis Sánchez Martínez en 1993, en el cual el sistema disipativo consta de diagonales de acero que constituyen el refuerzo del Hospital 20 de Noviembre del ISSSTE, el cual se ubica en las esquinas de las avenidas Coyoacán y Felix Cuevas en el Distrito Federal.

### **I.5 Proceso de avances.**

En México como en otros países con alto riesgo sísmico no existen recomendaciones oficiales para diseño de edificios nuevos con disipadores de energía, ni tampoco para reforzar edificios existentes con dichos dispositivos; los reglamentos mexicanos de construcciones, en particular el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-1993) permite utilizar este tipo de dispositivos con la condición de que los diseños conduzcan a una confiabilidad por lo menos igual a la que se obtendría para estructuras convencionales empleando los métodos y requisitos especificados en el mismo. Los diseños finales deben ser aprobados por las autoridades correspondientes para poder otorgar el permiso de construcción.

Las propuestas del nuevo reglamento de construcciones para el D.F. (Enero de 2004) contemplan el uso de los disipadores de energía previo estudio técnico certificado.

### **I.6 Actualidad.**

En los últimos años se ha puesto un gran énfasis en la investigación hacia el "Diseño por Desempeño" (Performance-Based Design). La esencia en este tipo de diseño, es que las estructuras se diseñan para que su respuesta no exceda un conjunto de estados límites especificados bajo la acción de ciertas acciones sísmicas de diseño, aunque en este concepto no existe nada particularmente novedoso, el logro que se tiene al utilizarlo es que los estados límite pueden representarse de mejor forma mediante deformaciones en vez de resistencias, lo que representa un cambio significativo en las bases de la filosofía de diseño existente hasta ahora en muchos países, entre ellos incluido el nuestro. Otra ventaja es que se proporciona a la estructura cierto nivel de seguridad supuestamente constante ante la acción de cierta excitación sísmica asociada a niveles preestablecidos de peligro sísmico.

Una tendencia actual en el diseño sísmico, consiste en buscar sistemas sismoresistentes que localicen la demanda de ductilidad en elementos predeterminados (Bozzo y Barbat 1999); ello supone las siguientes ventajas:

- 1) Resulta más factible garantizar la demanda de ductilidad.
- 2) El control de calidad en materiales y en ejecución puede ser más intenso en las zonas donde se establece la oferta de ductilidad.
- 3) El daño resulta más previsible y la reparación más económica que en los sistemas basados en el daño estructural disperso.

Algunos de los sistemas proponen que la oferta de la ductilidad resida en zonas específicas de la propia estructura, como es el caso de los pórticos excéntricos en estructuras de acero (Popov 1980). Otra posibilidad consiste en el empleo de disipadores de energía externos a la estructura; si bien forman parte del sistema estructural se emplean como nexo y ello permite su fácil restitución en caso de sufrir daño.

Aquí en México, en el Instituto de Ingeniería, el Ing. Esteva junto al Ing. Veras proponen un criterio para el diseño sísmico de edificios nuevos y para el refuerzo de edificios con disipadores de energía, ellos establecen que las condiciones de diseño se expresan en términos de las ductilidades nominales de disipadores y estructura, de los valores permisibles de estas ductilidades y del desplazamiento relativo de entrepiso. El temblor de diseño se expresa en términos de espectros no lineales de aceleraciones para distintas ductilidades demandadas, para llegar al diseño final es necesario realizar iteraciones para lograr que todas las condiciones de diseño se satisfagan.

La tecnología y la investigación que proporcionan los disipadores de energía de tipo amortiguador sísmico, tienen un gran auge en todo el mundo, ya que por mencionar en E.U.A. se tienen una gran cantidad de edificios que utilizan estos sistemas y que seguramente se utilizarán en el futuro.

## **Capítulo II.**

### **TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA.**

#### **II.1. Disipadores de energía.**

Existe una gran variedad de dispositivos que ayudan a disipar o a absorber la energía que se induce a la estructura por parte de un sismo. Los disipadores de energía los podemos clasificar según su funcionamiento, hay los disipadores con comportamiento histerético y los dispositivos de materiales con comportamiento viscoelástico.

#### **II.2. Disipadores Histeréticos.**

Este tipo de dispositivos tienden a modificar la rigidez y la resistencia de la estructura, también tienen la finalidad de disminuir o eliminar la energía histerética. Estos dispositivos solo disipan energía después de alcanzar su límite de fluencia, y se busca que trabajen en forma eficiente y para esto es necesario que las deformaciones sean moderadas y altas, pero siempre buscando que estas no excedan los valores provistos en los reglamentos de construcción. Su funcionamiento depende de los desplazamientos relativos de entrepiso. La energía que disipan estos elementos se transforma en calor por el trabajo mecánico de placas y podemos decir que generalmente trabajan de la siguiente forma:

- \* Disipadores por Flexión.
- \* Disipadores por Torsión.
- \* Disipadores a carga Axial o Cortante.
- \* Disipadores basados por la Extrusión de materiales.
- \* Disipadores por Fricción.

### II.2.1. Disipadores por Flexión.

Dentro de este tipo de disipador los primeros ensayos fueron por parte de Skinner en 1975, este disipador consta de dos placas en forma de U que disipan energía al deslizarse 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 la energía. La geometría de estos dispositivos y su arreglo típico se presenta en la figura No1.

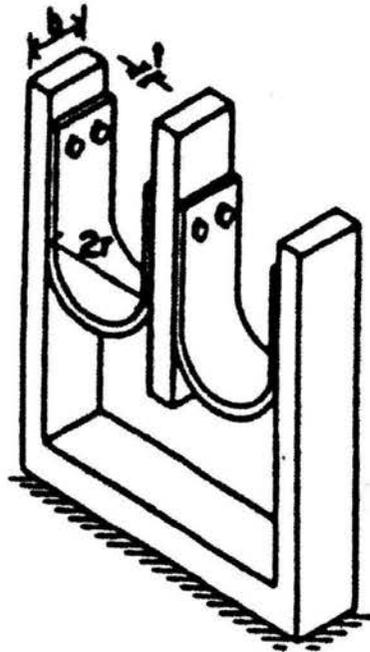


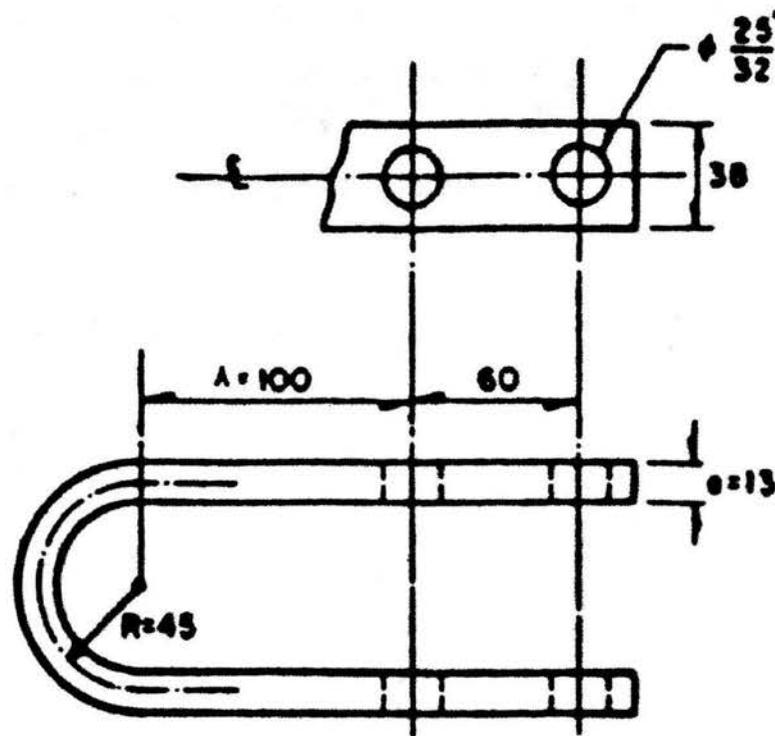
Figura No 1. Dispositivo disipador de energía

Aquí en México quienes probaron experimentalmente estas soleras en 1989 y 1990 fueron Aguirre y Sánchez, ellos pudieron observar que estos dispositivos tuvieron un comportamiento histerético estable 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.

De acuerdo con los estudios de Aguirre y Sánchez (1992), se recomienda utilizar soleras cuyo ancho sea tres veces su espesor ( $b=3e$ ) y con un esfuerzo último de  $\sigma_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

El Ing. Ricardo González Alcorta estudió y experimentó el comportamiento de este tipo de sistema de disipación de energía, ya como parte componente de una estructura real en un ensaye controlado, para esto se realizó un modelo físico contemplando la presencia de estos disipadores tipo solera, el cual fue ensayado en la mesa vibradora que se encuentra en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Los elementos disipadores de energía tipo solera que experimento el Ing. González Alcorta fue de acero comercial, cuya sección es de 1.3 por 3.8 cm., estos elementos se esquematizan en la figura No 2..



Acotaciones en mm.

Figura No 2. Configuración del dispositivo.

Estos dispositivos fueron probados en un marco de carga, el cual consta de un miembro estructural central conectado a una celda de carga que a su vez está unida a la viga transversal de la máquina. A uno y otro lado del elemento central se tienen elementos que junto con dos barras espaciadoras al frente y dos atrás forman una estructura confinante, la cual va atornillada a un elemento transversal afianzando el émbolo hidráulico de la máquina. Este marco se muestra en la figura No 3.

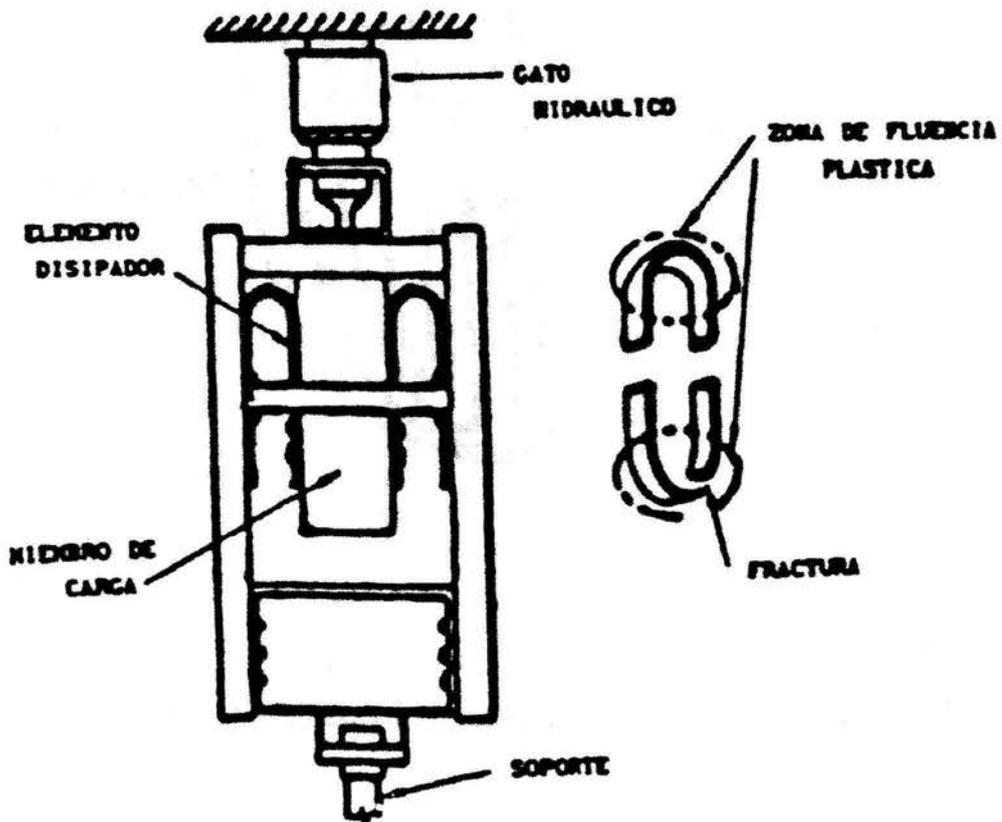


Figura No 3. Marco de carga para probar los dispositivos disipadores.

En esta prueba se mantuvo un desplazamiento controlado con un movimiento de tipo armónico. Se utilizó una amplitud de 2.5 cm para todas las pruebas, por ser de este orden de desplazamiento el que puede esperarse, en un entrepiso de un edificio flexible ante la acción de un sismo, según las normas actuales del Distrito Federal.

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA

La mesa vibradora en la cual se ensayó el prototipo constaba de una losa nervada de concreto de 4.5 por 2.4 m en planta y 0.40 m de espesor, la cual se apoyaba en dos traveses longitudinales de 1.30 m de peralte. En el sentido transversal tenía tres diafragmas; uno en cada extremo y otro en el centro. El peso aproximado de la mesa era de 15 t y tenía una capacidad de para soportar modelos de hasta 15 t, el conjunto descansaba sobre cuatro columnas biarticuladas de acero de sección tubular, apoyadas sobre la losa de cimentación. Las dimensiones de la mesa vibradora se muestran en la figura No4.

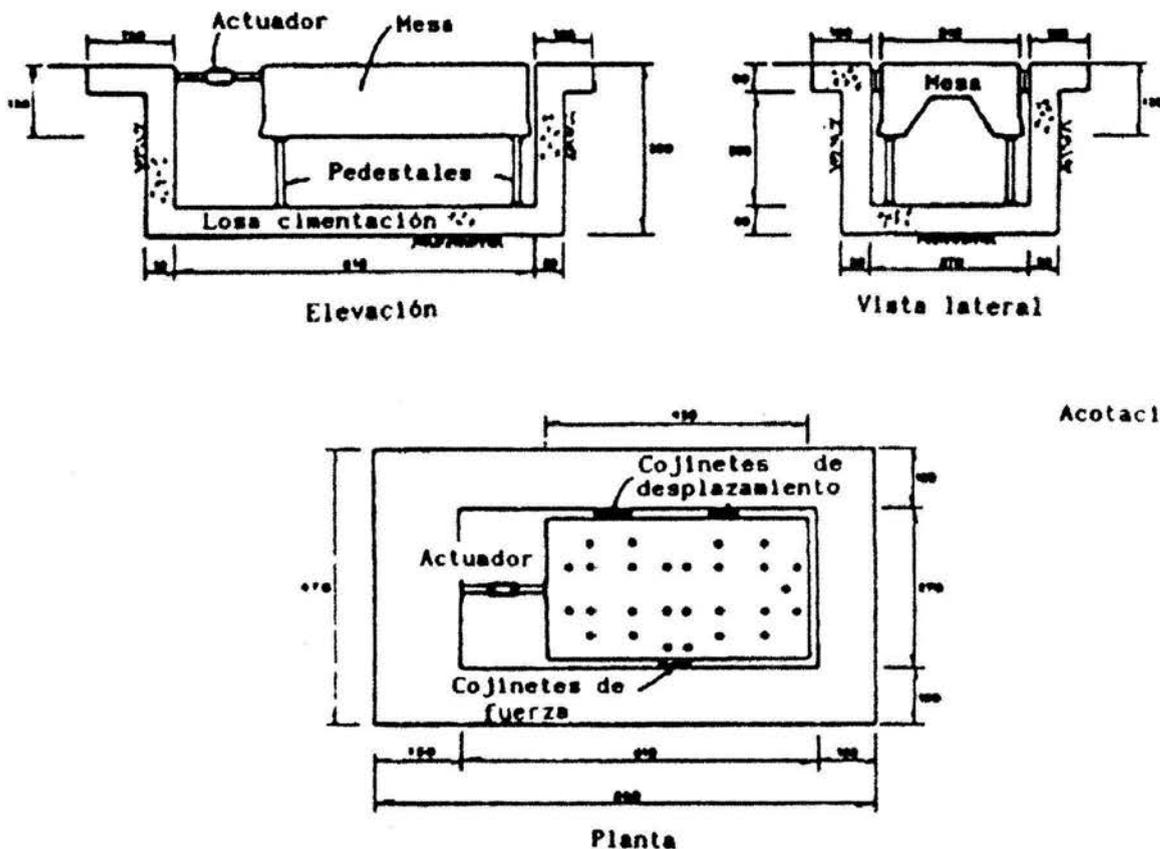


Figura No 4. Dimensiones generales de la mesa vibradora.

La cimentación de concreto armado estaba formada por tres partes rígidamente unidas, la losa de fondo, los muros de retención y las trabes de borde. La losa y los muros tenían un espesor de 0.50 m. Las dimensiones en planta de la losa eran 7.10 por 3.70; los muros tenían una altura de 3.0m. La sección de la trabe de borde era de 0.50 por 1.0 m, excepto en la parte inmediata al actuador, donde su sección era de 0.50 por 1.50 m.

El sistema para controlar y aplicar el movimiento de la mesa consistía en un equipo electromecánico de circuito cerrado capaz de generar un movimiento senoidal o aleatorio en la dirección horizontal y el desplazamiento máximo del actuador era de 2.5 cm. En la figura No 5, se indican las dimensiones de finales del prototipo experimental.

Dentro de los resultados que se obtuvieron de las pruebas podemos mencionar las siguientes:

\*Una pequeña disminución en la deformación unitaria nominal del dispositivo aumenta de manera significativa el número de ciclos a la falla.

\*El número de ciclos a la falla aumenta conforme se incrementa la dimensión.

\*Un cambio significativo en el periodo del ciclo de carga afecta solo levemente la capacidad de carga y el número de ciclos a la falla. Esto implica que estos dispositivos se pueden usar en estructuras, sin importar el periodo natural de vibrar.

\*La oxidación del material acorta sensiblemente el número de ciclos a la falla.

El propósito principal de este estudio experimental de este prototipo fue el determinar la influencia que tienen los dispositivos de disipación de energía en la respuesta global de la estructura global de la estructura, cuando esta última es sometida a excitaciones armónicas en la base. La finalidad de estas pruebas fue el determinar experimentalmente la reducción del nivel de aceleración que se presenta en la estructura.

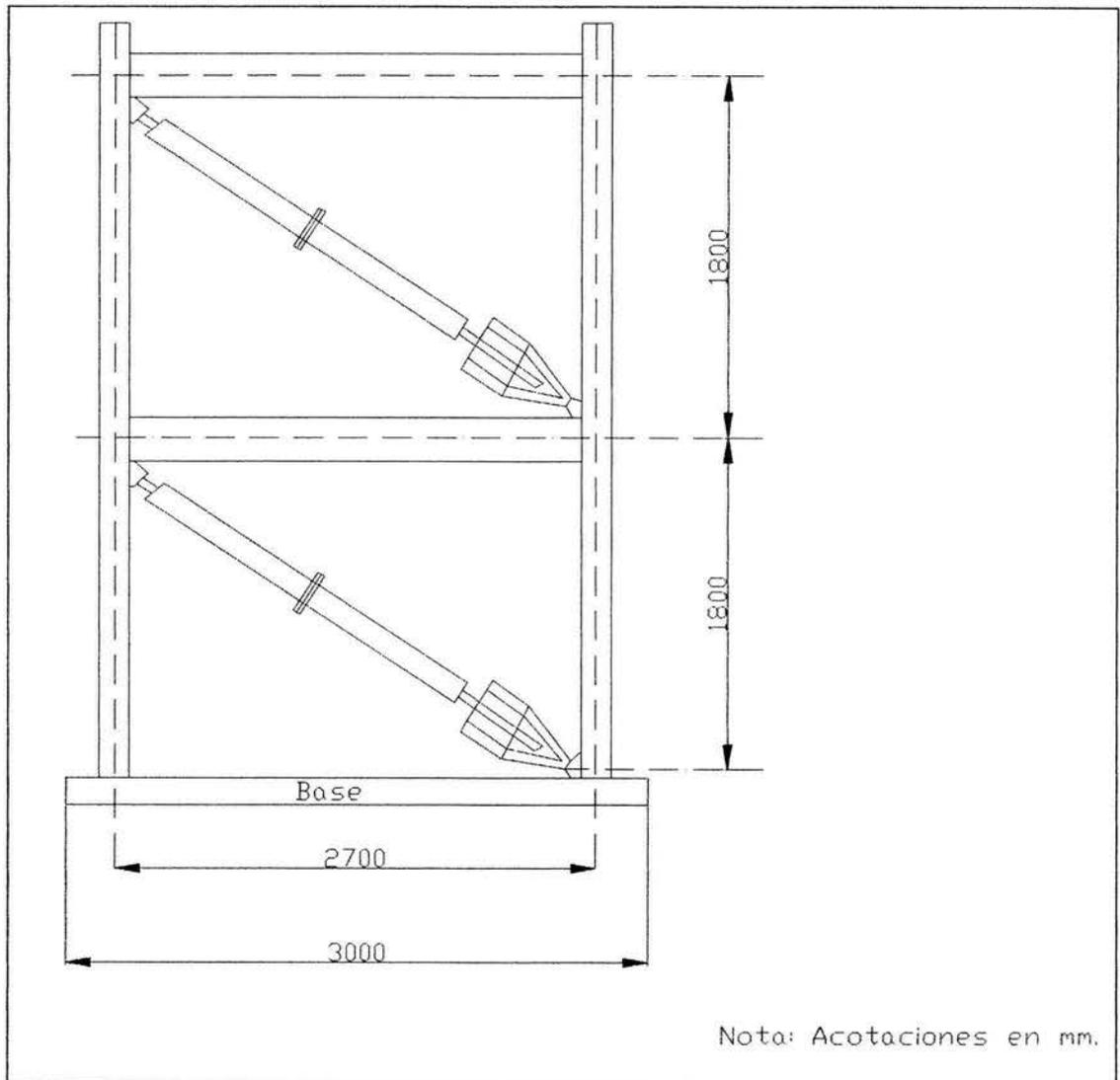


Figura No 5. Dimensiones finales del prototipo experimental.

Las conclusiones que observo el Ing. González Alcorta en su trabajo sobre la respuesta de una estructura metálica de dos niveles provista de dispositivos disipadores de energía, bajo excitaciones de tipo armónico fueron las siguientes:

1. Las características dinámicas del modelo matemático presentaron buena correlación con las obtenidas experimentalmente, lo que permitió validar el modelo matemático utilizado.
2. En el análisis matemático resulto notable el efecto que tiene en la estructura la inclusión de los dispositivos disipadores de energía en la disminución de la respuesta del modelo.
3. En lo que se refiere a la identificación de parámetros equivalentes del modelo de dos grados de libertad usado en el estudio se encontró que fue posible reproducir la respuesta en ambos niveles del prototipo que caracterizan al sistema estructural estudiado. Además, se distingue el alto nivel de amortiguamiento equivalente que se presenta en el modelo debido al comportamiento no lineal de los disipadores de energía.

Otro sistema que se ha estudiado mucho es el conocido como ADAS (Added Damping and Stiffness), por parte de Whittaker en 1989, Scholl en 1990, Su y Hanson en 1990 y Bergman en 1990. Este dispositivo esta compuesto por un conjunto de placas de acero en paralelo, de espesor constante y de sección transversal en forma de X, la cual es similar a dos trapecios unidos por la base menor. Este sistema disipador de energía se presenta en la figura No 6.

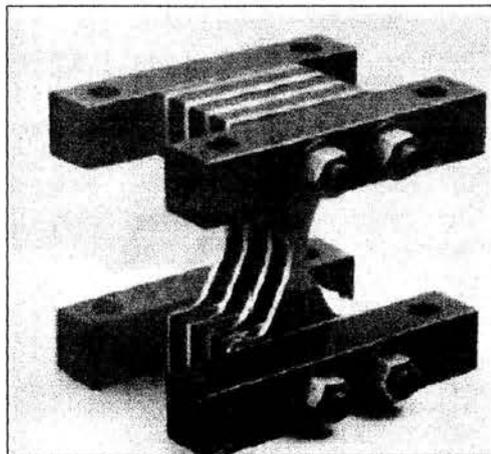


Figura No 6. Disipador tipo ADAS.

Este sistema en el cual el número de chapas o placas en paralelo resulta variable, permite ajustar el disipador a las necesidades de la estructura a la cual se incorpora. Cada placa del dispositivo se encuentra impedida de giro en ambos extremos, de forma que un desplazamiento relativo entre estos en dirección perpendicular al plano de la placa produce una distribución de momentos flexionantes lineales, simétricos y con doble curvatura. Este arreglo se presenta en la figura No 7.

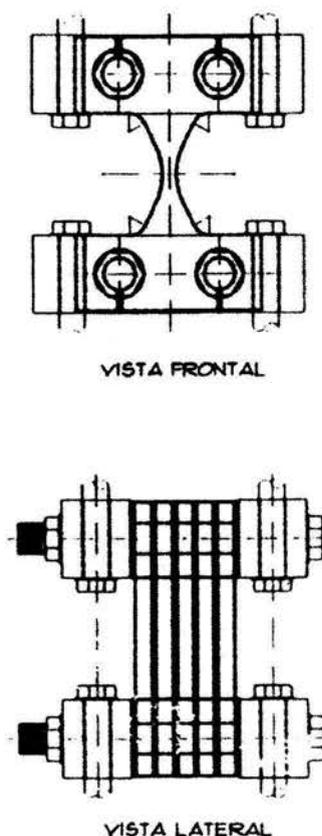


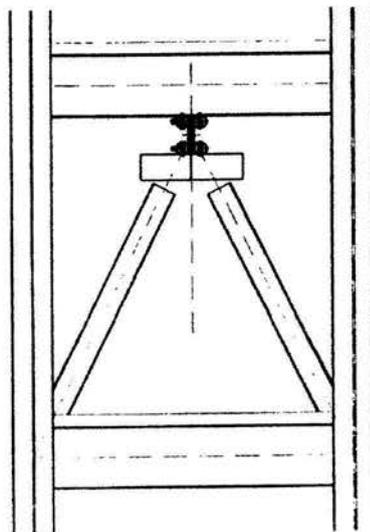
Figura No 7. Dispositivo ADAS.

El ancho del disipador se proporcióna linealmente con la distribución de momentos flectores, lo cual deriva en una generalización de la plastificación en un corto intervalo de desplazamiento. La plastificación se produce de forma uniforme y estable, optimizando el proceso de disipación de energía. También se experimentó con placas de sección transversal rectangular, pero la distribución de esfuerzos por flexión sigue siendo triangular, en este caso los

esfuerzos de fluencia se alcanzan solo en pequeñas zonas extremas lo que reduce radicalmente la disipación de energía con respecto a la sección transversal en forma de X.

El comportamiento histerético de las placas, a las cuales se les aplico en el laboratorio, a más de 100 ciclos de carga y descarga, mostraron un comportamiento sin degradación y estable. De estos resultados se desprende la recomendación que en su diseño se consideren valores de ductilidad máxima de seis.

La ubicación de estos dispositivos en la estructura se colocan en marcos y muros de rigidez con trabes de acoplamiento, esto se ilustra en las figura No8.



**Figura No 8. Colocación típica de ADAS en marcos.**

Aquí en México estos dispositivos han sido estudiados y llevados a estructuras reales por parte del Ing. Enrique Martínez Romero, un caso en el cual se necesitó utilizar este tipo de sistemas, fue en tres esbeltas torres de 28 niveles que componen el conjunto La Jolla en Acapulco, Guerrero México enfrente del mar. Al inicio se intentó proyectar el edificio de concreto reforzado, pero al estimar las enormes demandas de resistencia y ductilidad que el diseño sismoresistente que el reglamento pedía, proporcionaba una estructura demasiado robusta con densidades muy altas de acero de refuerzo, y volúmenes de concreto de alta resistencia muy elevados para la superestructura, y de igual forma en cuanto a la cimentación, por lo tanto sé

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA

tenía un alto costo total del edificio y que dificultaba económicamente su comercialización. Otros aspectos que no favorecían esta alternativa fueron las grandes dimensiones de las columnas, que reducían los espacios habitables y obstaculizaban el funcionamiento arquitectónico, y los muy densos refuerzos de acero, dificultarían su ejecución y el paso de concreto en las uniones de vigas a columnas. El Ing. Martínez planteo la solución estructural mediante una estructura de acero incorporando disipadores de energía, la estructuración de cada planta se presenta en la figura No 9, la cual presenta una irregularidad estructural que se debe a que hay un menor número de ejes de columnas en el lado que da hacia el mar, situación lógica, ya que lo que se pretende es vender precisamente la vista al mar.

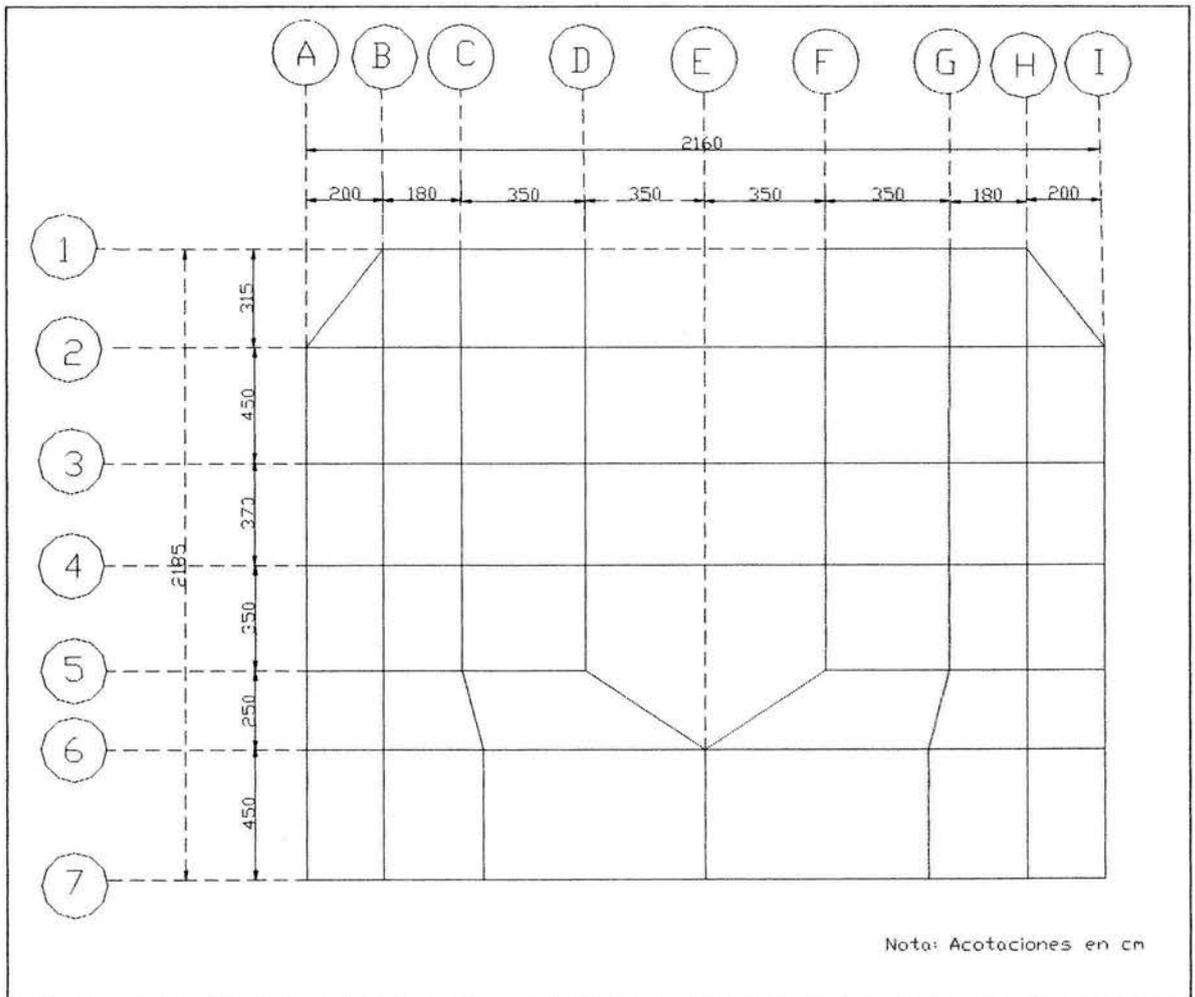


Figura No 9. Conjunto La Jolla. Estructuración en planta.

Esta opción presenta ventaja arquitectónica y aumentaba las áreas habitables en un 8%, por tener menor sección de columnas. La estructura se pensó con pórticos rígidos diseñados para un coeficiente sísmico de  $Q' = 2$ , con el objeto de no comprometerse altamente las conexiones viga a columna a que cumplieran con todos los requisitos que marcan las recomendaciones AISC, para el diseño de pórticos especiales resistentes a momentos.

Todos los elementos estructurales empleados fueron de sección  $W$  en acero ASTM-A572-50. La colocación de sistemas de contravientos en "V" invertida tipo "chevron", en cuyo vértice se interconectaron los elementos disipadores de energía tipo ADAS, que permiten que estos actúen como una primera línea de defensa contra los sismos, quedando la estructura con su ductilidad como una auténtica segunda línea de defensa. El trabajo que desarrollaran estos dispositivos será meramente energético y esto significa que la mayor parte de la energía de entrada que el temblor impone en la estructura, será disipada mediante el trabajo inelástico (comportamiento histerético) de los elementos ADAS y mediante el amortiguamiento adicional que generara.

En este proyecto se utilizaron 128 disipadores ADAS distribuidos en los primeros 10 niveles de la estructura. En la figura No 10 se ilustra la forma típica de colocar los elementos ADAS en los marcos contraventeados.

Estos edificios que ya están construidos y que contienen a estos dispositivos de energía tipo ADAS, han mostrado un comportamiento sísmico ampliamente satisfactorio, un ejemplo es que se han presentado sismos de hasta intensidad de 7.3 y no han presentado problemas, ya que originalmente el diseño se basó para un sismo de intensidad 8.3 y no perjudicó a la estructura.

Existe otro dispositivo llamado TADAS, que al igual que el ADAS, está formado por un conjunto de placas trapezoidales de acero paralelas y de espesor constante. Este sistema que cuenta con placas en un extremo empotradas y en el otro articuladas, condiciona la forma trapezoidal, que posibilita también una distribución global de plastificación. La base mayor de la placa se conecta al nivel de viga a una estructura porticada, mientras que la otra se articula con pernos en la unión que se conectan a dos contravientos dirigidos a la base de los pilares del pórtico. Con un desplazamiento relativo entre extremos de la placa perpendicular a su plano, se consigue la plastificación por flexión por curvatura simple. Al incorporar este sistema en un pórtico de acero a escala natural se ha observado que las reducciones en la respuesta son similares a las obtenidas con el ADAS. Este sistema se muestra en la figura No 11.

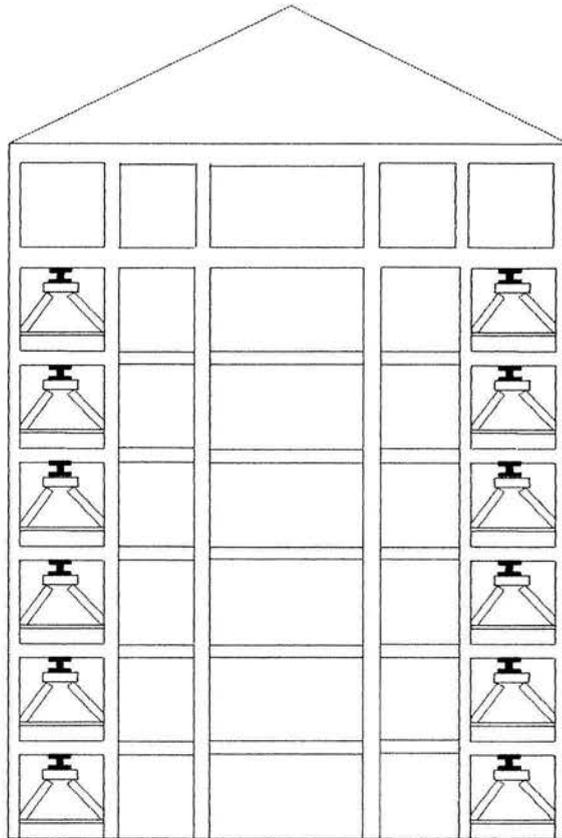


Figura No 10. Colocación típica de los dispositivos ADAS en marcos

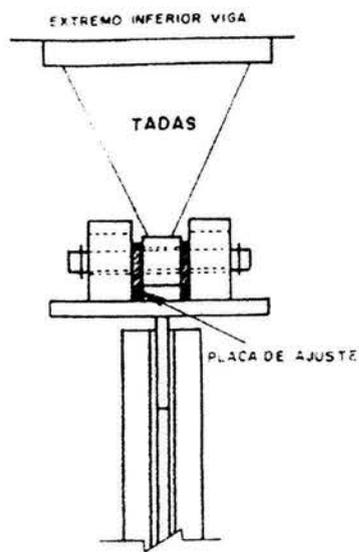


Figura No 11. Sistema TADAS.

Aquí en la Ciudad de México podemos mencionar que un edificio que cuenta con este tipo de disipador de energía es el edificio matriz del I.M.S.S., que se encuentra en Av. Reforma No 476 Col. Cuauhtemoc, (Fig. No 12 y 13), y que estuvo bajo la supervisión del Ing. Enrique Martínez Romero.

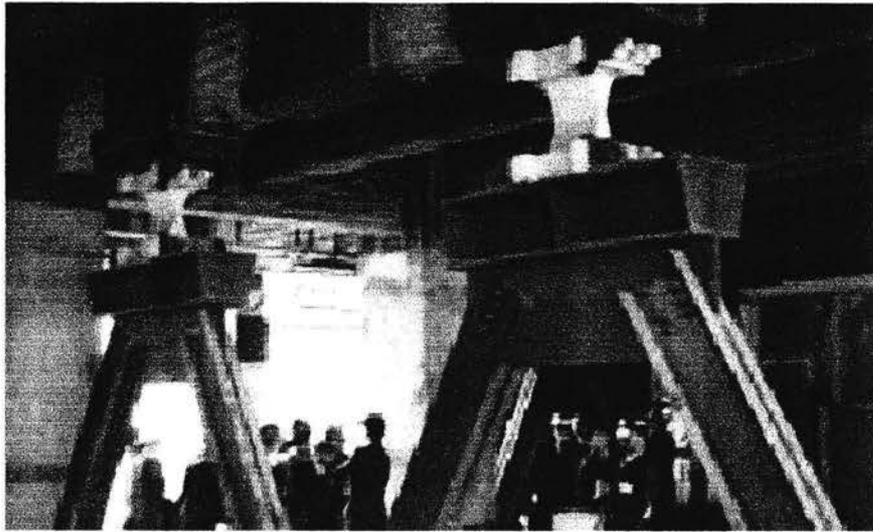


Figura No 12. Disipador tipo ADAS.



Figura No 13. Edificio matriz del I.M.S.S.

### II.2.2. Disipadores por Torsión.

Este tipo de sistema de disipación de energía fue estudiado inicialmente por Skinner y Mc Verry en 1975, estos dispositivos alcanzan su comportamiento elástoplastico al someter una barra de acero a torsión, que al igual que los disipadores tipo ADAS y en forma de U, alcanzan el esfuerzo de fluencia al mismo tiempo en casi todo su volumen. La forma en que trabaja a torsión una barra de acero, se ilustra en la figura No 14 en la cual 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.

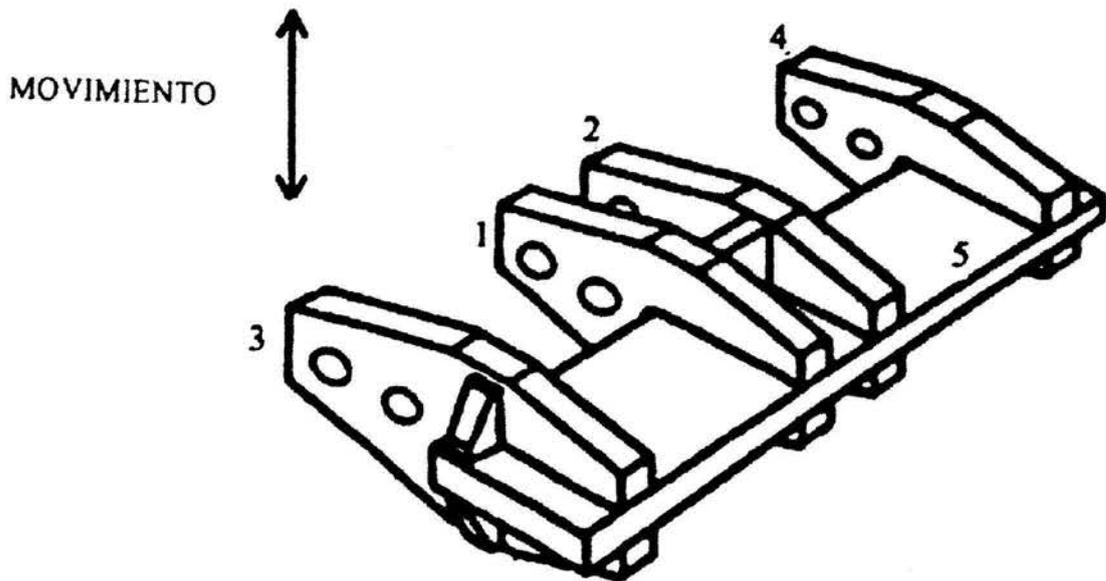


Figura No 14. Dispositivo a torsión.

Posteriormente Kelly realizó algunos estudios en 1977 en donde pudo observar que existe una zona crítica en el diseño de estos elementos y es en la unión entre los brazos del dispositivo y la placa que trabaja a torsión. Este estudio experimental consistió en probar un edificio de tres niveles provisto de

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA

aisladores de base. Las vigas a torsión se comportan elásticamente, y se plastifican cuando la excitación sobre pasa 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. El marco experimental se muestra en la figura No 15.

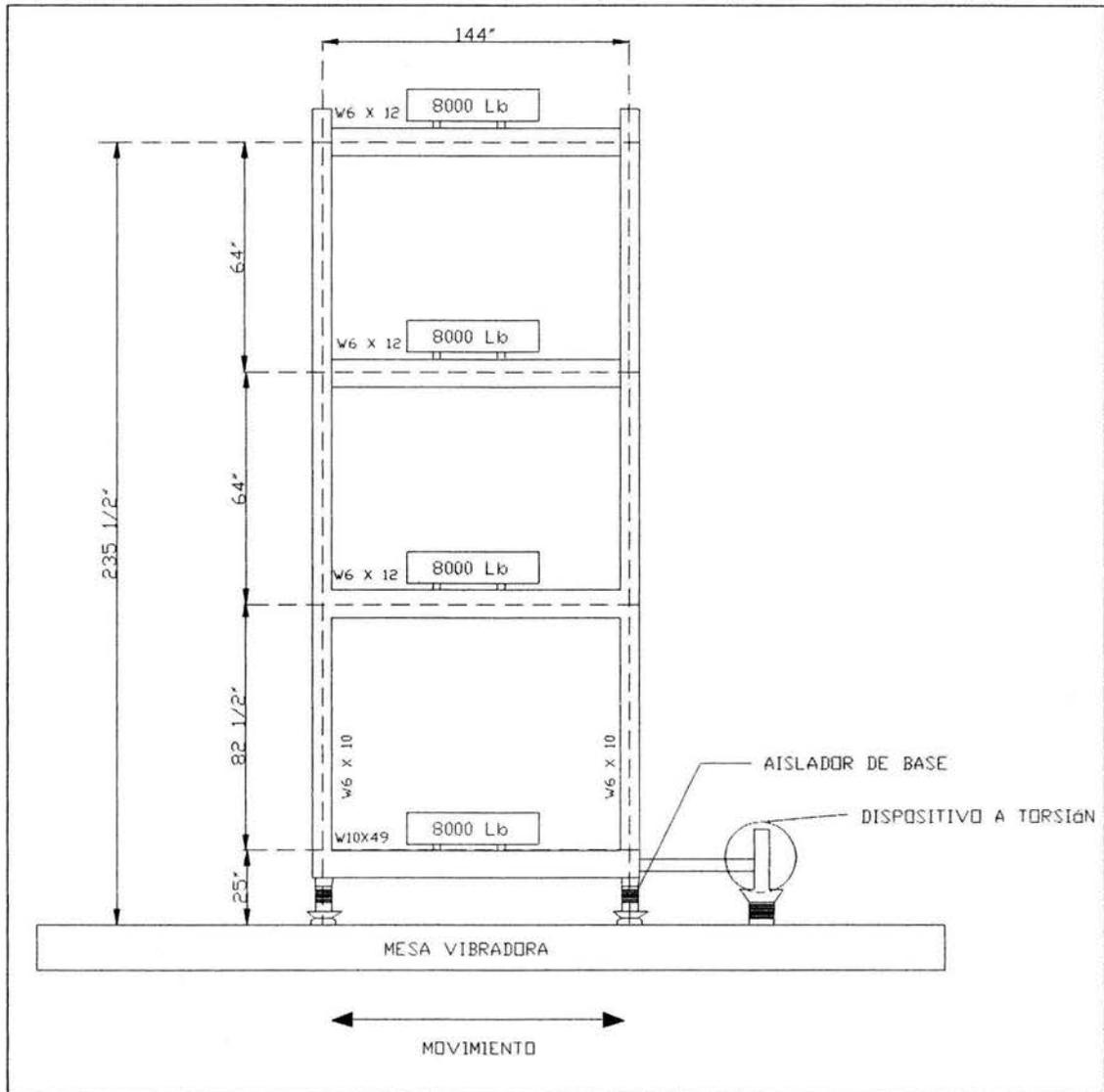
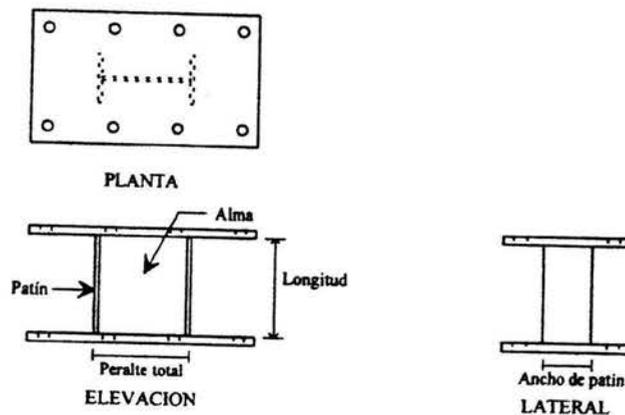


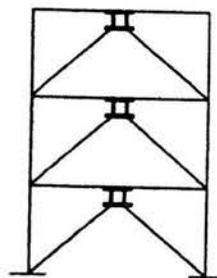
Figura No 15. Dispositivo a torsión colocado en un marco experimental.

### II.2.3. Disipadores por Cortante.

Este sistema logra la disipación de energía al deformarse inelásticamente la placa del alma por la acción del esfuerzo cortante. El sistema estructural de los brazos excéntricos (Popov 1980) es el precursor de los disipadores a cortante. La mayoría de los disipadores adoptan una geometría similar: sección en doble T con alma rigidizada. Popov observó que este sistema era de una gran ductilidad que permitía ciclos histeréticos estables y de gran capacidad disipativa siempre que la rigidización fuera correcta. Kasai y Popov en 1986 establecieron criterios simples para determinar la aparición de abolladura en el alma, los cuales han sido posteriormente validados para dispositivos disipadores. El arreglo de este dispositivo consta de un elemento de acero de poca longitud, de sección transversal en I, la orientación es a manera que la placa del alma coincida con la dirección de la aplicación de la carga. En la figura No. 16 se ejemplifica este tipo de sistema y su ubicación en un marco.



a) Dispositivo por cortante



b) Ubicación del dispositivo

Figura No 16. Dispositivo a cortante y su ubicación en un marco.

Existen los paneles de cortante que son placas de acero rigidizadas (Fig.No 17), este sistema que estudio Nakashima en 1995, nos menciona que la estructura de estos dispositivos cuenta con rigidizadores distanciados, esto obliga a espesores relativamente importantes para evitar el problema de la abolladura. Los aceros de alta ductilidad de bajo limite elástico (80 Mpa, 40 - 60% de alargamiento) se muestra de gran interés para permitir espesores mayores a igualdad de esfuerzo cortante, con una inferior necesidad de rigidización.

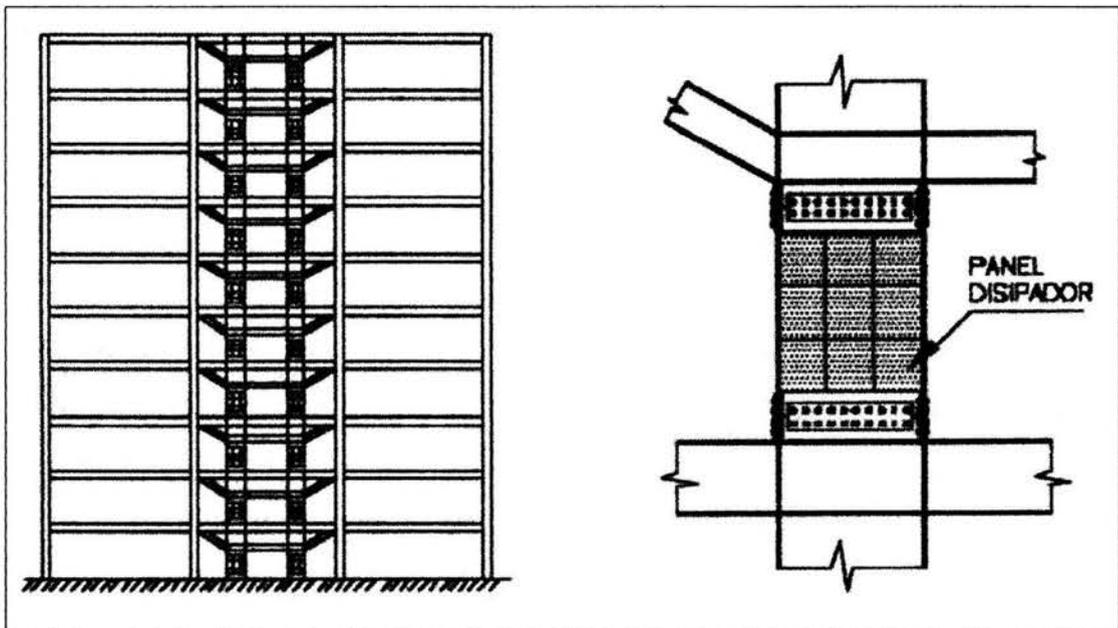


Figura No 17. Ubicación de los Paneles de Cortante en una estructura metálica porticada.

Se ha desarrollado en Japón un esquema de refuerzo sísmico usando un sistema de contraviento de acero en forma de Y invertida, el cual está conformado por contravientos que conectan un panel de cortante, en la parte inferior del claro medio de la viga. La finalidad de este sistema es que el comportamiento del panel alcance la fluencia por cortante ante la acción de un sismo severo, mientras que los elementos de la estructura, permanezcan dentro del rango elástico.

Estos sistemas se probaron en un marco de acero ante carga lateral cíclica alternada como se muestra en la figura No 18 y en la No 19 se presentan las características del mismo. El marco consistía de una cruja y de dos entrepisos provistos cada uno con un contraventeo en forma de Y invertida. Las vigas poseían suficiente rigidez y resistencia, y la cimentación se considero empotrada al piso. Se utilizaron dos tipos de dispositivos panel de cortante como elementos para resistir las fuerzas laterales.

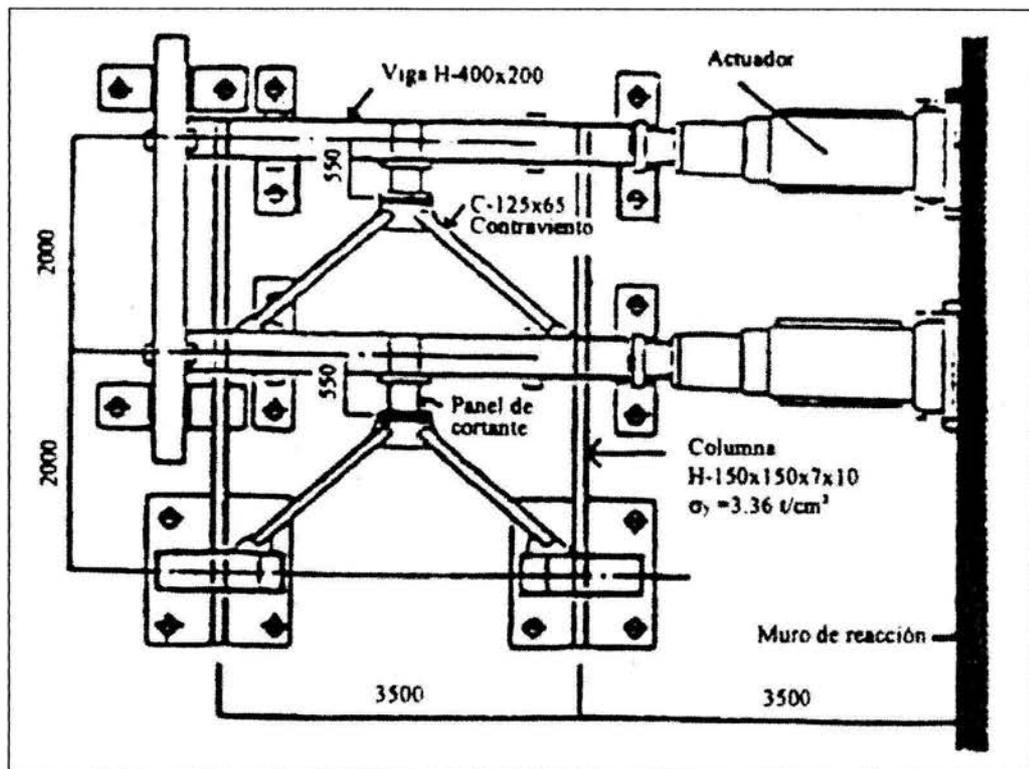
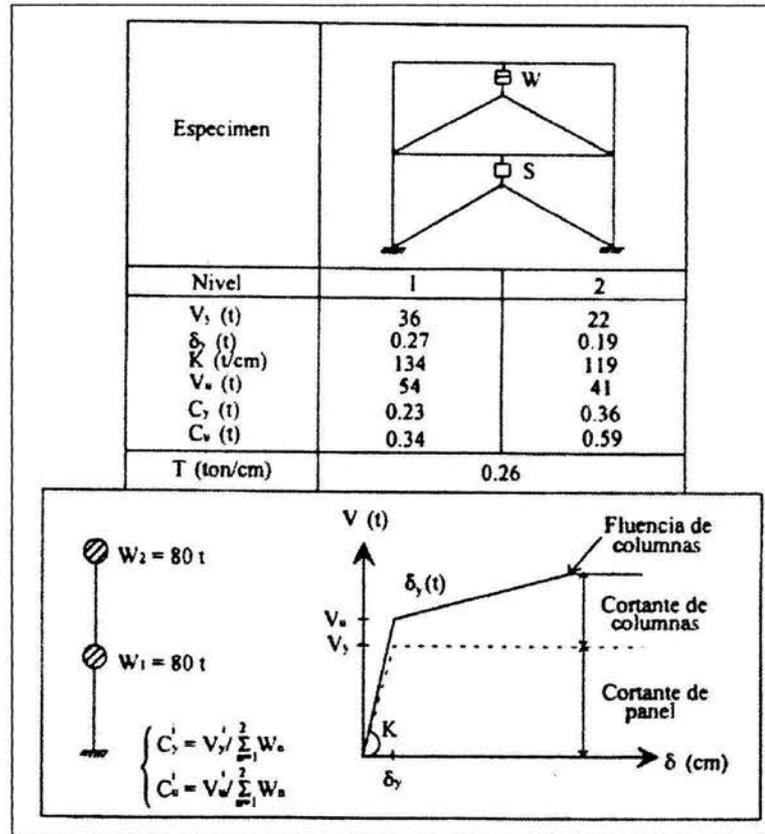


Figura No 18. Paneles de cortante en un marco de acero ante carga lateral cíclica.

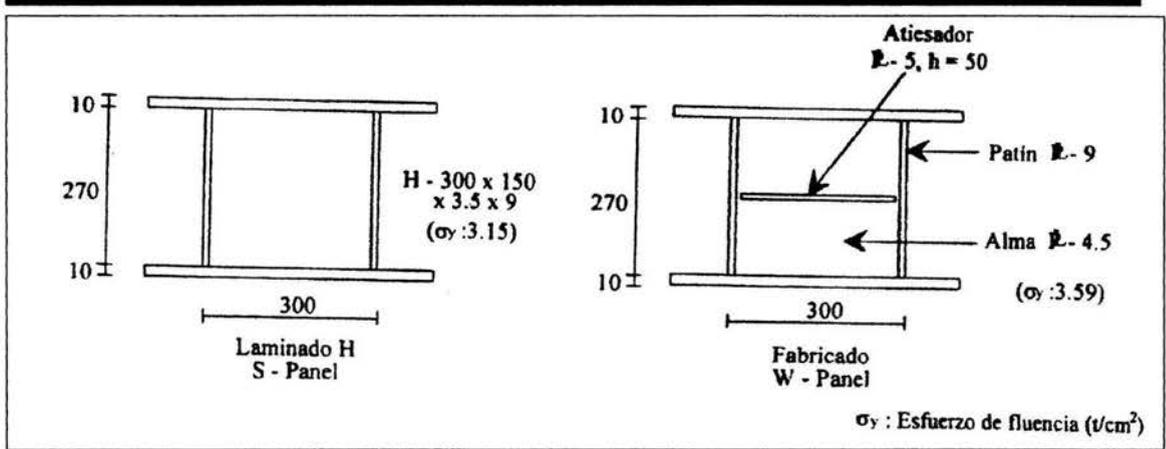
DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA



**Figura No 19. Características de un marco con disipadores tipo panel de cortante.**

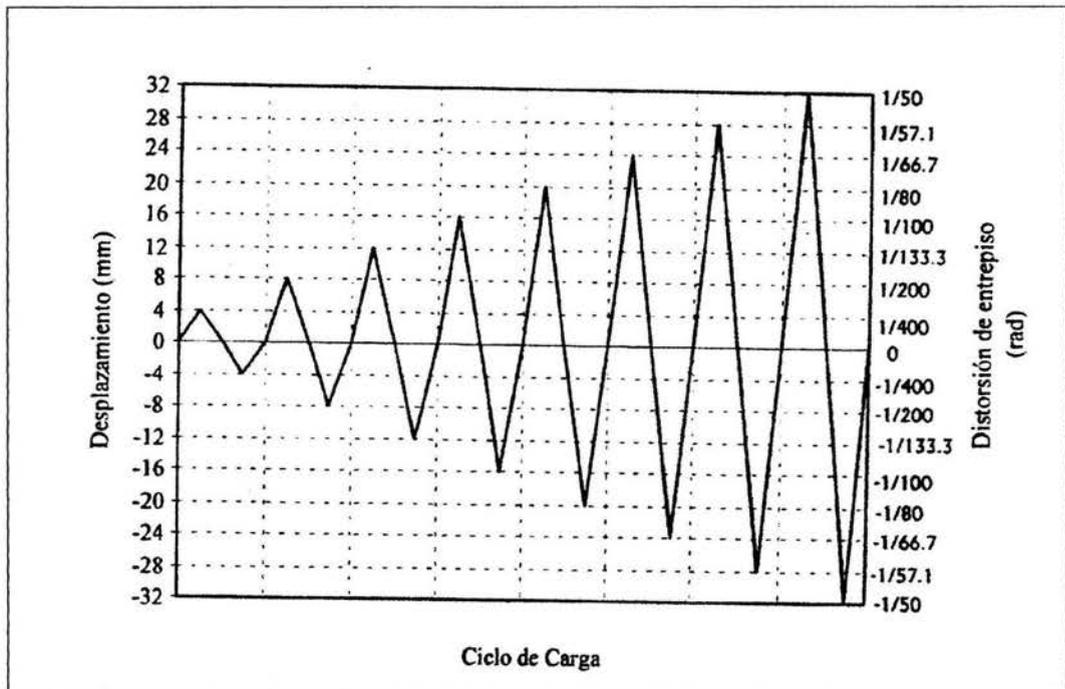
En la figura No 20 se muestran las características geométricas de los dos dispositivos que fueron empleados. Uno fue de perfil T rectangular (IR) laminado de alma gruesa (denominado panel S), y el otro también de sección transversal I, pero fabricado a base de placas soldadas (denominadas panel W), con la placa del alma esbelta y rigidizada con un atiesador transversal (horizontal). El panel S se instaló en el entre piso superior y el panel W en el inferior.

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA



**Figura No 20. Características de los dos tipos de disipadores que se utilizaron**

La historia de carga utilizada por Seki se muestra en la figura No 21, la cual consistió en aplicar desplazamientos cíclicos y reversibles, simultáneamente en cada piso, incrementándose de manera gradual en cada uno de los entrepisos fuera 1/50 (0.02).



**Figura No 21. Historia de carga.**

La curva fuerza cortante contra distorsión angular del primer piso se muestra en la figura No 22, en la cual se puede apreciar que la rigidez inicial comienza a decrecer gradualmente cuando se alcanza la fluencia por cortante del panel  $V_y$  (figura No 19), y posteriormente por la aparición del pandeo. Además muestra que no existen deterioros importantes de las fuerzas restitutivas a un cuando la distorsión angular del entrepiso alcance el valor de  $1/50$  (0.02), correspondiendo esta a una distorsión angular del panel de  $1/7$  (0.14).

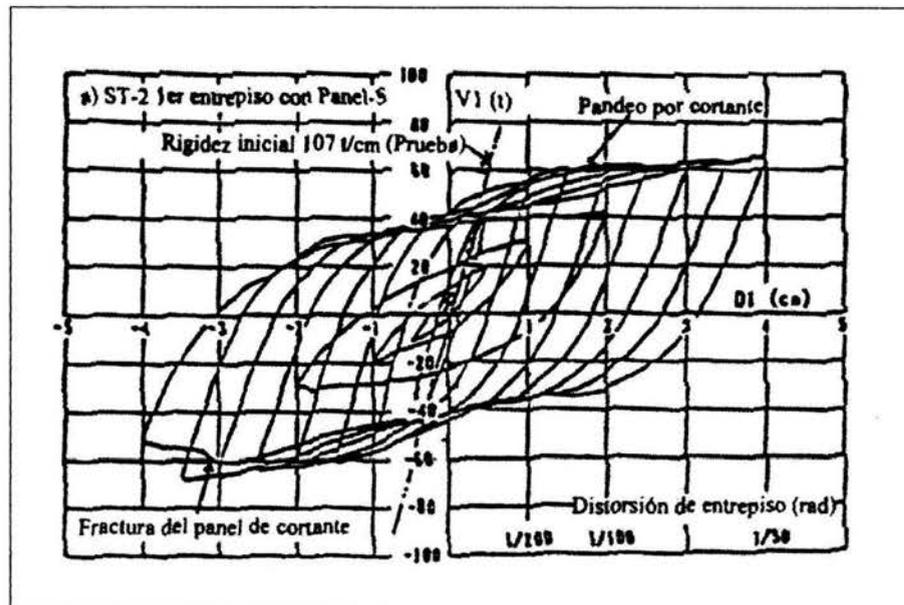


Figura No 22. Curva fuerza - desplazamiento del primer entre piso con panel S.

Sin embargo en el ciclo de distorsión igual a  $1/50$ , en el desplazamiento negativo, una parte del alma se fisuro o fracturo y la carga (capacidad resistente) comenzó a decrecer. Los patrones de deformación de los paneles de cortante en la última etapa de carga son mostrados en la figura No 23. El panel W, reforzado con un atiesador, sufrió menor daño que el panel S, a un cuando se aplicó la misma distorsión angular a los dos. Esto indica que la presencia de un atiesador en la placa del alma puede ser capaz de mejorar el comportamiento por pandeo. La resistencia máxima de las pruebas fue mayor que la resistencia última calculada  $V_u$  (figura No 19).

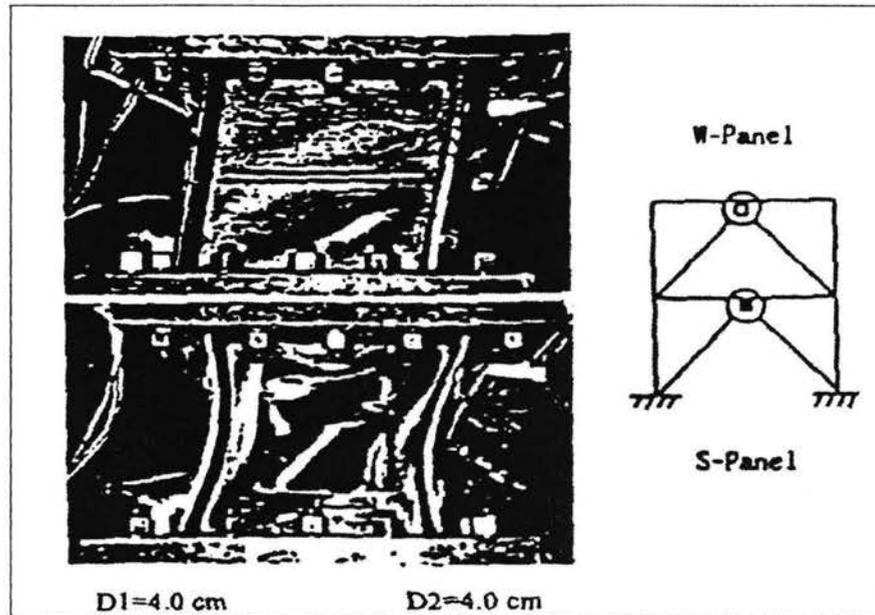


Figura No 23. Deformación de los dispositivos paneles de cortante.

Este incremento de resistencia se debe al endurecimiento por deformación del acero no se toma en cuenta en los cálculos. En general, de acuerdo con los resultados ante carga estática, este sistema de contraventeo parece tener una gran capacidad de disipación de energía a través de la fluencia por cortante de los paneles. En la figura No 24 se muestra que los resultados de la prueba estática podrían estar representados aproximadamente por medio del modelo matemático propuesto por Ramberg-Osgood.

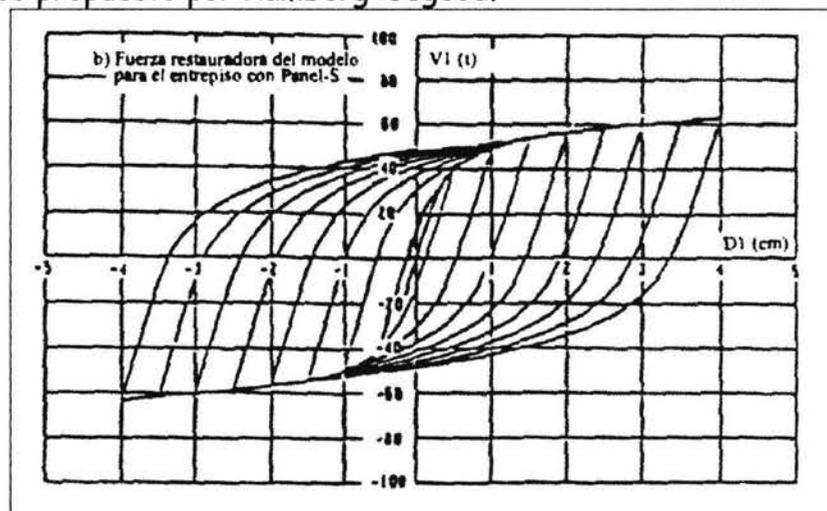


Figura No 24. Modelo matemático de la curva fuerza- desplazamiento del primer piso con panel S.

#### II.2.4. Disipadores basados en la Extrusión de materiales.

Este sistema permite la disipación de energía a partir de la extrusión del plomo, en la figura No 25 se ejemplifica la forma en que el plomo pasa por un orificio y al forzarlo a un cambio de sección disipa energía.

En este dispositivo se han hecho modelos de hasta 200 KN, apto para desplazamientos de hasta 10 mm y que disipa desde 0.05 mm, la curva histéretica se presenta sin modificaciones apreciables tras 144,000 ciclos a una amplitud de +/- 4 mm, según Monti en 1998.

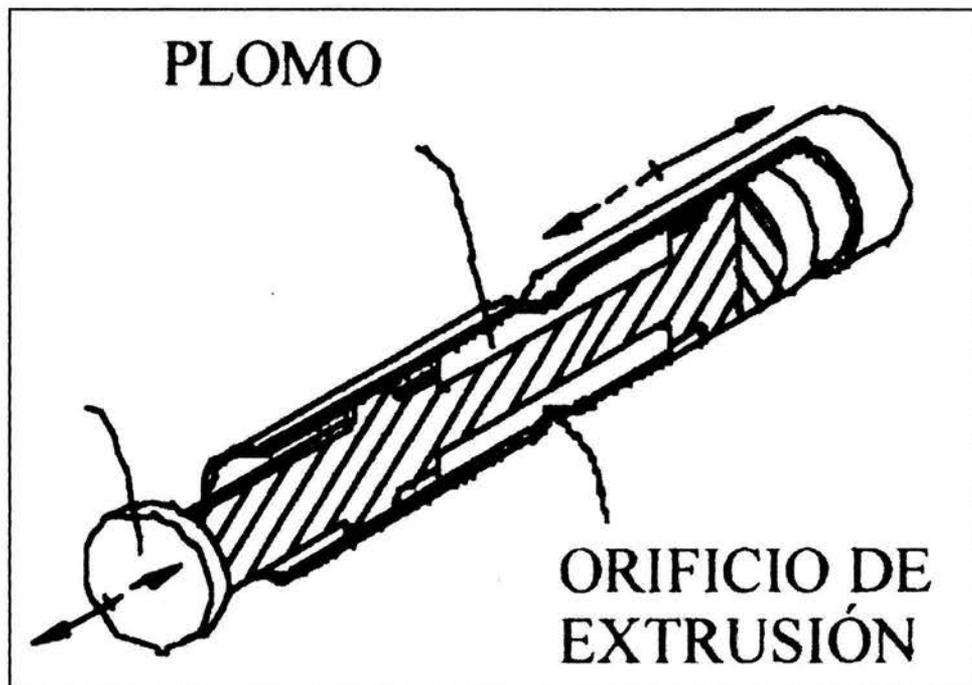


Figura No 25. Disipador por Extrusión.

Este sistema fue propuesto inicialmente por Robinsón y Greenbank en 1975 y 1976 para utilizarse en la construcción de dos puentes en Nueva Zelanda. Cuando se trabajo con este sistema Robinsón y Greenbank observaron que el dispositivo formado por un tubo de acero con plomo en su interior, se empezó a deformarse plásticamente y provocando que se disipara la energía y que al recuperar su sección original, se recristaliza y recupera sus propiedades iniciales.

El dispositivo fue sometido a ciento veintitrés ciclos de carga y descarga con ciclos histéreticos casi rectangulares y sin degradación apreciable, como se observa en la figura No 26.

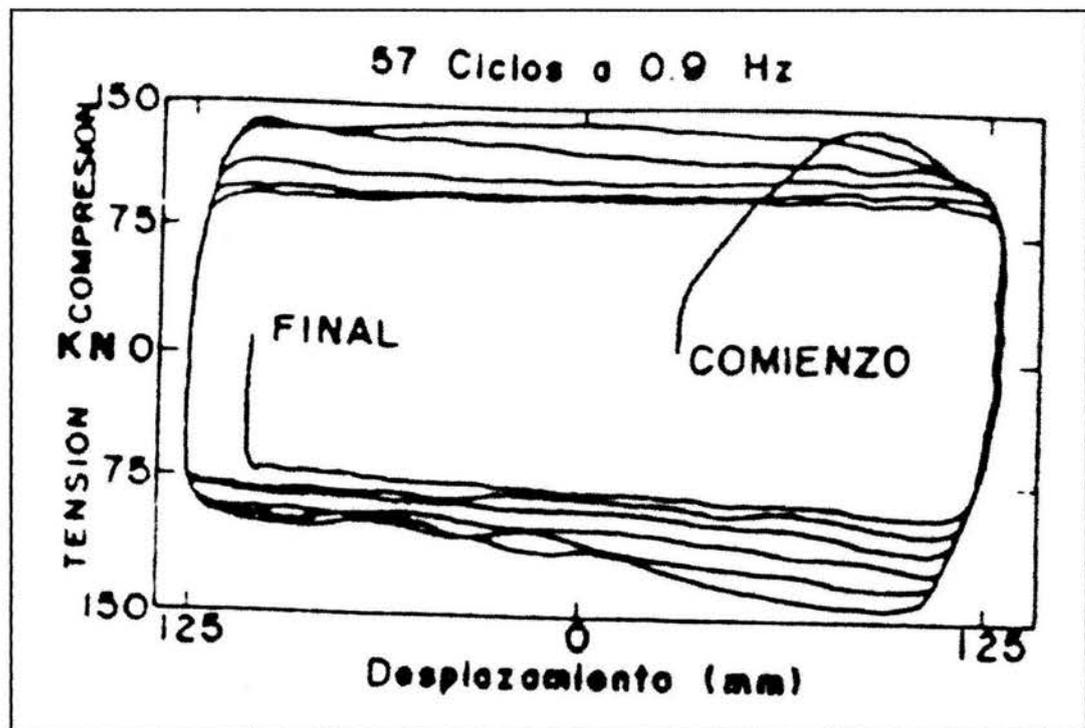


Figura No 26. Comportamiento histéretico del disipador por Extrusión.

### II.2.5 Disipadores por Fricción.

Los sistemas de fricción disipan energía, basándose en el rozamiento existente entre dos superficies en contacto bajo presión y en el deslizamiento entre ellas. La fuerza de fricción en cada conexión es igual al producto de la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento.

Pall y Marsh en 1982 propusieron un dispositivo que disipa por fricción que permite ser emplazado en la intersección de un arriostramiento en X (en contravientos), el cual se muestra en la figura No 27.

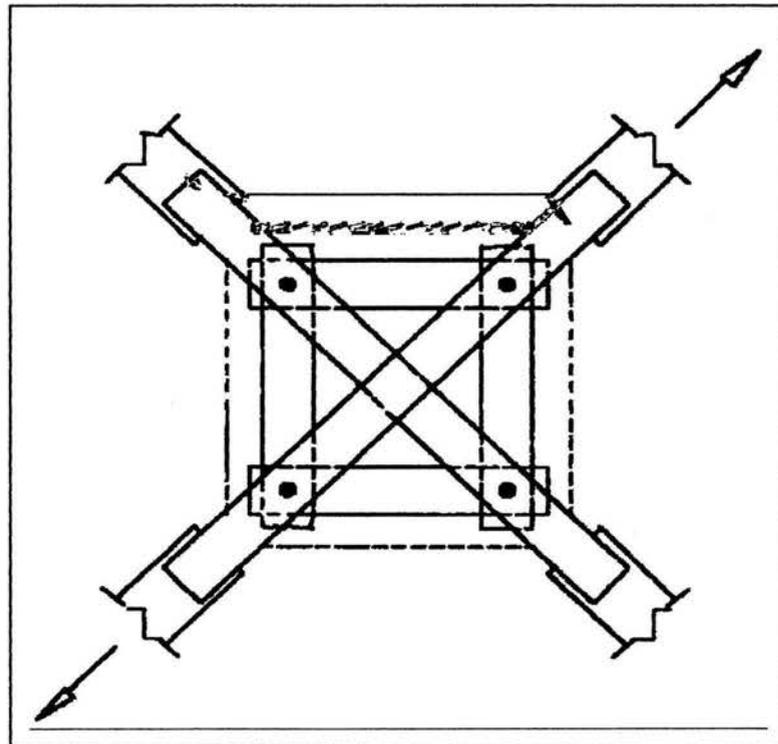


Figura No 27. Disipador por Fricción.

Este sistema consiste de elementos en contraventeo diagonal con una zona de traslape de fricción en su punto de intersección, los cuales son conectados por otros elementos de enlace horizontales y verticales. Estos miembros de enlace

aseguran que cuando el valor de la fuerza, aplicada por medio de los contravientos, sea suficiente para iniciar el deslizamiento en la diagonal de tensión, también se deslice la diagonal de compresión en igual cantidad en la dirección opuesta. La resistencia a la fricción del dispositivo depende altamente de una fuerza normal sobre la zona de deslizamiento, lo que se logra a través de un perno o tornillo en el cruce de los elementos diagonales.

En el cual las curvas histéreticas son prácticamente rectangulares como se observa en la figura No 28, con lo cual la energía disipada por ciclo es máxima para un determinado valor de la fuerza de deslizamiento. El mecanismo desliza ante una carga predeterminada, regulable a partir de la presión ejercida por pernos a través de una llave dinamométrica.

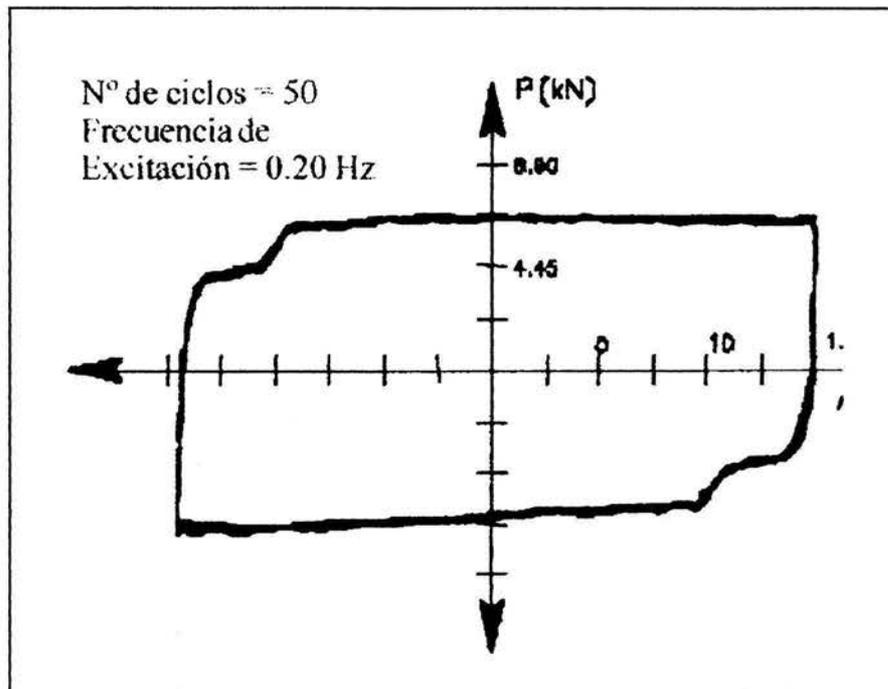


Figura No 28. Respuesta histéretica de un disipador por Fricción.

En 1996 Rao plantea un dispositivo de fricción para ser empleado como conector entre una estructura porticada y un muro de mampostería armada, y establecen también un método de determinación de la fuerza umbral que proporciona la respuesta estructural óptima. Este dispositivo se observa en la figura No 29.

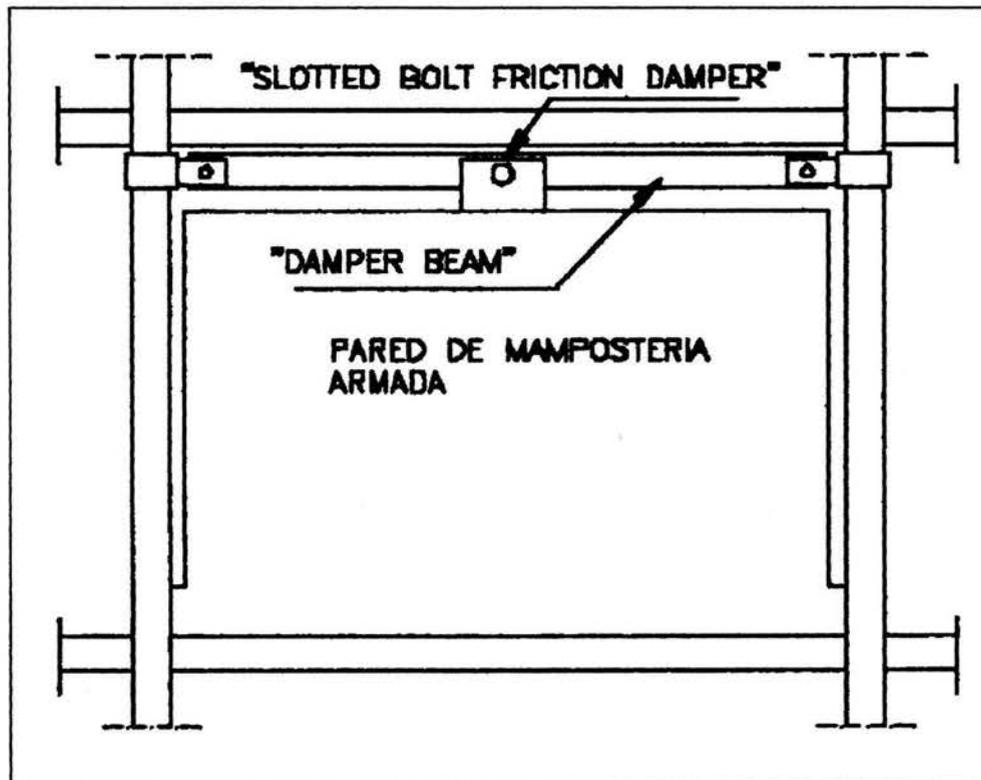


Figura No 29. Dispositivo por Fricción empleado en marcos

El mayor inconveniente que presentan estos disipadores es que el coeficiente de fricción, durante el desplazamiento, depende de la velocidad, de la presión normal y de las condiciones de las superficies en contacto. Por lo tanto resulta difícil garantizar un coeficiente de fricción independiente del tiempo y de las condiciones de los disipadores. Sin embargo, se ha observado que la variación del coeficiente de fricción durante el desplazamiento no afecta

significativamente a la respuesta estructural si la estructura permanece en rango lineal elástico, mientras que esta influencia puede ser significativa si esta entra en rango no lineal.

Kar en 1998 diseña un disipador de fricción de concepción distinta a los dos anteriormente descritos. Mientras los primeros generan la fuerza de fricción a través de uniones atornilladas, este disipador las obtiene a partir del deslizamiento entre una serie de anillos interiores y exteriores como se ejemplifica en la figura No 30.

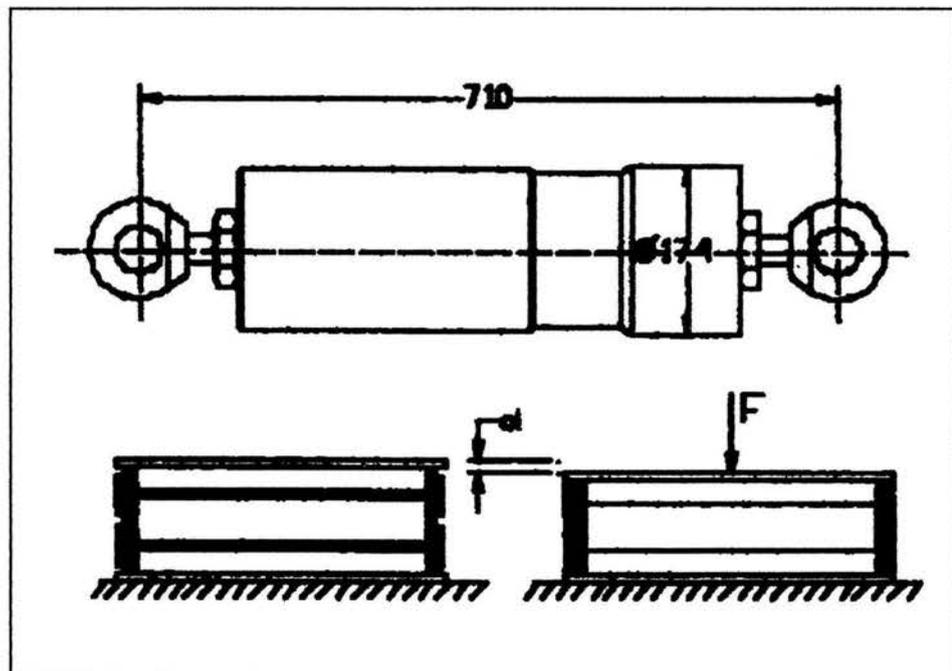


Figura No 30. Dispositivo por Fricción estudiado por Kar en 1998.

El deslizamiento va acompañado de un aumento progresivo de la presión entre las superficies en contacto de los anillos, debido a la interferencia que se produce entre estos durante su desplazamiento. Resultados de los ensayos efectuados mostraron que el comportamiento histéretico (figura No 31), resulta estable, repetible y predecible. Su acción sobre la estructura es autocentradora (self-centering), y su respuesta fuerza desplazamiento

resulta prácticamente independiente del contenido frecuencial de la excitación sísmica. Sus características mecánicas y geométricas permiten la incorporación del disipador en una diagonal rigidizadora o en un arriostramiento en X.

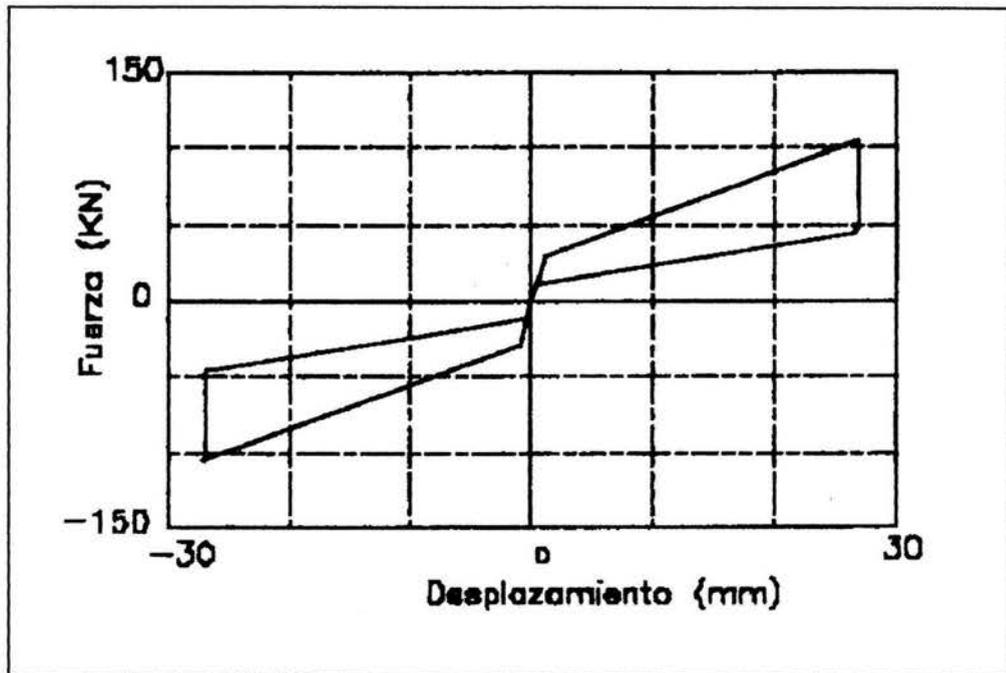


Figura No 31. Comportamiento histéretico de un sistema de Fricción.

Aquí en México el Ing. José Luis Sánchez Martínez es quien ha trabajado con el sistema de contravientos de fricción, utilizado para rigidizar la estructura, del Hospital 20 de Noviembre del I.S.S.S.T.E. (Fig. No 32), esto debido a los efectos de los sismos de 1985, y en la figura No. 33 se observan a detalle los contravientos de fricción.

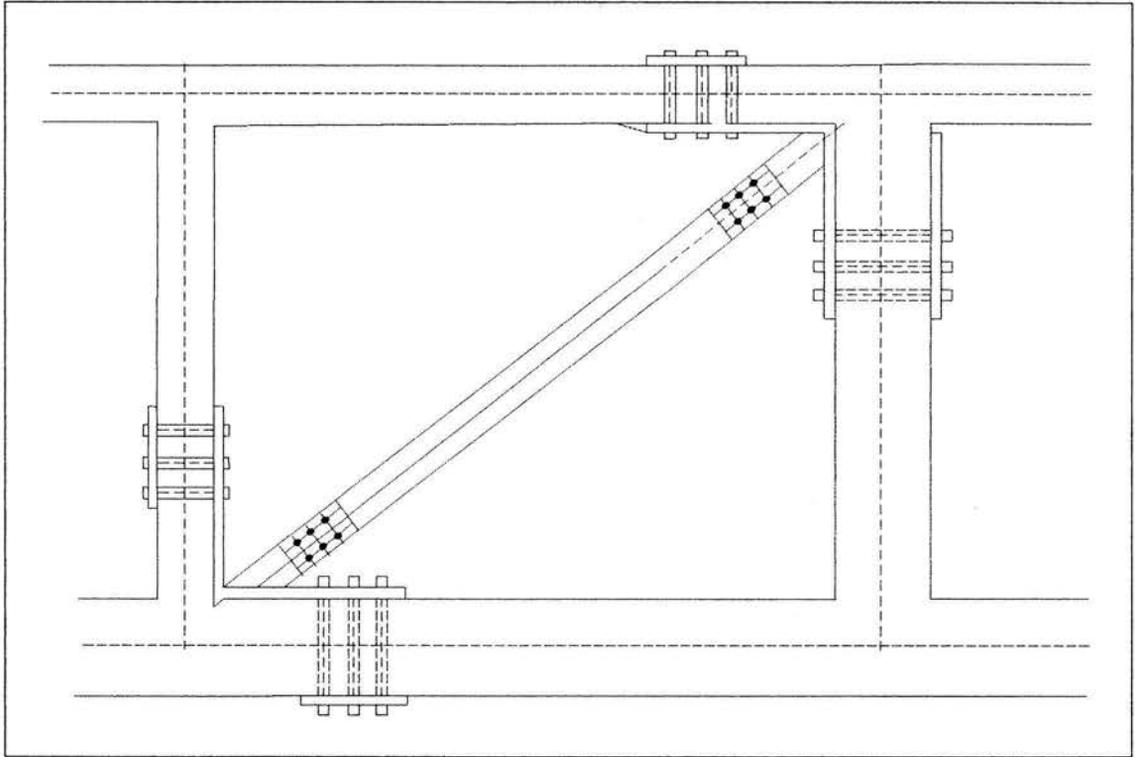


Figura No 32. Hospital 20 de Noviembre del I.S.S.S.T.E.



Figura No 33. Contravientos de fricción.

Este tipo de disipador de energía se coloca en los marcos en forma diagonal, como se muestra en el siguiente esquema de la figura No. 34.



**Figura No 34. Sistema de Contraviento por Fricción.**

Cuando se incorporan estos dispositivos provocan un amortiguamiento externo, para reducir las ordenadas espectrales, el cual es muy eficiente y que con un diseño adecuado se permite eliminar esfuerzos cortantes y de flexión en la estructura al convertirla al menos parcialmente en una armadura más rígida y sujeta a acciones que son esencialmente solo de tensión y de compresión.

### II.3 Disipadores Viscoelásticos.

Los disipadores viscoelásticos han sido empleados con éxito, durante los últimos treinta años, para reducir la respuesta de edificios altos ante la acción del viento. De forma más reciente se ha estudiado su utilización con fines sismorresistentes. Los disipadores viscoelásticos sólidos están formados por chapas metálicas unidas por capas finas de material viscoelástico como se muestran en la figura No 35 y presentan unos ciclos histéreticos característicamente elípticos, que se pueden apreciar en la figura No 36. Su acción disipativa se basa en el aumento del amortiguamiento estructural.

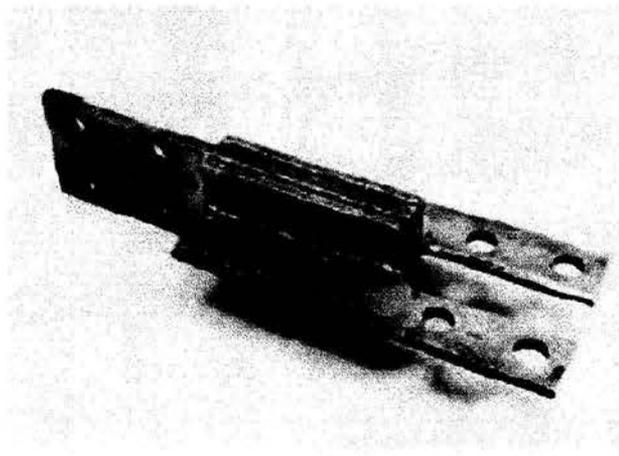


Figura No 35. Disipador Viscoelástico.

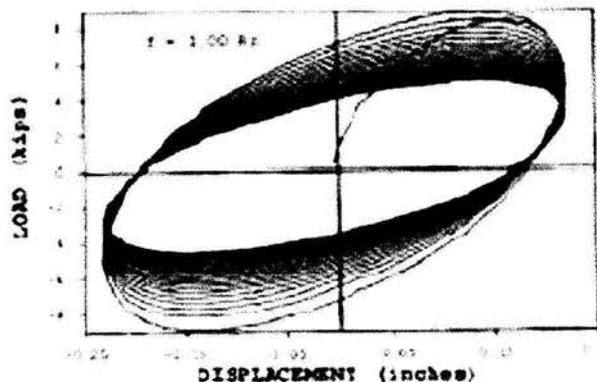


Figura No 36. Respuesta histéretica.

El comportamiento de estos disipadores es parecido al de los de fricción, pero su comportamiento es el correspondiente al de materiales viscoelásticos. Los estudios que realizó Lin en 1988, obtuvo resultados que muestran un fuerte incremento del amortiguamiento del marco y reducciones importantes en la respuesta, el dispositivo se muestra en la figura No 37 y su comportamiento histéretico se observo aceptable. Estos mismos resultados los obtuvo Aiken en 1990, donde se encontraron incrementos despreciables de temperatura en el material viscoelástico, generados durante la prueba.

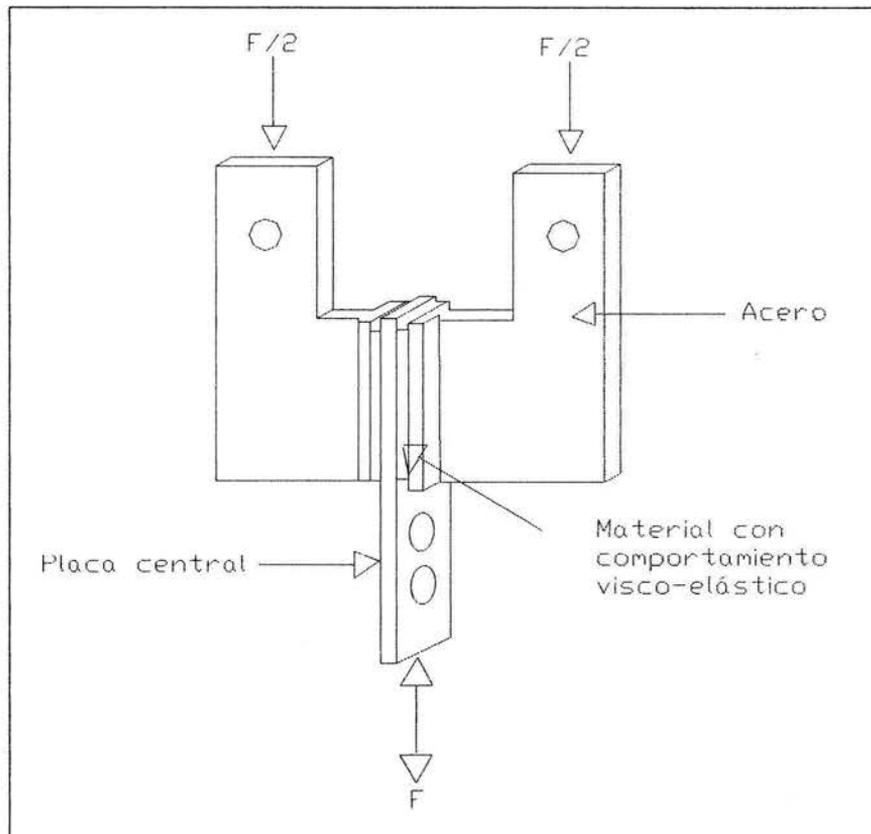


Figura No 37. Disipador Viscoelástico.

Otra opción que utilizaron Soong y Mahmoodi en 1990, fue la de estudiar el comportamiento de este sistema anterior, pero con la variante de variar la temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$  a  $35^{\circ}\text{C}$ . y dentro de los resultados que encontraron fue de que existe una fuerte dependencia del amortiguamiento con este parámetro, por lo que se debe tener especial cuidado en su evaluación.

Kirekawa y Asano en 1992 utilizaron un marco de acero de un nivel con un disipador viscoelástico de acrílico. La prueba experimental del marco arrojó curvas histéreticas muy estables, con buena capacidad de disipación, sin embargo se encontró que el amortiguamiento depende sensiblemente de la temperatura ambiente a la que se lleve a cabo la prueba.

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

Otra opción utilizando este sistema lo propuso Constantinou en 1993, probando un amortiguador consistente en un pistón de acero con un orificio de bronce que contiene en su interior fluido viscoso con comportamiento viscoelástico, la diferencia con respecto a otros sistemas del mismo tipo es de que reduce los desplazamientos laterales y los momentos flexionantes sin introducir fuerzas axiales importantes.

El análisis de un modelo de marco 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 que ocurrió en 1940 (del Centro). Estos dispositivos también se incorporaron en un puente, apoyado sobre aisladores, para incrementar su capacidad de disipación.

Los resultados muestran un incremento del amortiguamiento del sistema hasta un valor cercano al 50% del crítico. Una limitante de los dispositivos con este comportamiento histéretico depende de la frecuencia de excitación.

Descripción de los Disipadores de Energía tipo Amortiguador.

Este tipo de disipador de energía es en forma de un amortiguador que se coloca en los marcos, el Dr. Douglas Taylor es quien ha estudiado y desarrollado estos dispositivos, en su compañía llamada Taylor Device, especializada en la manufactura de amortiguadores industriales, militares y en la industria espacial. Estos dispositivos se empezaron a utilizar en 1897, originalmente para propósitos militares, pero en la actualidad estos dispositivos tienen muchas aplicaciones, una de ellas es para la prevención de daños en edificios, puentes y estadios a raíz de los efectos perjudiciales de un sismo o por efectos de viento. Este disipador se presenta en la figura No 38.

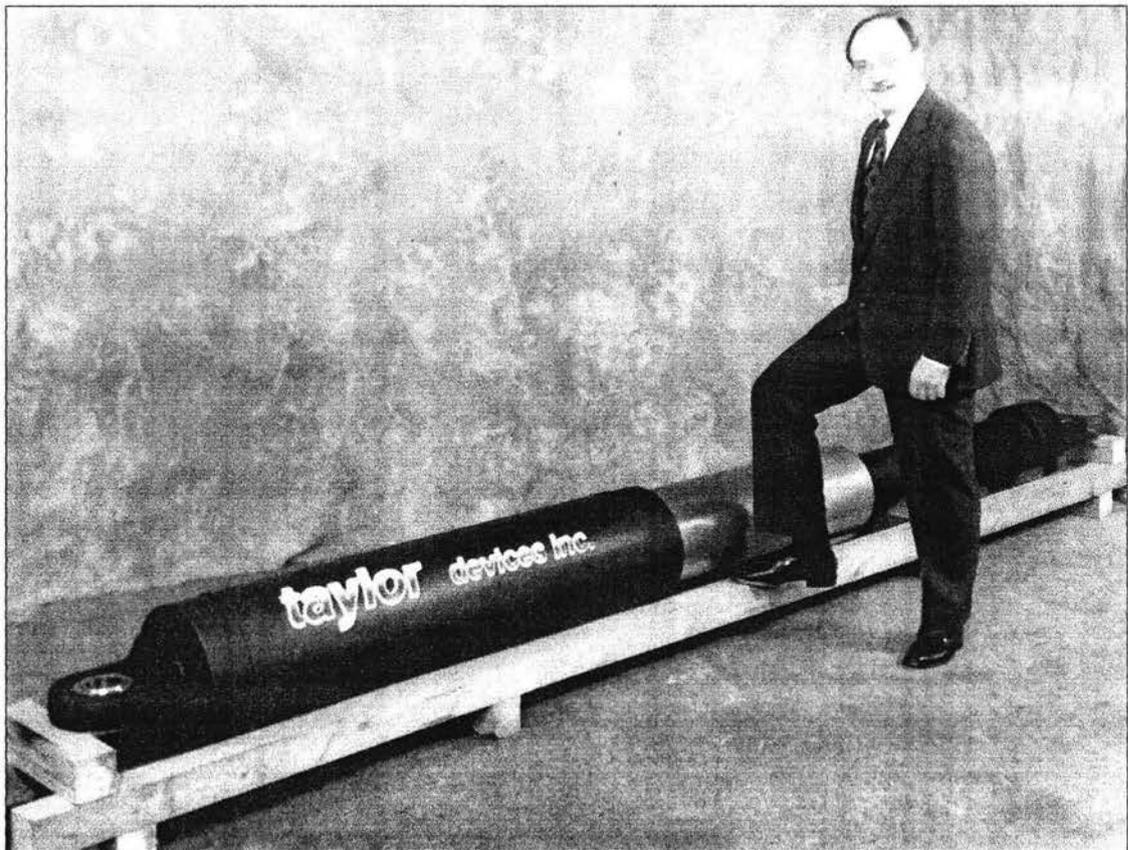
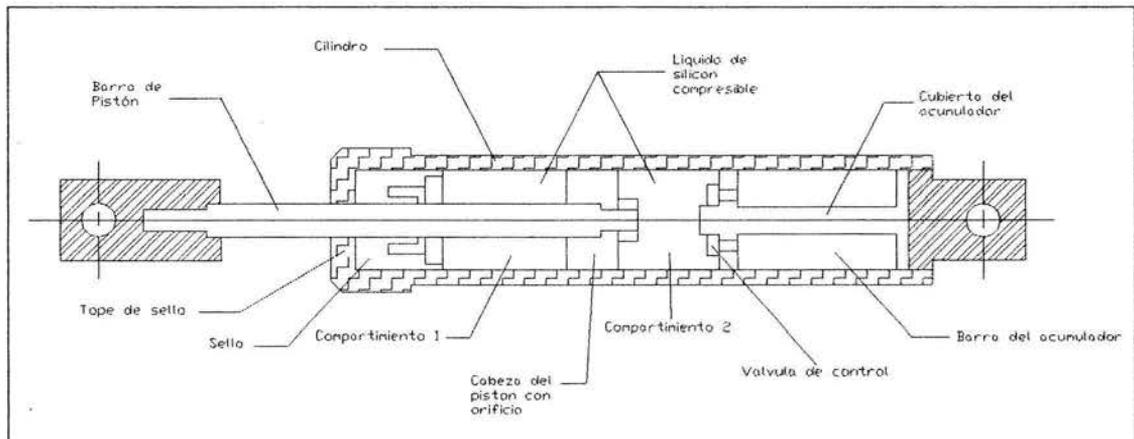


Figura No 38. Disipador tipo Amortiguador.

Este amortiguador se muestra en la siguiente figura 39, que consta de un pistón de acero inoxidable con un orificio de bronce, por lo cual el pistón se desplaza como un acumulador. El amortiguador se llena de en su interior de fluido viscoso con comportamiento viscoelástico, que viene siendo aceite de silicón, usado normalmente en la industria de los cosméticos, en lociones y en cremas. Este liquido es inflamable, no toxico ambientalmente seguro y que mantiene una temperatura estable. El amortiguador ha sido probado por los militares en temperaturas que van desde los  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+90^{\circ}\text{C}$ , con frecuencias de 0 a 200 hertzios y que ha sobre pasado los 10 millones de ciclos en su funcionamiento.



**Figura No 39. Elementos de un Amortiguador.**

Un amortiguador es un dispositivo que disipa energía aplicando una fuerza que resiste sobre un desplazamiento finito. La fuerza de la salida del amortiguador es resistente, por lo tanto actúa en una dirección opuesta a la del movimiento de entrada. Porque el amortiguador se comporta en acorde con las leyes de la mecánicas de fluidos, el valor de la fuerza que resiste varía con respecto a la velocidad de translación del amortiguador en cualquier punto en tiempo. La energía disipada por el amortiguador es igual a:

$$E_D = \int |F| dx$$

Donde F esta en función de la fuerza de salida y X el desplazamiento.

Los medios de la disipación de la energía son el del traspaso térmico, es decir, la energía mecánica disipada por el amortiguador causa una calefacción del amortiguador y de las piezas mecánicas, y esta energía térmica es transferida al ambiente por los mecanismos del transporte, generalmente convección y conducción.

Estos dispositivos se pueden utilizar en el proyecto de un edificio nuevo, o también para el reforzamiento de uno ya existente. Los amortiguadores sísmicos se pueden utilizar como refuerzos en diagonal colocados en los marcos, como se muestra en la figura No 40, que en este caso se trata de un edificio que se encuentra en San Francisco, California , E.U.A. es el San Francisco Civic Center, en donde se colocaron 292 Amortiguadores de refuerzo en diagonal.

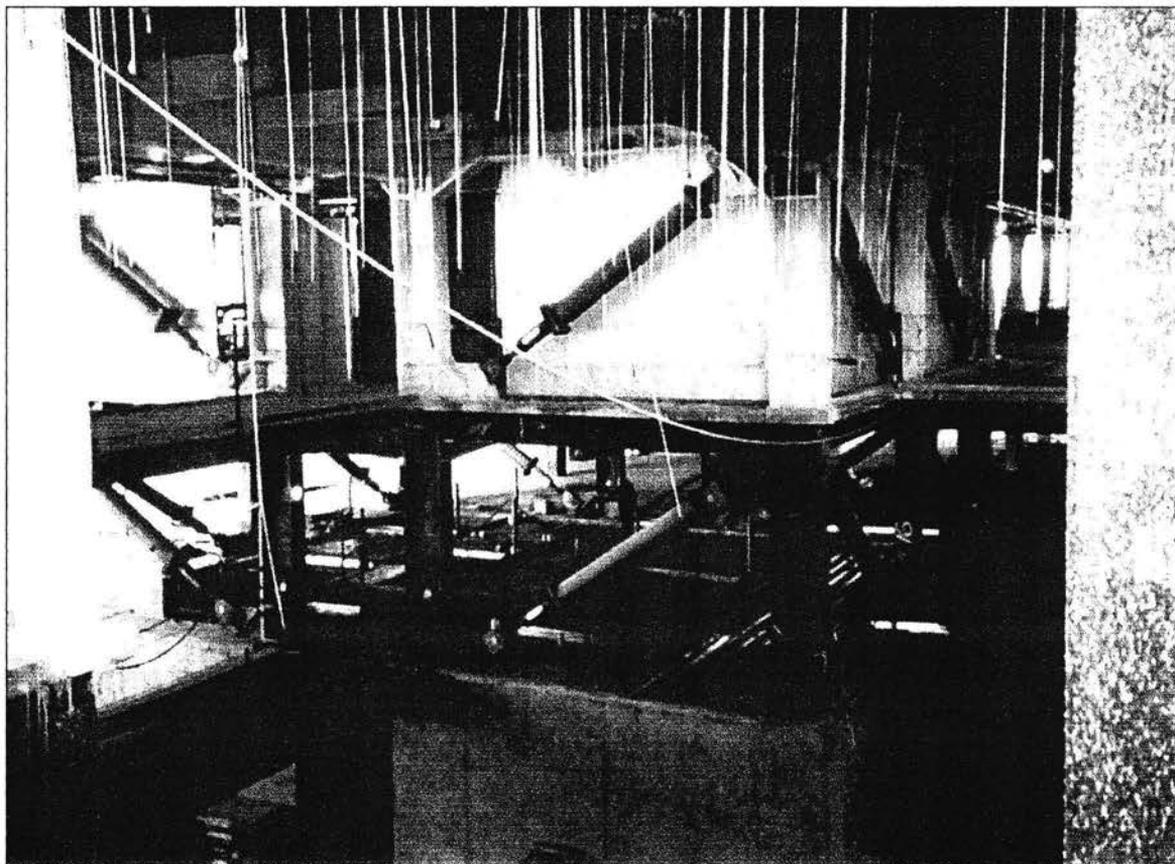


Figura No 40. Reforzamiento de marcos con amortiguadores.

También se pueden utilizar los amortiguadores en conjunto con aisladores de base, un ejemplo es el edificio Kaiser Corona Data Center en Corona, California en donde se utilizaron 16 amortiguadores y que se puede observar en la figura No 41.

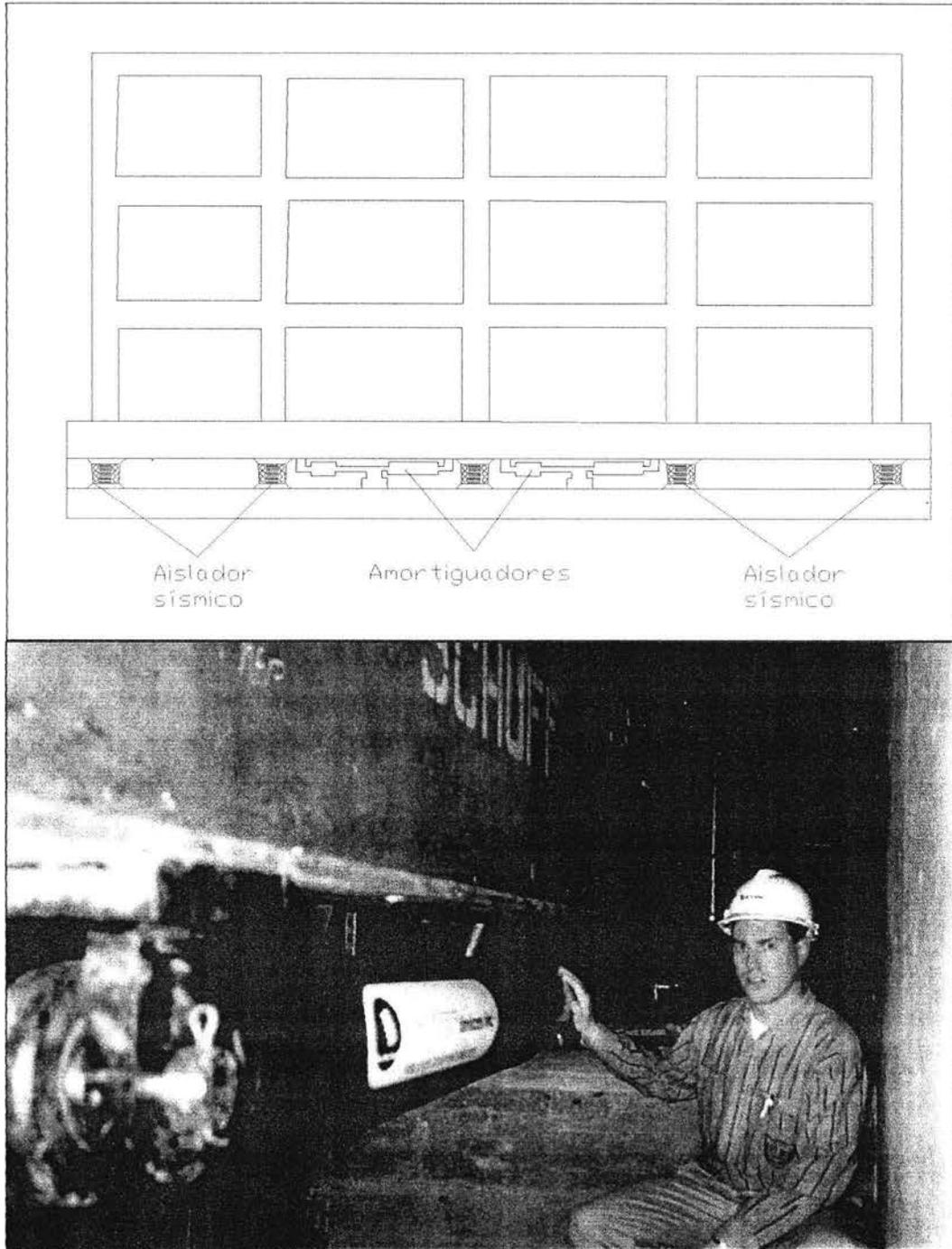


Figura No 41. Sistema de Amortiguador junto con un aislador sísmico.

Los amortiguadores se pueden usar como refuerzo en marcos tipo Chevron como se muestra en la figura No 42, los dispositivos disipadores de energía tienen una fuerza de 100,000 lbs. y un desplazamiento de +/- 2 pulgadas, en el cual se utilizaron 16 piezas, en un Hotel de Woodland, California.

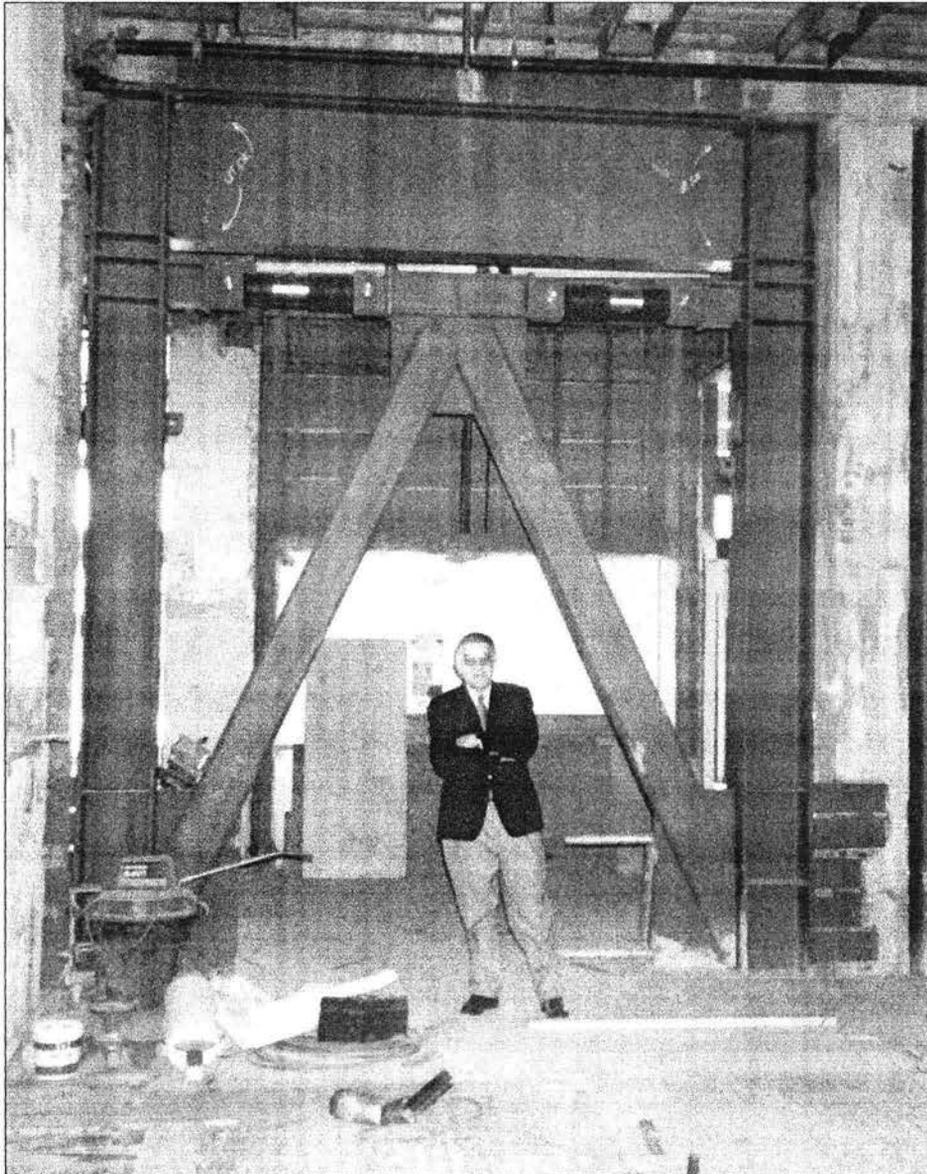
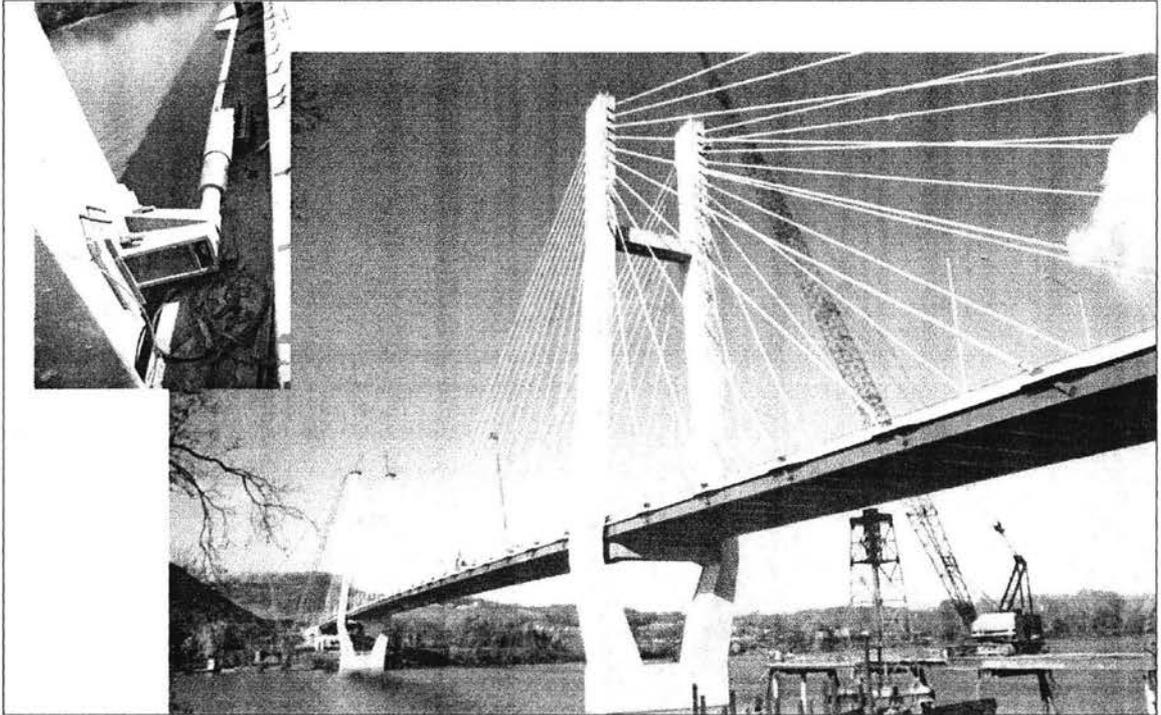


Figura No 42. Amortiguador colocado en un marco tipo Chevron.

Como se mencionó anteriormente, estos dispositivos se utilizan en puentes y en la figura No 43, se muestra la ubicación de un amortiguador sísmico, en un puente que se encuentra en Maysville Kentucky, Estados Unidos.



**Figura No 43. Amortiguador sísmico en un puente.**

En la figura No 44 se ejemplifica la aplicación de estos sistemas en un estadio de Béisbol en Seattle ,Washington.

Los disipadores de energía del tipo amortiguador que se utilizan en edificaciones, se colocan en forma diagonal en los marcos. Un ejemplo con este sistema es un edificio de oficinas ubicado en Boston Massachussets en E.U., en donde se utilizaron 40 amortiguadores y que se pueden observar en la figura No 45, en la que se aprecia la ubicación del amortiguador.

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
II.- TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA

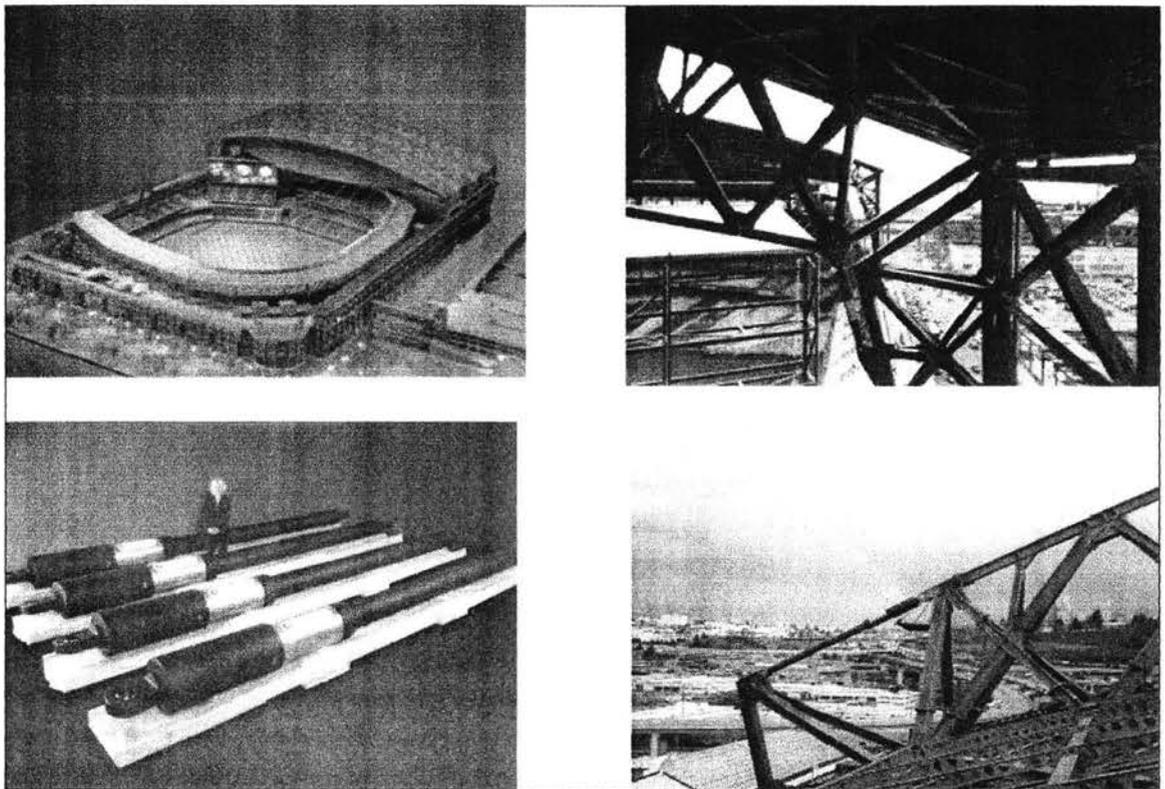


Figura No 44. Amortiguadores colocados en un Estadio.

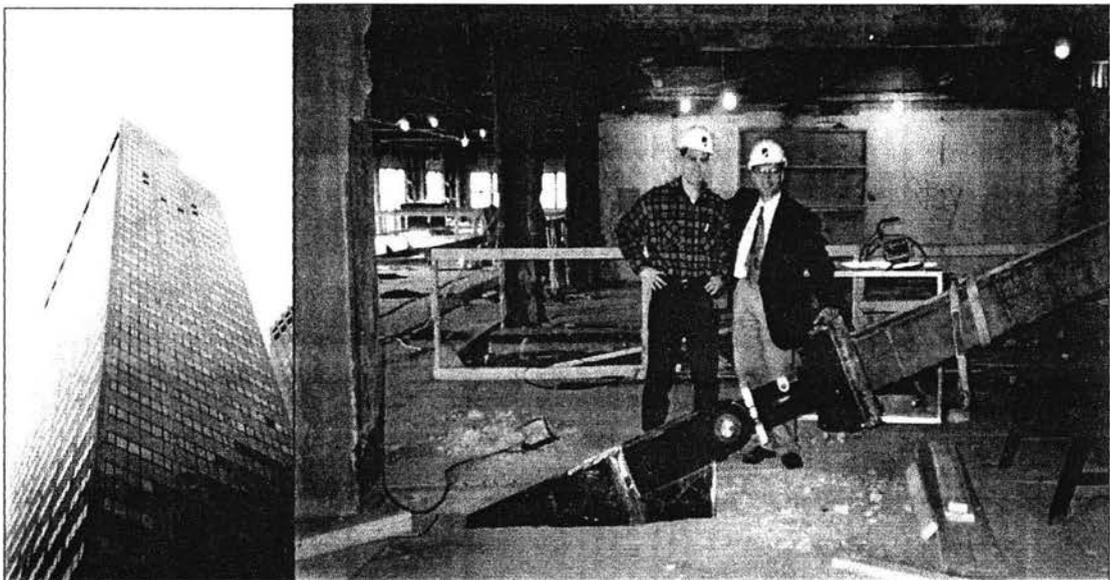
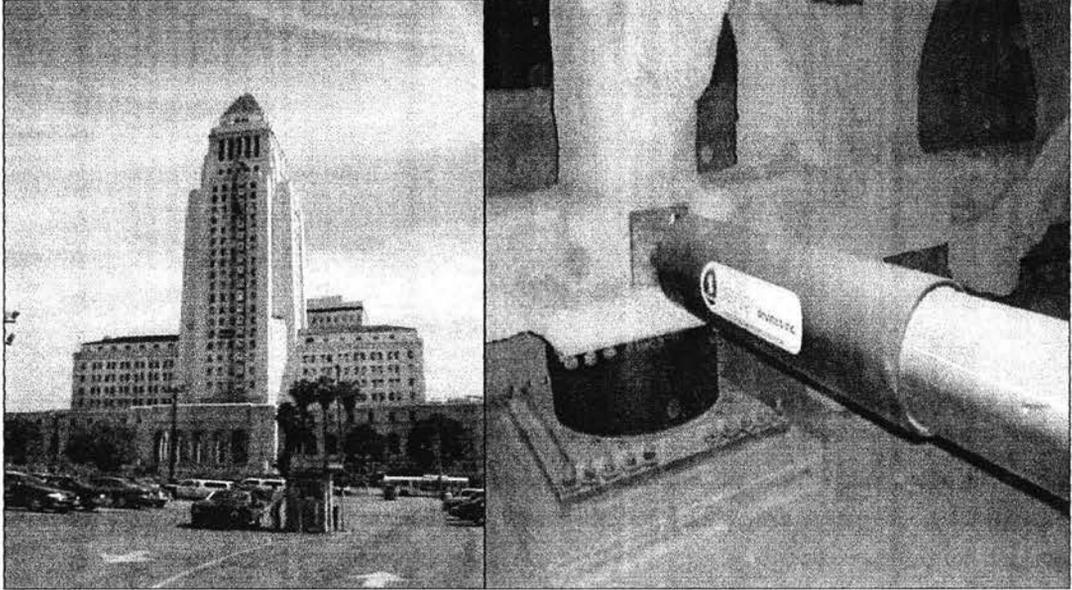


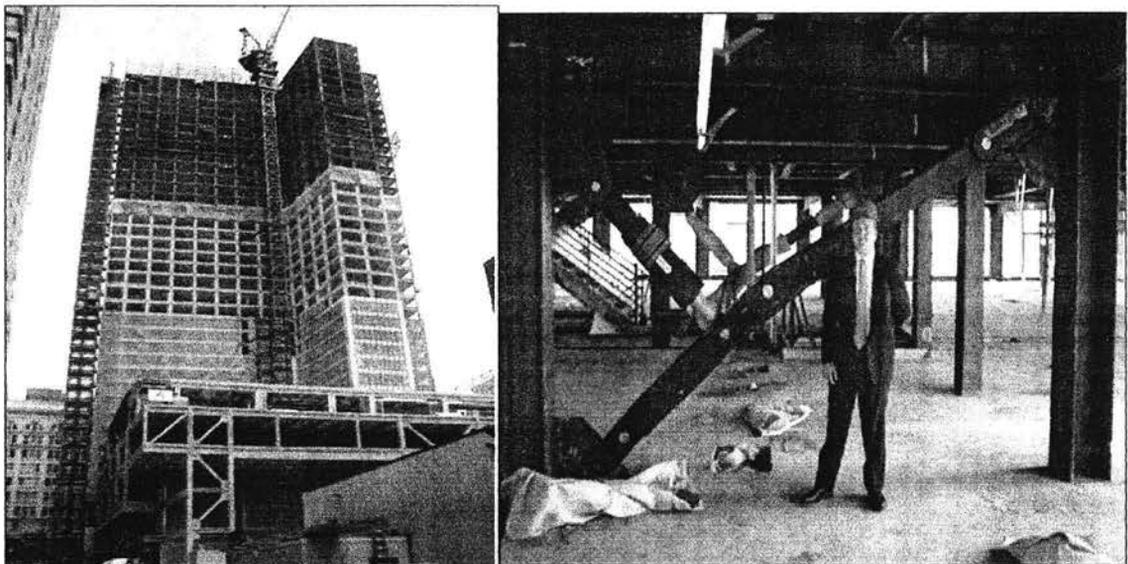
Figura No 45. Amortiguador colocado en un edificio.

Otro ejemplo de un edificio con este sistema para poder disipar la energía de un sismo, es el que se utilizó en un edificio llamado Los Angeles City Hall, en Los Angeles, California, E.U.A., en donde en la figura No 46, se muestra el amortiguador.



**Figura No 46. Amortiguador Sismico.**

Otro edificio que utiliza este sistema es el de Torre Yerba Buena, localizado en San Francisco California en E.U.A., y que en la figura No 47, se aprecia el sistema de amortiguadores para disminuir los efectos de un sismo.



**Figura No 47. Amortiguadores sísmicos colocado en marcos.**

En México estos dispositivos de tipo amortiguador se utilizaron en el edificio, Torre Mayor (Fig. 48), que se encuentra en la avenida Reforma en la Ciudad de México, estos disipadores tienen una fuerza de 280 y 570 toneladas, con un desplazamiento de +/- 2 pulgadas y se instalaron un total de 98 piezas, que se colocaron en los marcos formando diagonales, estos dispositivos se muestran en la No 49.



**Figura No 48. Edificio Inteligente Torre Mayor.**

Este edificio se inauguró en Junio de 2003, por lo que estos dispositivos son poco visibles, ya que como se puede apreciar en la siguiente figura No. 50, estos dispositivos se encuentran ya forrados de unos empaques de tipo metálico. La supervisión de estos dispositivos fue por parte del Ing. Enrique Martínez Romero.

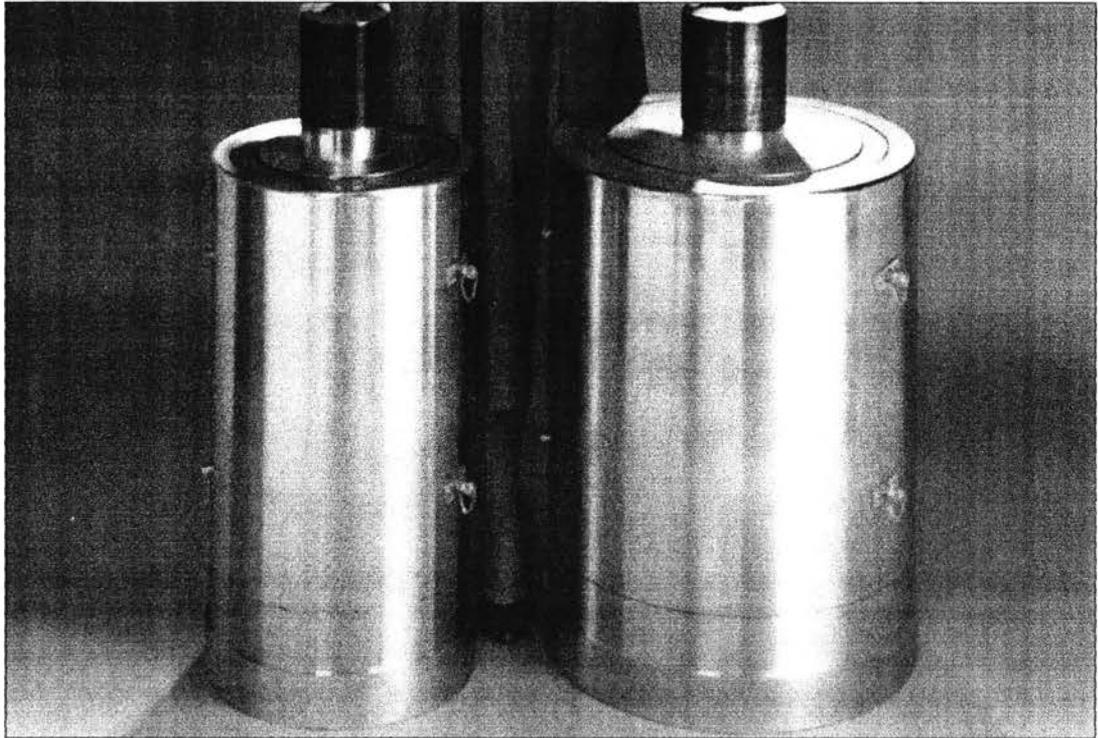


Figura No 49. Disipador tipo amortiguador utilizado en Torre Mayor.

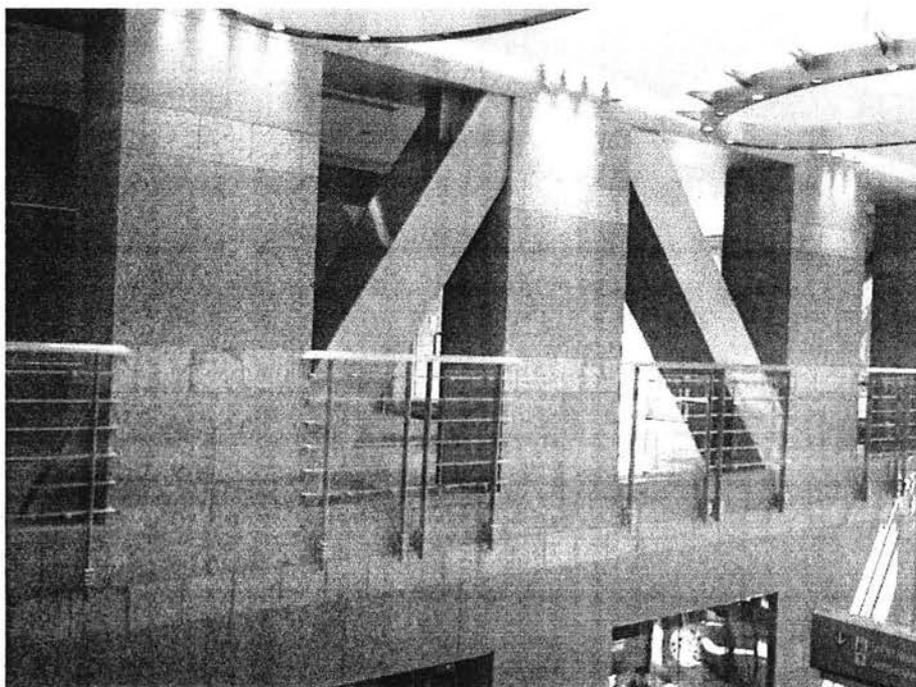


Figura No 50. Ubicación de los amortiguadores en el interior de Torre Mayor.

## Capítulo III.

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.

#### III.1 Disponibilidad.

Dentro de los disipadores de energía que están disponibles y que se han construido en México están los de comportamiento Histeretico formado por los de tipo flexión (ADAS) y de fricción (Contravientos de fricción). Y por parte de los disipadores de energía que trabajan con materiales de comportamiento viscoelástico, están los amortiguadores sísmicos.

#### Tipo ADAS.

Este dispositivo ADAS (Added Damping And Stiffness) son patentados por Bechtel Power, Co. De San Francisco, California. Aquí en México podemos mencionar que por ejemplo el edificio Torre Monterrey (Fig. No. 51), que esta ubicado en la esquina que forman Oaxaca y Monterrey en la Col. Roma, tiene instalado los disipadores ADAS.

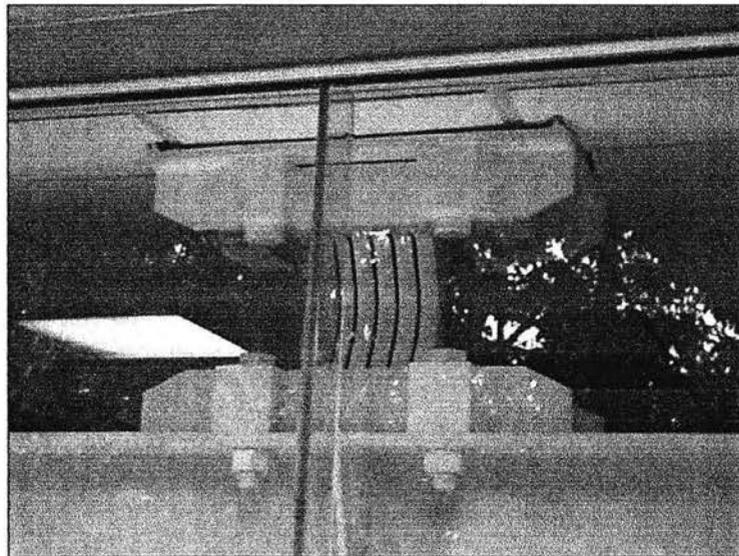


Figura No 51. Disipador tipo ADAS. Torre Monterrey.

Contravientos de fricción.

Para utilizar este dispositivo no se necesita pagar alguna patente, ya que se puede construir este disipador de energía, e incorporarse a una estructura, ya sea nueva o para el reforzamiento de alguna edificación. Por ejemplo aquí en México el Ing. José Luis Sánchez Martínez utilizó este dispositivo en el Hospital 20 de Noviembre del I.S.S.S.T.E. (Fig. No 52).



Figura No 52. Contravientos de Fricción. Hospital 20 de Noviembre del I.S.S.S.T.E.

Amortiguador sísmico.

Este tipo de amortiguador sísmico se tiene disponible en Estados Unidos, la empresa que se dedica a la fabricación de estos sistemas de disipación de energía es Taylor Device, Inc. , la cual se encuentra en North Tonawanda, NY, 14120-0748, con el número de teléfono 716-694-0800, Fax: 716-695-6015 o por la red [www.taylordevices.com](http://www.taylordevices.com). Para poder contactar a esta empresa que como se menciona en el capítulo II, tiene muchos patentes de distintos amortiguadores como el que se muestra en la figura No 53.

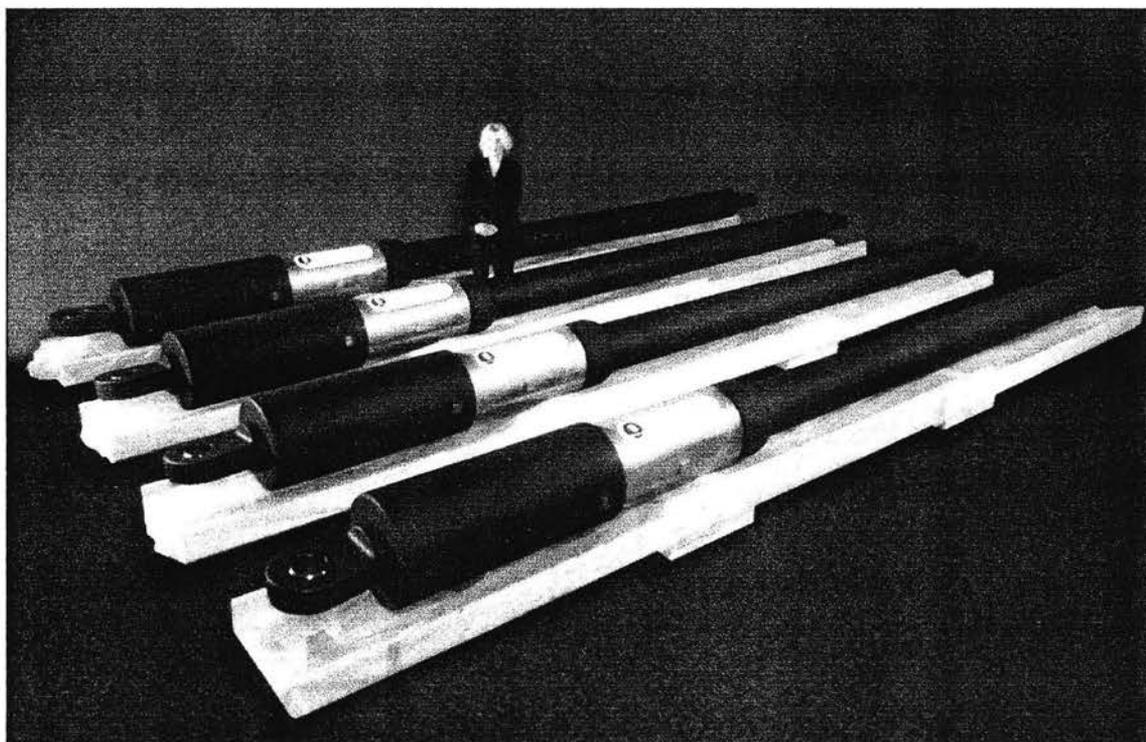


Figura No 53. Disipadores de energía tipo Amortiguador sísmico.

### III.2 Arquitectura.

Los disipadores de tipo *Flexión*. (ADAS. Fig. No 54) y de *Fricción* (contravientos de fricción. Fig. 55), se colocan en los marcos formando diagonales. Por lo que estos sistemas se pueden observar en los marcos de los edificios.

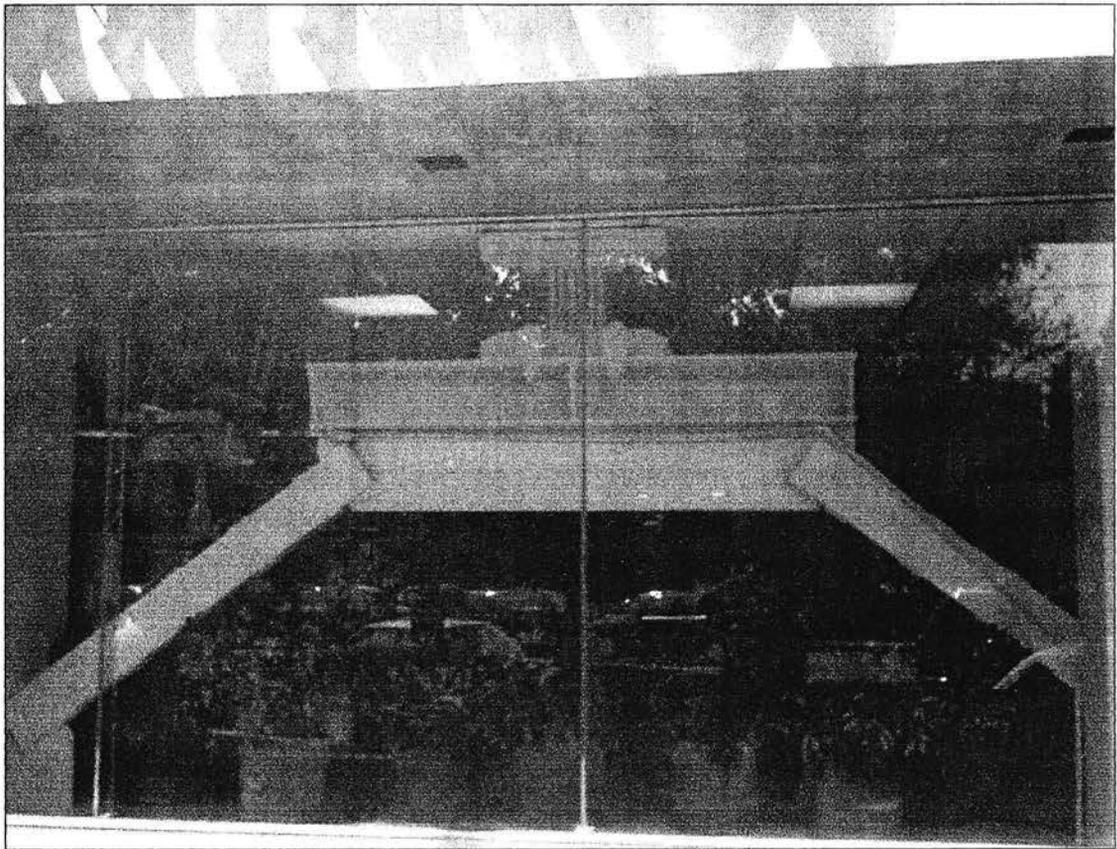
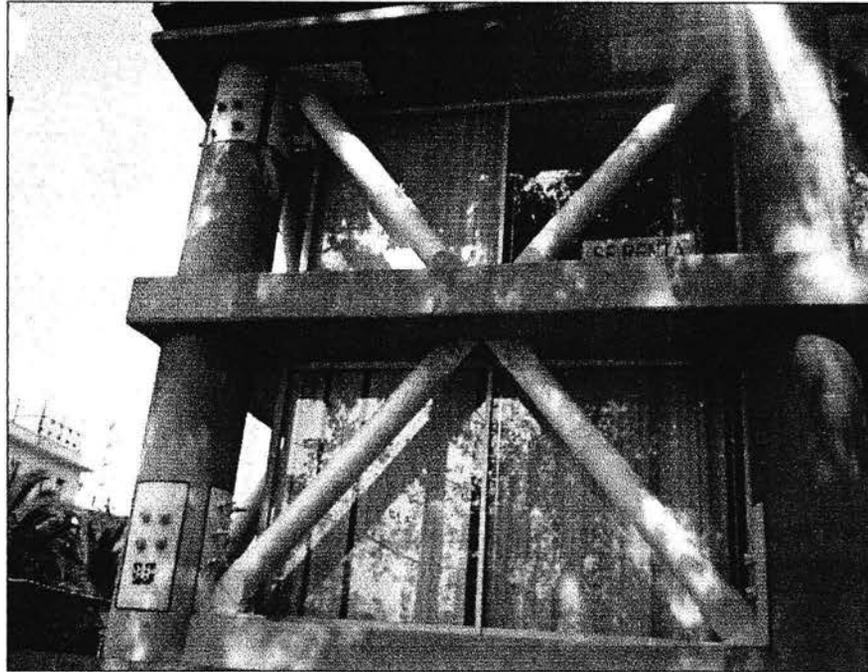


Figura No 54. Ubicación dentro de un edificio del Disipador tipo ADAS.  
Torre Monterrey.



**Figura No 55. Disipador de energía Contravientos de Fricción.**

La ventaja que tienen estos dispositivos en cuanto a espacio o habitabilidad se explica con un ejemplo que se describe a continuación:

En el capítulo anterior se menciona un Hotel que se encuentra en Acapulco, el cual tiene 28 pisos, y que al proyectar el edificio de concreto reforzado se estimaron grandes demandas de resistencia y de ductilidad, que el diseño sismorresistente pedía, y que daba como resultado una estructura demasiado robusta, lo cual se expresa en grandes dimensiones de las columnas, que reducían los espacios habitables y que afectaba el funcionamiento arquitectónico. Por lo que la solución fue una estructura de acero incorporando disipadores de energía tipo ADAS. La ventaja que se tuvo comparando la primera opción de concreto reforzado y la estructura de acero con los disipadores fue que se tuvo una ventaja arquitectónica y aumentaba las áreas habitables en un 8%, por tener menor sección de columnas en esta segunda opción.

Amortiguador sísmico.

Estos sistemas se pueden colocar también en los marcos, como se puede observar en la siguiente figura No 56, se trata de un edificio que se encuentra en Sacramento California E.U.A., en donde se utilizaron 62 amortiguadores sísmicos, con una fuerza de 30,000 lbs. y un desplazamiento de +/- 2 pulgadas, y que estos dispositivos están a la vista dentro de las instalaciones del edificio.

Cuando se instalan los amortiguadores junto con los aisladores sísmicos, estos dispositivos ya no se pueden observar tan fácilmente ya que generalmente se encuentra en la base del edificio. Un ejemplo que podemos mencionar es el edificio que se encuentra en Hayward California, (Fig. No 57) en donde esta el sistema de amortiguador junto con un aislador sísmico, en donde se utilizaron 15 piezas con una fuerza de 320,000 libras y un desplazamiento de +/- 24 pulgadas.

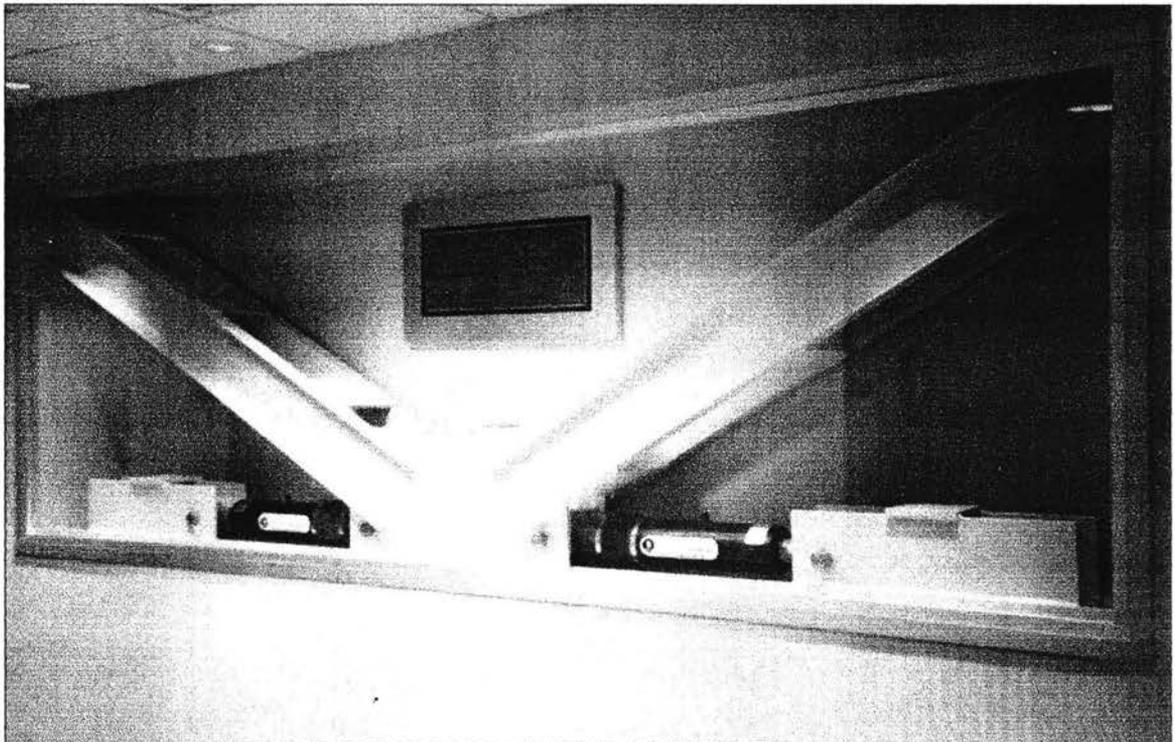


Figura No 56. Amortiguador sísmico en edificaciones.

Por ejemplo en la figura No 58 se muestra el interior de Torre Mayor donde están los amortiguadores sísmicos, los cuales se empaquetaron con unas cubiertas metálicas.

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
III.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA



Figura No 57. Amortiguador, instalado junto con aisladores sísmicos.

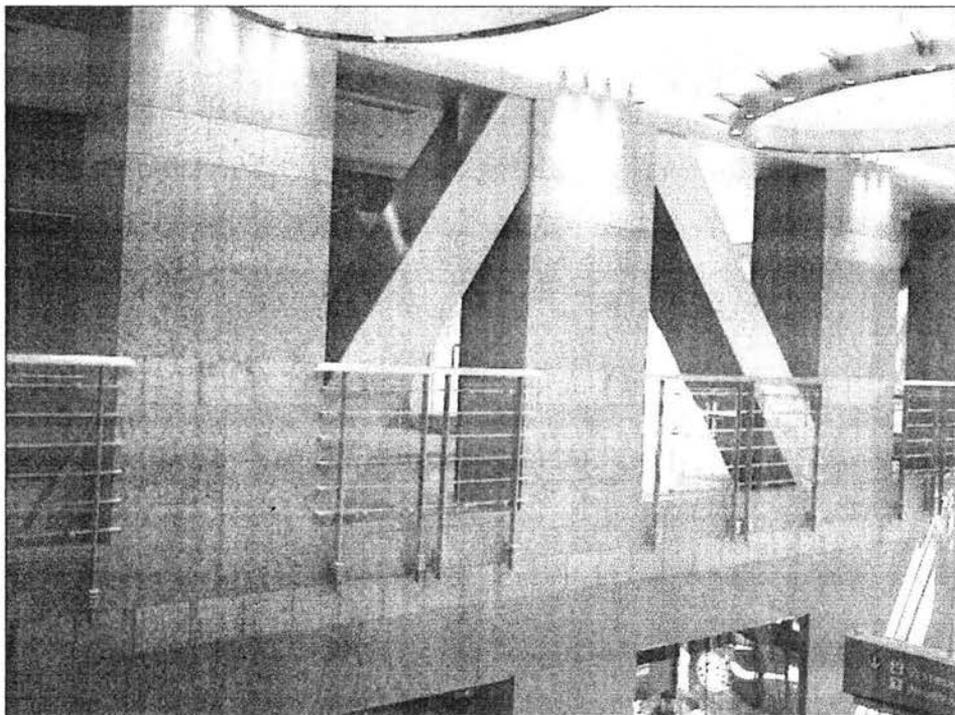


Figura No 58. Interior de Torre Mayor. Aspecto de los Amortiguadores.

### III.3 Funcionalidad.

El concepto básico es que la energía se disipe a través del trabajo que desarrollen estos dispositivos y no por el comportamiento dúctil de los elementos de la estructura.

#### Tipo ADAS.

El comportamiento de este tipo de disipador ADAS (fig. No 59), es bueno ya que se tiene un respaldo de investigación y experimentos, además se ha observado que las edificaciones a las cuales se les a incorporado este sistema han tenido un comportamiento sísmico aceptable.

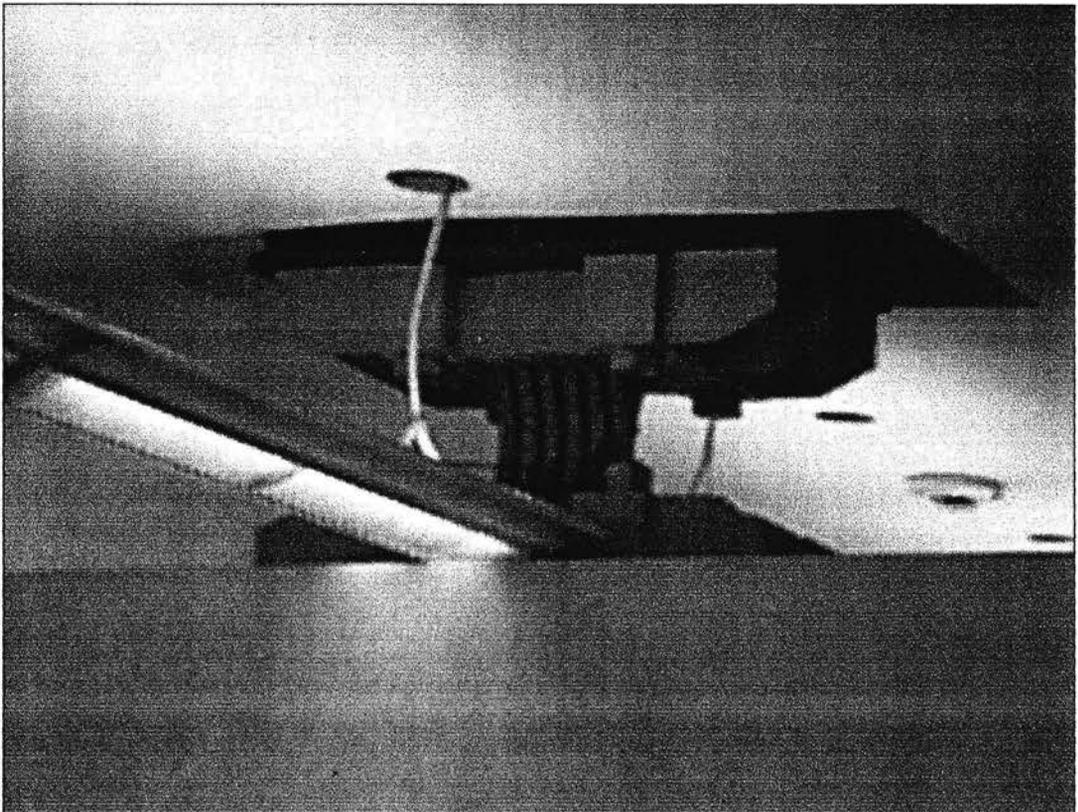


Figura No 59. Disipador Tipo ADAS.

Por experiencia las ventajas que tienen estos sistemas según las observaciones del Ing. Enrique Martínez Romero son las siguientes:

1. Se logra tener un amortiguamiento interno que funciona como una primer línea de defensa y además se tenga la reserva de la ductilidad de los elementos.
2. Se logra la no-degradabilidad de las uniones de vigas a columna por incursiones frecuentes dentro de sus rangos inelásticos, al no utilizar las reservas de resistencia propias de la ductilidad de los sistemas continuos.
3. Se pueden lograr menores secciones transversales de los elementos estructurales al no quedar controlado el diseño por deformaciones laterales, lo que implica menor cantidad y costo del material utilizado.
4. Al simplificarse la conexiones viga-columna y reducirse la cantidad de material en la estructura, se reduce considerablemente el costo global de las estructuras y sus cimentaciones respecto a construcciones del tipo convencional, con igual resistencia.
5. Los resultados de los análisis dinámicos no-lineales confirman que la demanda de deformación no-lineal impuesta en los miembros estructurales, bajo condiciones de eventos sísmicos extraordinarios (último), es limitada, lo que implica una mayor confiabilidad estructural de su comportamiento sismorresistente, que de inmediato se traduce en una protección a la vida de sus ocupantes potencialmente mayor, y eventualmente conduce a un menor costo de las primas de coberturas de seguros contra terremotos.

Dentro de las desventajas que presentan estos dispositivos están:

1. EL proceso de análisis y diseño de estructuras con amortiguamiento suplementario reviste una alta complejidad. La modelación matemática

de los amortiguadores o disipadores de energía involucra fuerzas y desplazamientos que no guardan una relación lineal entre sí; el coeficiente de amortiguamiento es en algunos casos función del desplazamiento y en otros de la velocidad con que se desplazan sus componentes durante un evento sísmico.

2. La parte más difícil de un proceso de diseño es decidir cual será el sismo de diseño a utilizar, y conocer sus características (historia de aceleraciones o acelerogramas, de velocidades y de desplazamientos, con lo cual se pueden inferir su contenido de energía y consecuentemente su magnitud).
  
3. Aunque existen programas en el mercado que permiten modular correctamente estructuras con amortiguadores o disipadores de energía, (SAP 2000, ETABS6, DRAIN2X, entre otros), es muy común cometer errores en la correcta introducción de los datos, si uno no esta familiarizado con la lógica del programa. De igual manera, la interpretación de los resultados que se obtienen de los mismos demanda de un gran cuidado y es necesario cuestionarse su validez haciendo pequeñas variaciones en el modelo y analizar si los nuevos resultados "hacen sentido".
  
4. Este enfoque de diseño estructural resistente a temblores no esta totalmente avalado por los reglamentos actuales, los cuales si bien no lo prohíben, tampoco especifican la forma de utilizarlo. Por ello, para lograr la aprobación de las autoridades de una entidad y el permiso para realizar la construcción, es indispensable demostrar analíticamente que el enfoque adoptado es sano y su desarrollo analítico conduce a factores de seguridad no menores que los que pretende dar el Reglamento en cuestión. Demostrar lo anterior requiere en muchas ocasiones, en especial cuando se trata de proyectos que revisten cierta importancia, de la participación de otro ingeniero en estructuras competente, experimentado y con una mentalidad abierta a nuevos conceptos y enfoques tecnológicos, para efectuar una revisión de los cálculos, de los criterios empleados y de los resultados obtenidos.

Tipo Fricción.

Estos sistemas trabajan bien para reforzar estructuras con marcos rígidos de concreto reforzado, ya que se mejora la rigidez de la construcción ante la acción de las fuerzas horizontales debidas a sismo; así como aumentar la resistencia y capacidad de la estructura, logrando disminuir la magnitud de los efectos de flexión y cortante en los elementos de la estructura de concreto. Cuando se instala un sistema de contravientos de fricción (fig. No 60), como refuerzo a una estructura de concreto, presenta algunas dificultades como son:

- Lograr una conexión, capaz de transmitir solamente las fuerzas de compresión o de tensión que se producen en las diagonales de refuerzo.
- Evitar que, por deficiencia de la conexión, se produzcan fuerzas cortantes en las trabes o columnas que concurran al nudo.
- Lograr que la construcción de la conexión sea fácil y económica.

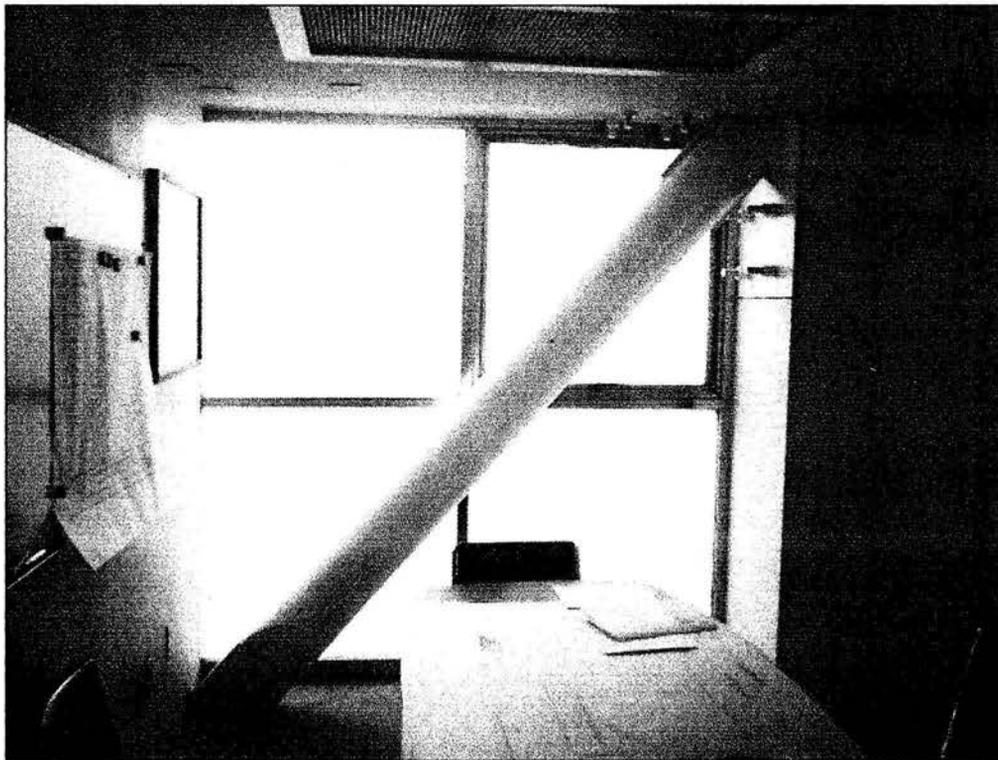


Figura No 60. Disipador tipo contraviento de fricción.

Amortiguador sísmico.

Estos dispositivos de tipo Amortiguador (Fig. No 61) presentan algunas desventajas con relación a los disipadores histéreticos:

- a) No precisan de una fuerza umbral para disipar energía;
- b) No cambian de forma significativa los periodos de vibración, con lo cual resulta posible linealizar el comportamiento estructural y realizar una modelización más sencillas.

Como inconvenientes están:

- a) La poca variación del periodo fundamental no evita el comportamiento resonante.

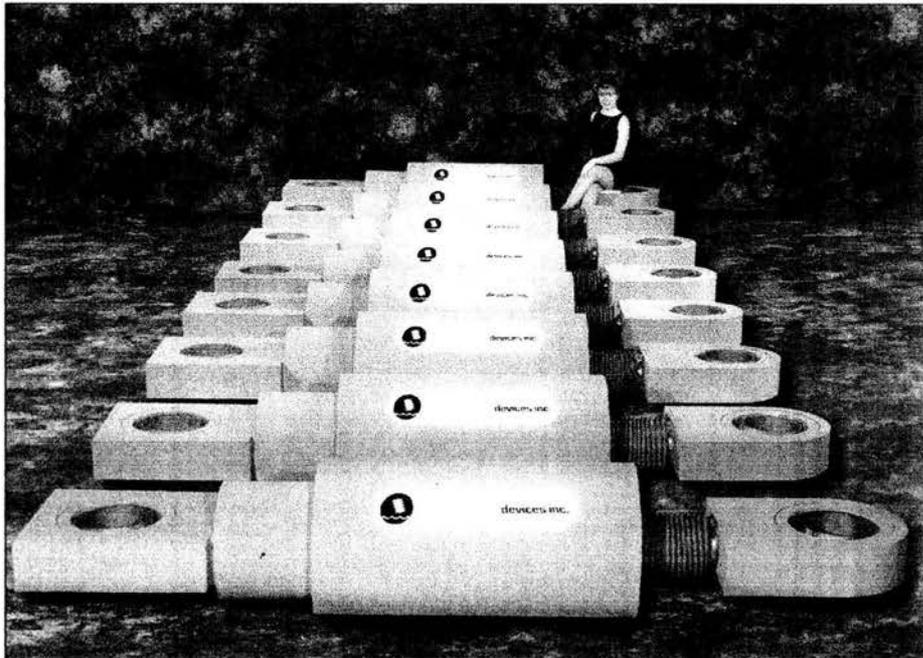


Figura No 61. Disipador de energía tipo Amortiguador Sísmico.

- b) Los materiales viscoelásticos, en general, son sensibles a los cambios de temperatura, frecuencia y deformación y resulta necesario minimizar la influencia de estas variables en sus rangos de servicio en estructuras sismorresistente para que su comportamiento resulte predecible.
- c) Para conseguir un aumento del amortiguamiento estructural a valores que reduzcan significativamente la respuesta estructural ante un sismo severo es necesario una gran cantidad de dispositivos.

En un estudio experimental realizado en 1990, Aiken analizó la actuación de disipadores viscoelásticos en una estructura de nueve plantas, en escala  $\frac{1}{4}$ , solicitada en una mesa vibradora por señales procedente de diversos terremotos. Entre sus conclusiones destacaban:

- a) Que las características dinámicas del edificio no varían de forma muy significativa: la frecuencia pasaba del 2.04 Hz. A 2.76 Hz., para un aumento de la fracción de amortiguamiento del 0.74 % al 8.07% con dispositivos.
- b) El incremento en temperatura del dispositivo debido a la acción sísmica apenas afectaba a las propiedades dinámicas del sistema y.
- c) Que la teoría de viscoelástica lineal se puede aplicar para describir el comportamiento de los disipadores.

### III.4 Peso.

#### Tipo ADAS.

En el capítulo anterior se menciona que este sistema se instala en marcos y muros de rigidez con trabes de acoplamiento, y para poder considerar el peso de este tipo de dissipador, podemos considerar los siguientes elementos:

\*Un conjunto de placas de acero en paralelo, las cuales están unidas a otras placas en ambos extremos.

Por lo que el número de chapas o placas resulta variable de acuerdo a las necesidades de la estructura, y se entiende con esto que es variable el peso de un dissipador tipo ADAS(Fig. No 62) con respecto a otro.

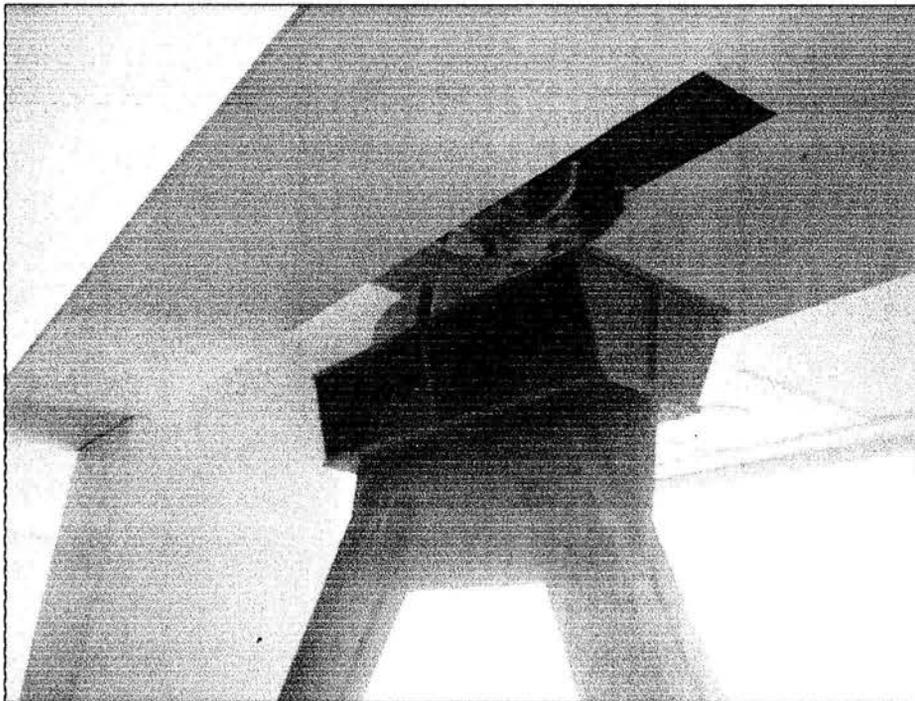


Figura No 62. Dissipador tipo ADAS, elementos.

Tipo Fricción.

El peso de los disipadores de energía por fricción (fig. No 63), se pueden considerar despreciables a comparación del peso de la estructura, por lo que el peso que se considera para este dispositivo es:

\*Dos placas de acero A-36, una diagonal de refuerzo, pernos, tornillos y tuercas de acero de alta resistencia.

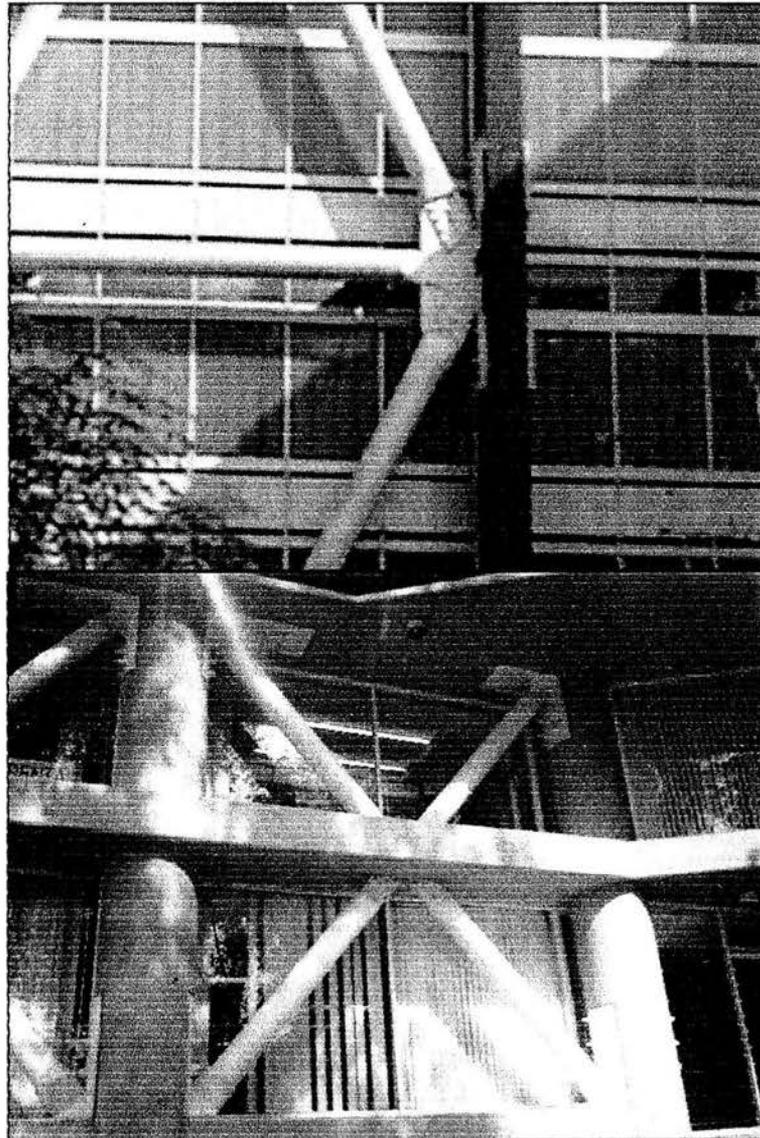


Figura No 63. Disipador de energía por Fricción.

Amortiguador sísmico.

Aquí podemos mencionar que el peso de estos dispositivo varia según la necesidad y aplicación que se le va a dar a los amortiguadores. En la siguiente tabla se puede observar las características de algunos modelos, según el fabricante y en la figura No 64 se observan un par de ejemplares.

Para amortiguadores que se utilizan en marcos sus características son:

Modelo	Fuerza Máxima Lbs.	Desplazamiento In.	Peso Lbs.
3X4	10,000	4	20
4X5	20,000	5	40
5X5	30,000	5	90

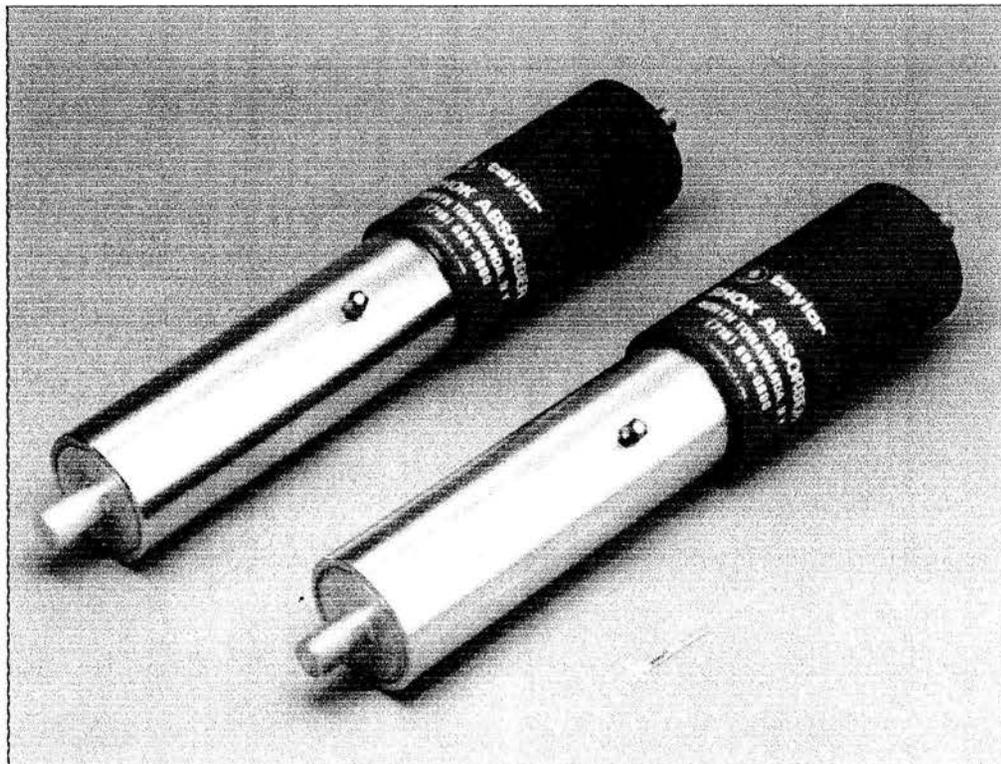


Figura No 64. Disipador de energía tipo Amortiguador Sísmico.

### III.5 Mano de obra.

#### Tipo ADAS.

Este sistema que esta compuesto de placas de acero, se necesita únicamente de un oficial soldador y un ayudante, para poder instalar el ADAS (Fig. No 65), sobre unos refuerzos de acero que van montados sobre los marcos, por lo que no es necesario mano de obra especializada.

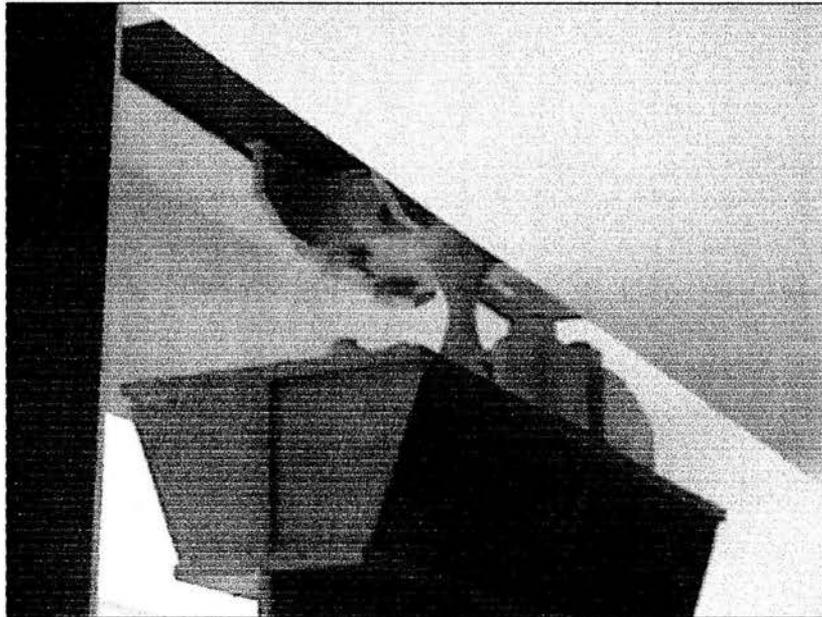


Figura No 65. Disipador de energía tipo ADAS.

#### Tipo Fricción.

No se necesita mano de obra especializada para la instalación de los dispositivos a fricción (Fig. No 66), simplemente se tiene que considerar solamente a una cuadrilla formada por un oficial soldador + 1 ayudante. Además estas diagonales y elementos de conexión de los disipadores a fricción no necesitan de un transporte especializado.

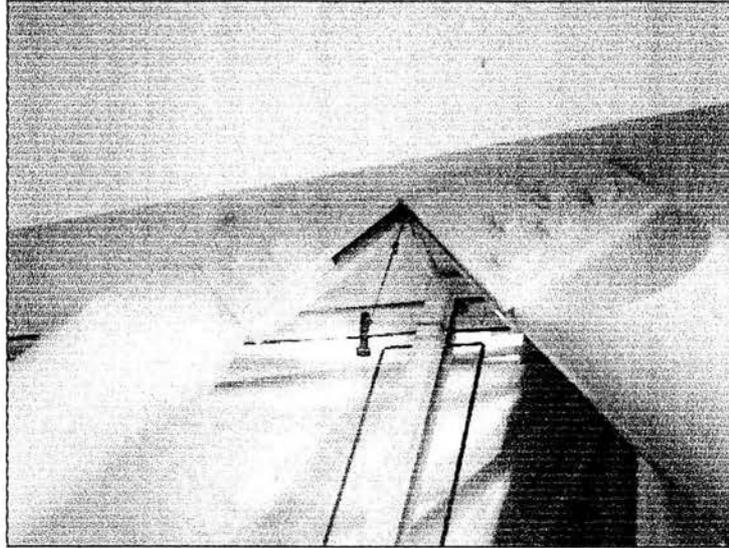


Figura No 66. Disipador de energía tipo Contravientos de fricción.

Amortiguador sísmico.

Aquí se necesita de la asesoría para la instalación de estos sistemas (Fig. No 67), por parte del fabricante, que en este caso sería con la empresa de Taylor Devices, los cuales tienen la experiencia de colocar estos dispositivos en edificios, puentes y estadios, para proteger a las edificaciones de los efectos perjudiciales de sismo o de viento.



Figura No 67. Mano de obra especializada para la instalación de los Amortiguadores sísmicos.

### III.6 Instalaciones.

Todos los disipadores de energía que aquí se mencionan no necesitan de algún instrumento especializado para poder empezar a trabajar, cuando se presente un sismo, ya que estos dispositivos están diseñados para funcionar sin la necesidad de un sistema extra para empezar a trabajar.

#### Tipo ADAS.

Dentro de las instalaciones que necesita el ADAS (Fig. No. 68), se utilizan diagonales de acero, donde el dispositivo va montado y se une a la parte superior del marco.

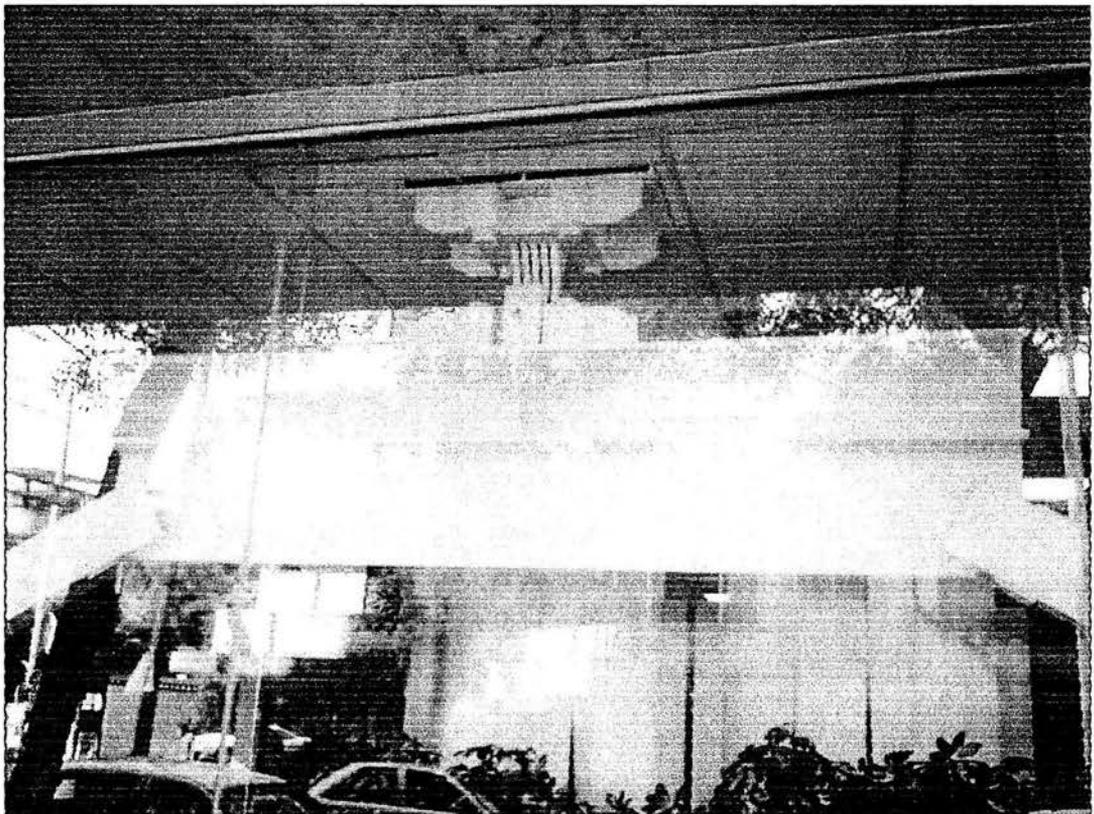


Figura No 68. Disipador de energía tipo ADAS.

---

### Tipo Fricción.

El sistema que forma la conexión en los marcos esta conformada de los siguientes elementos:

- a) Dos placas de acero A36, una vertical, en el sentido paralelo a la dirección de la columna y una horizontal, en el sentido paralelo a la dirección de la trabe o losa.  
Un extremo de la placa, apoyada sobre una calza metálica, esta conectada por medio de pernos de acero de alta resistencia al elemento estructural de acero.  
El extremo opuesto de las placas esta conectado a la diagonal de refuerzo por medio de un cartabón metálico; esta conexión es atornillada. La función de estas placas es transmitir las fuerzas de tensión o de compresión producidas por la diagonal de refuerzo.  
Esto se logra, debido a la gran resistencia a la deformación de las placas en el sentido de su eje axial y a la muy baja resistencia a la flexión en la dirección normal a ella.
  
  - b) Un juego de pernos de acero con rosca en sus dos extremos. La función de estos pernos, después de haber sido tensados con un gato hidráulico, es el transmitir sobre la placa y su calza una fuerza de compresión sobre la superficie en contacto con el elemento de concreto.  
Esto para que por resistencia a la fricción, las placas transmitan a la columna o trabe las fuerzas de tensión o de compresión transmitidas por la diagonal de refuerzo.
  
  - c) Un juego de tornillos y tuercas de alta resistencia A325 ó A490 y una placa cartabón, con agujeros ovalados, para la conexión de las placas con la diagonal de refuerzo.  
La función de estos pernos es transmitir, por fricción, las fuerzas de compresión o de tensión que actúan en la diagonal de refuerzo.  
La función de los agujeros ovalados para el paso de los tornillos, es permitir el desplazamiento de la conexión en el caso de que las fuerzas sísmicas sobrepasen el valor de las fuerzas consideradas en el diseño de la estructura.
-

En la figura No 69, se muestran los elementos que constituyen la conexión de los contravientos por fricción.

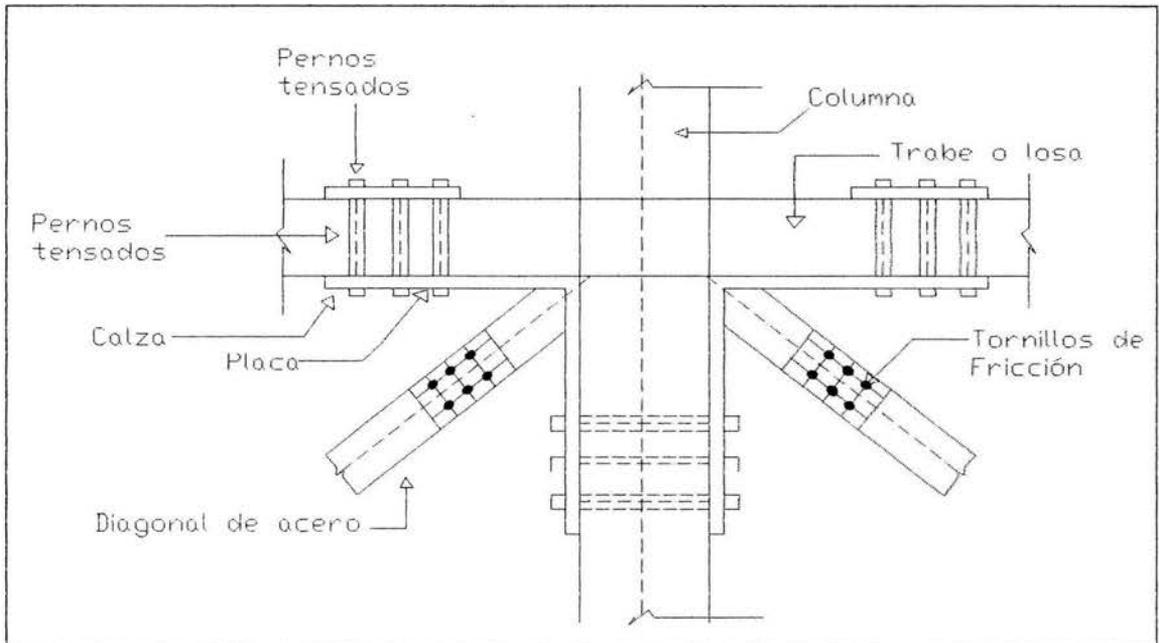


Figura No 69. Elementos de la conexión.

Estos dispositivos presentan una desventaja, si se realiza, un detalle inadecuado de la conexión puede provocar esfuerzos locales de consideración sobre la estructura, como se muestra en el esquema de la figura No 70.

La conexión propuesta por el Ing. Sánchez Martínez, para ligar estos contravientos a la estructura existente, trata de evitar que se produzcan fallas por cortante como se muestra en la figura No 71.

VERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA EN EDIFICIOS  
III.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

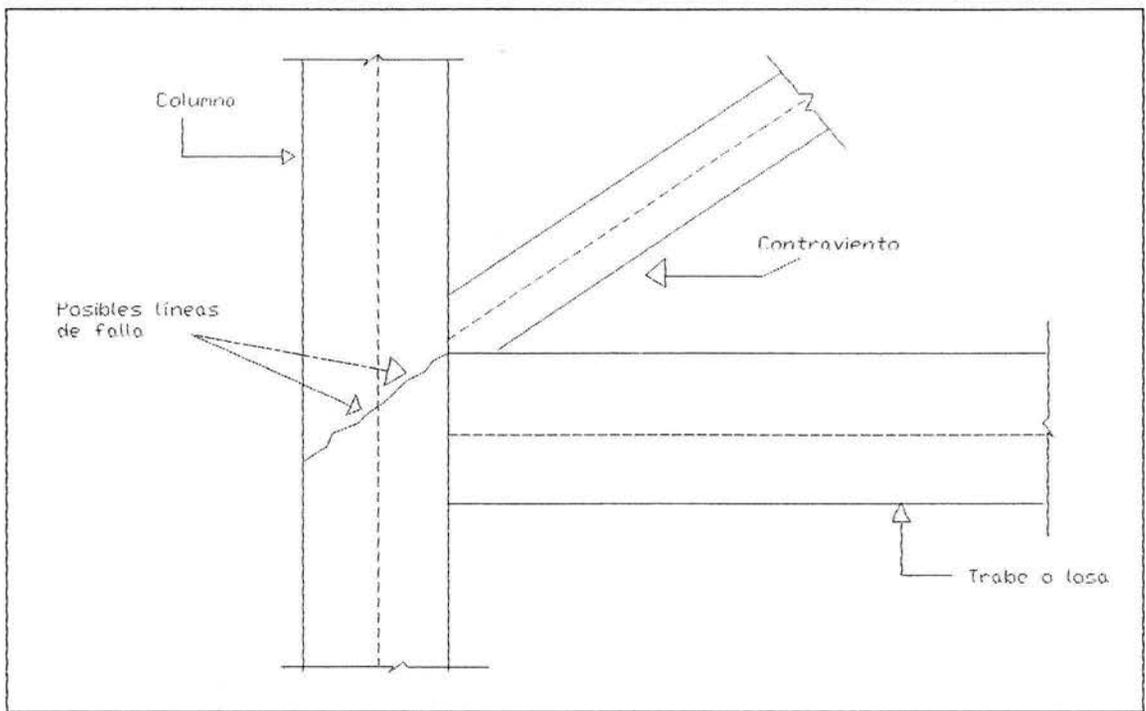


Figura No 70. Posibles líneas de falla provocadas por el contraviento.

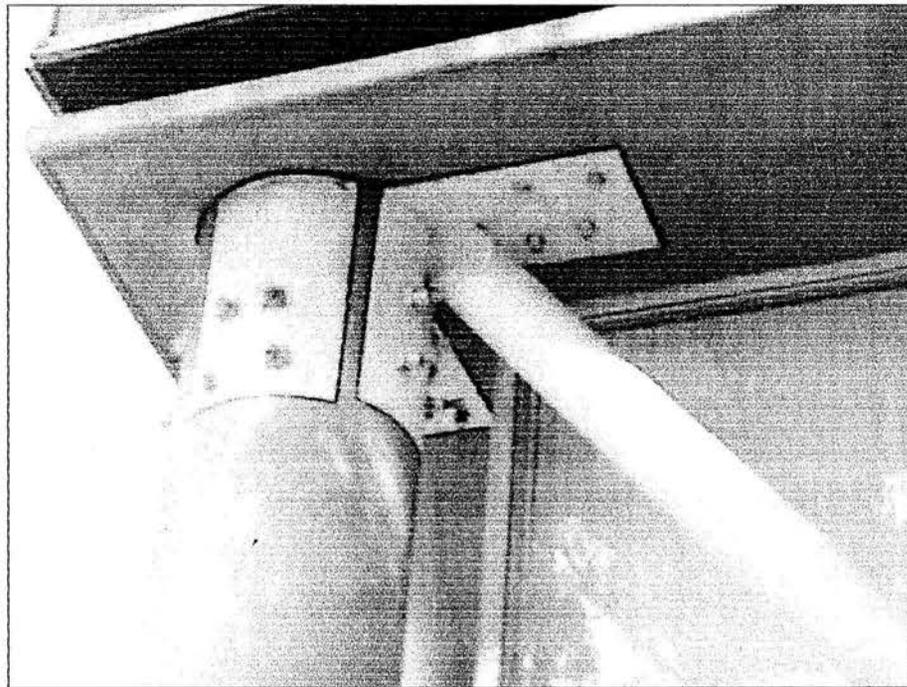


Figura No 71. Conexión de los contravientos de fricción.

Amortiguador sísmico.

Las instalaciones que necesita un amortiguador sísmico, podemos mencionar dos casos:

1° Cuando se trata de un amortiguador que se coloca en los marcos, necesita de dos diagonales de acero que van empotradas en el marco, como se observa en la siguiente figura No 72.

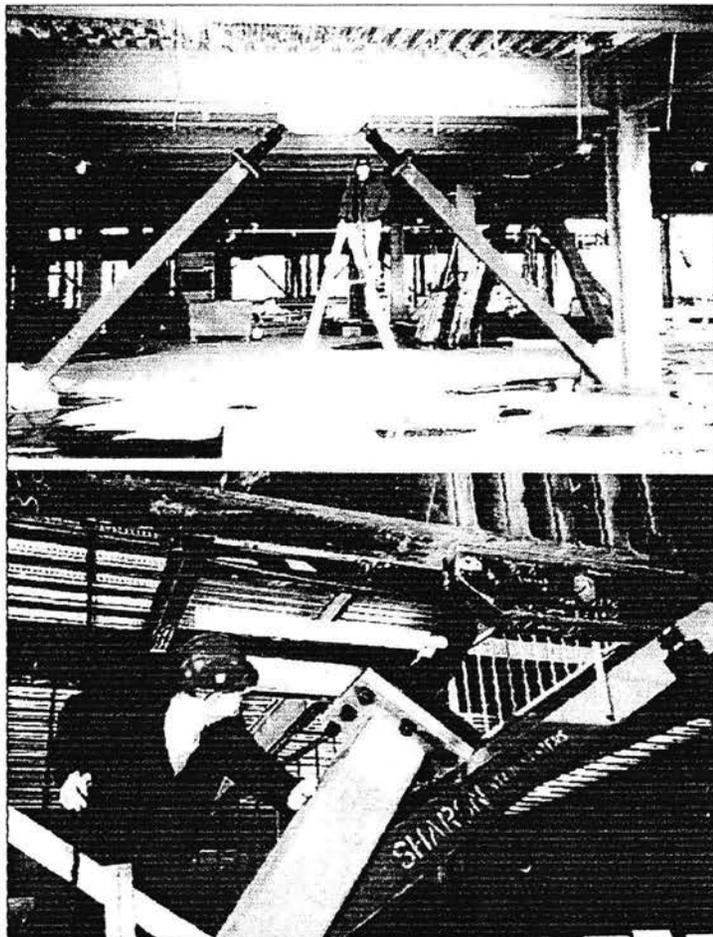


Figura No 72. Instalaciones de un Amortiguador sísmico.

2° Cuando se utilizan los amortiguadores para trabajar junto con los aisladores de sísmicos de base que generalmente son de neopreno, para poder trabajar en conjunto.

## Capítulo IV.

### COSTOS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.

En este capítulo se investigaron algunos casos en donde se han empleado, estos dispositivos disipadores de energía en edificaciones.

#### *Hospital de San Bernardino, Colton, California E.U.A.*

Este centro medico cuenta con 5 edificios, la razón de utilizar los disipadores de energía tipo amortiguador sísmico, es primeramente por que el hospital se encuentra en el desierto y hay el problema de tener un suelo arenoso, también se puede mencionar que se esta a 10 kilómetros de la falla de San Andrés, por lo que la posibilidad de sismos es muy alta. El edificio en su fase de construcción se muestra en la figura No. 73

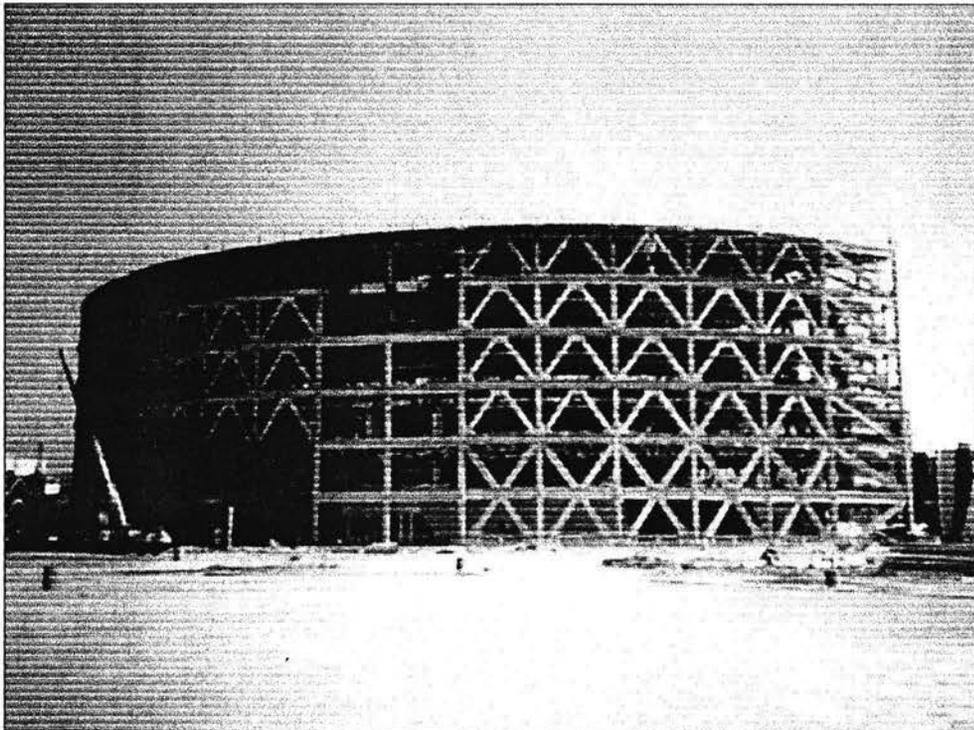


Figura No 73. Etapa de construcción del Hospital de San Bernardino, California.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

La solución que propuso el Dr. Taylor es utilizar los amortiguadores sísmicos, junto con los aisladores sísmicos que en este caso son cojinetes de caucho. Este sistema se muestra en la siguiente figura No 74.

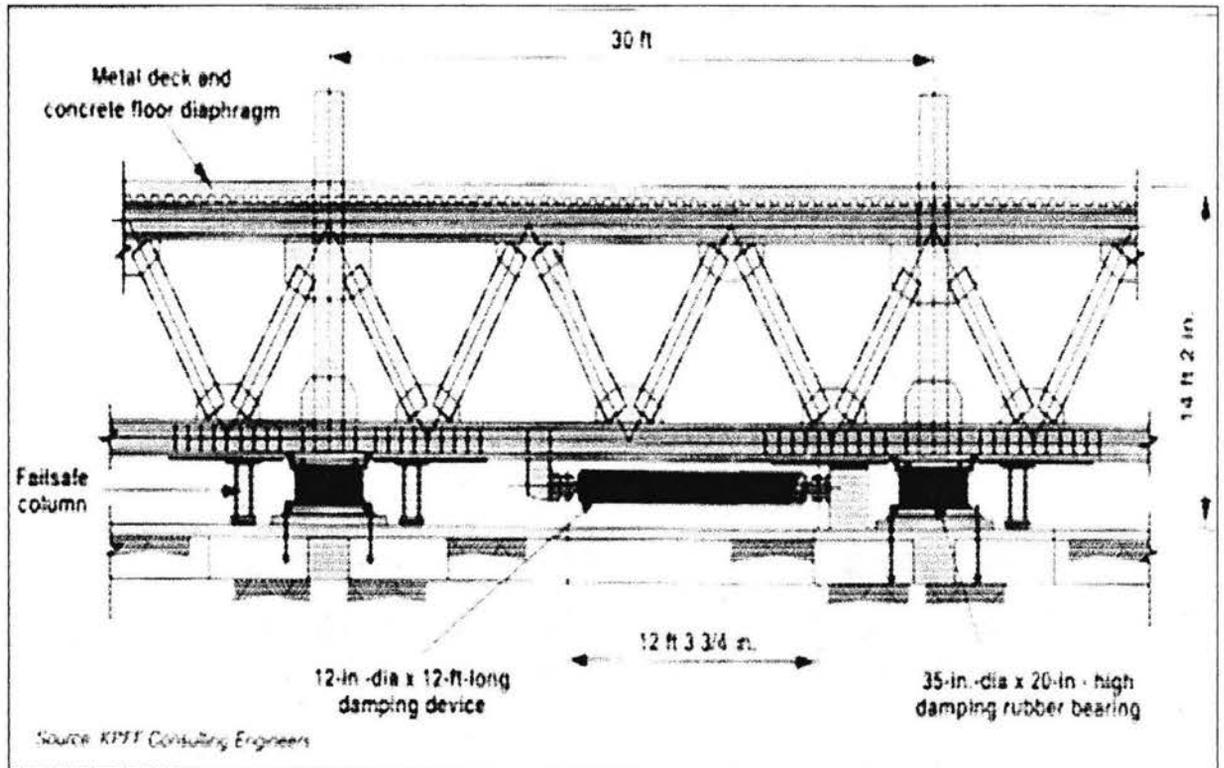
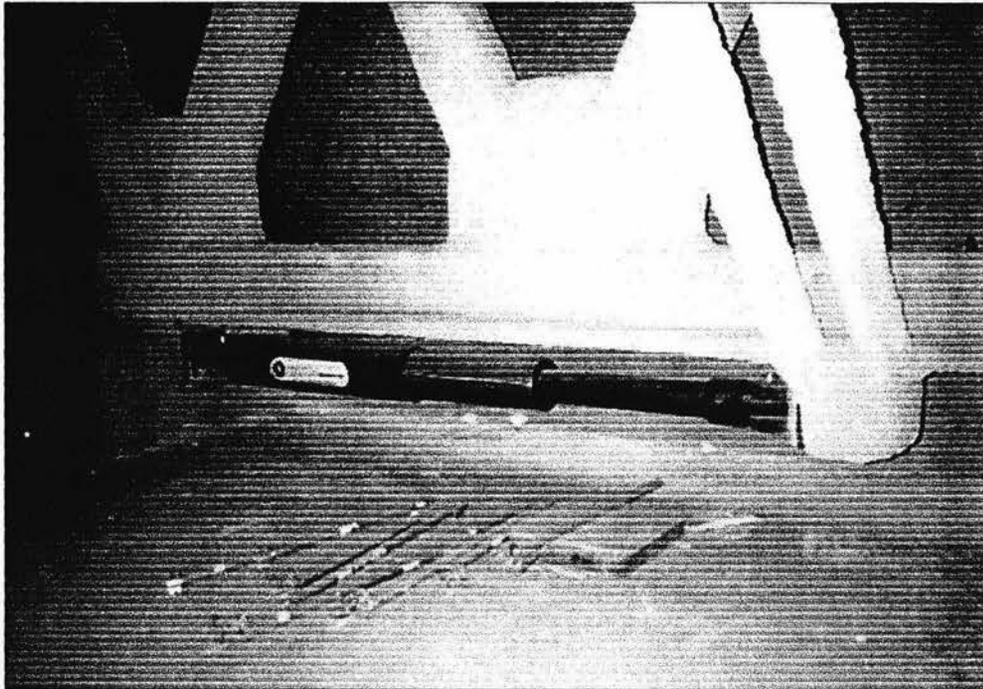


Figura No 74. Sistema de Amortiguador y aislador sísmico.

En este edificio los amortiguadores sísmicos Taylor tienen las siguientes características:

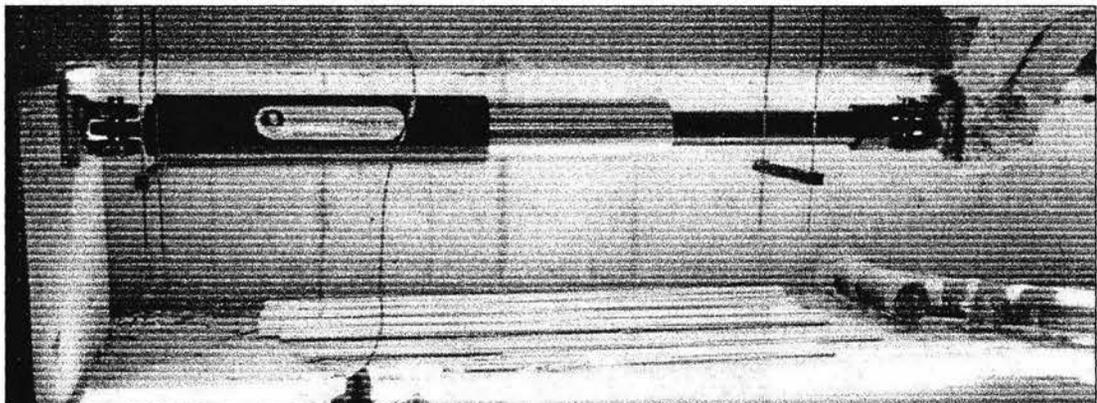
Desplazamiento:	1.2 metros
Máxima fuerza de amortiguamiento:	160 ton.
Longitud:	4.37 metros
Diámetro:	36 cm.
Peso:	1.3688 ton.

En el cual se utilizaron 186 amortiguadores como el que se muestra en la figura No 75 y 76.



**Figura No 75. Amortiguador utilizado.**

El costo de este tipo de disipador con las características anteriores es de \$ 17,000 dólares, cada uno.



**Figura No 76. Hospital San Bernardino.**

*Edificio Inteligente Torre Mayor. Cd. de México.*

En este edificio se instalaron amortiguadores sísmicos, la información de los costos, me fue proporcionada por parte del Dr. Douglas Taylor, vía correo electrónico, aquí podemos comentar que se utilizaron 96 piezas en total, de los cuales el costo de los amortiguadores con una capacidad de 280 toneladas tuvo un costo de \$26,000 dólares cada uno y para los amortiguadores de 570 toneladas el costo fue de \$125,000 dólares cada uno, en donde se incluyeron desarrollos extensos y pruebas. El costo de amortiguadores iguales el día de hoy seria de \$68,000 dólares cada uno. El edificio se muestra en la figura No 77.

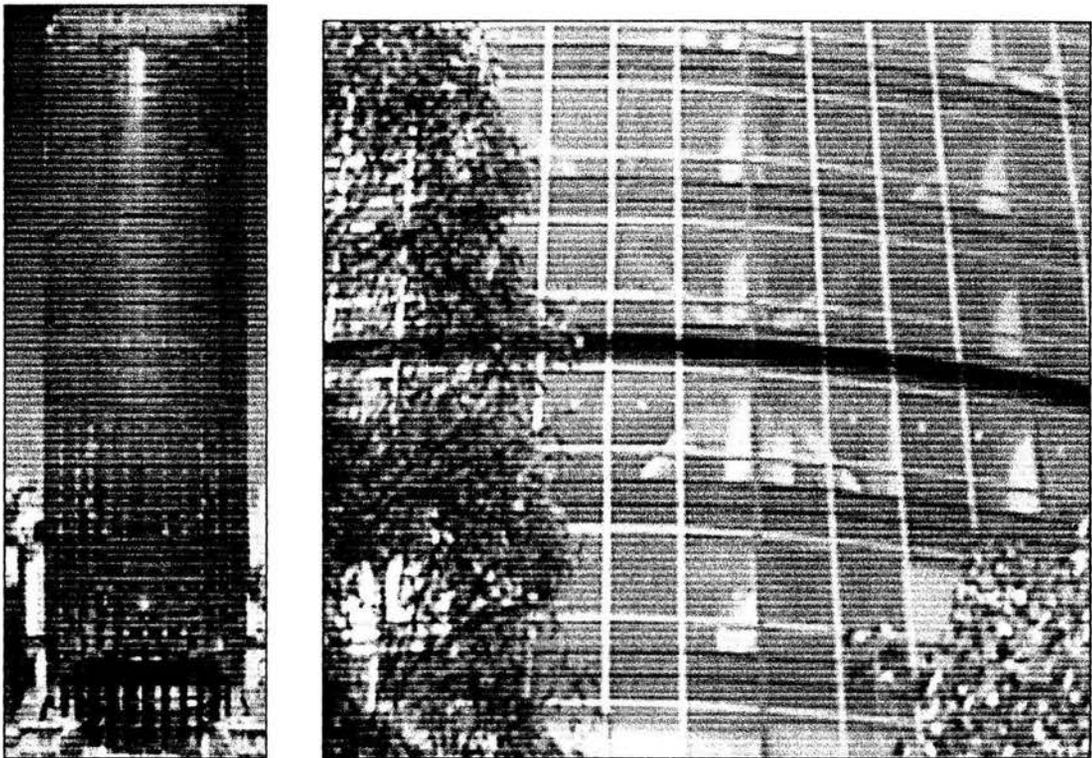


Figura No 77. Torre Mayor.

Otro ejemplo es un edificio de los Angeles California, USA, (Fig. No 78), en el cual el Ingeniero Robert Macnamara, hizo la comparación del costo que representa construir un edificio convencional y otro con amortiguadores sísmicos, y en el cual obtuvo las siguientes conclusiones:

	Costo total (Dólares)
Edificio convencional:	\$ 1,429,000
Sistema con disipadores de energía :	\$ 930,000

Podemos mencionar que el costo de los amortiguadores sísmicos que se utilizaron en esta comparación son los siguientes:

No de dispositivos	Modelo	Costo (\$ dólares) c/u
6	67.5 toneladas	7,000
17	135 toneladas	13,000

Por lo que se puede concluir que es más económico un edificio con este tipo de dispositivos disipadores de energía.

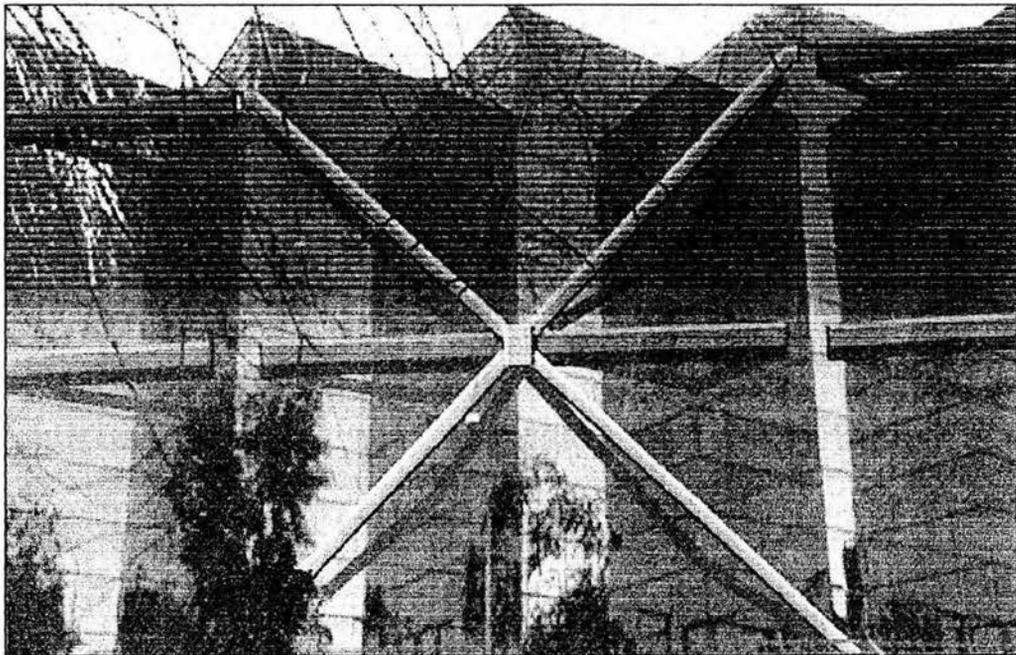


Figura No 78. Edificio en los Angeles, USA.

DIVERSOS TIPOS DE DISIPADORES DE ENERGÍA  
IV.- COSTOS DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

El costo de los amortiguadores sísmicos por parte del fabricante que es la compañía Taylor Devices se presentan en el siguiente listado:

Obra	No de elementos	Fuerza de amortiguamiento Ton.	Costo \$ Dólares c/u
Hotel San Bernardino, California , USA	186	160	17,000
Torre Mayor, México	74 24	280 570	26,000 125,000

El costo de otros amortiguadores sísmicos se presentan a continuación:

Modelo	Costo \$ Dólares
100 Kip (45 toneladas)	5,000
200 Kip (90 toneladas)	7,500
300 Kip (135 toneladas)	10,000

Cabe mencionar que estos costos están actualizadas hasta el 18 de Marzo de 2004.

Una comparación de los costos de un edificio convencional y uno que tiene instalado disipadores de energía es el que realizó Raúl Mejía Rosales, en su tesis que lleva por título "Análisis estructural y de costos de un edificio de 10 niveles diseñado convencionalmente y otro con disipadores de energía sísmica". En el cual incluyo disipadores de energía tipo solera, colocados en los marcos.

Aquí podemos mencionar que el edificio tiene 10 niveles y tres crujiás, la altura de entre piso es de 3 metros y la distancia entre columnas es de 5 metros.

El arreglo de la ubicación de los disipadores se muestra en la fig. No 79 y en la fig. No 80 se muestra la instalación del disipador de energía solera tipo "U".

El dispositivo disipador de energía que se utilizó, es el tipo solera en forma de U. El análisis comparativo considerando el edificio completo, se pudo observar que el edificio con disipadores de energía es 3.44% más costoso, que un edificio convencional, por lo que se puede considerar factible construir el edificio con disipadores de energía.

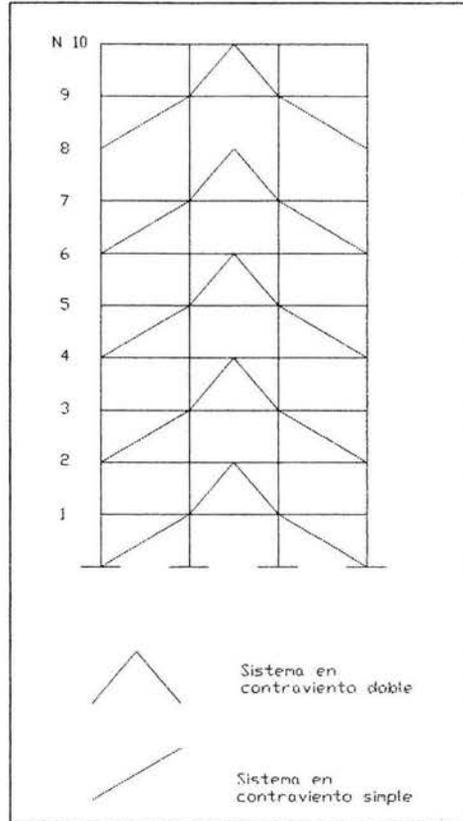


Figura No 79. Ubicación de los disipadores de energía, Solera tipo "U".

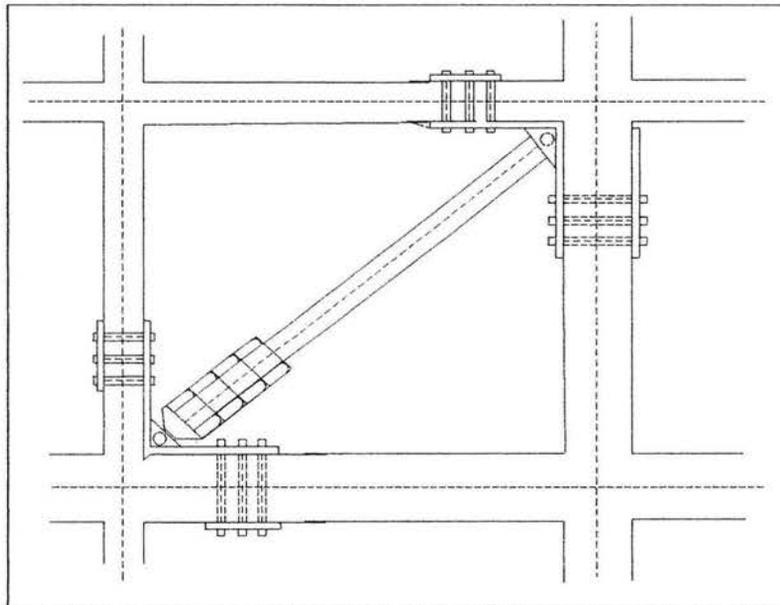


Figura No 80. Instalación sistema contraviento simple.

## Capítulo V.

### CONCLUSIONES.

El presente trabajo tuvo la intención de mostrar y dar a conocer los disipadores de energía que existen y que se utilizan en edificios nuevos o para el reforzamiento de los existentes.

En la actualidad es una tecnología nueva y que debemos abrirnos a estas ideas innovadoras que nos podrán permitir tener un nuevo enfoque del diseño sismo resistente. En lo que respecta a los códigos de diseño, el RCDF (Reglamento de construcciones para el Distrito Federal), no considera el uso de este tipo de dispositivos disipadores de energía, por lo que se necesita apoyar el uso de estos dispositivos, ya que en el resto del mundo están muy adelantados en el estudio, investigación, desarrollo y aplicación de estas nuevas tecnologías.

Estos dispositivos tienen la función de disipar la energía, que produce un sismo, a través del trabajo que desarrollen estos disipadores de energía y no por el comportamiento dúctil de los elementos estructurales.

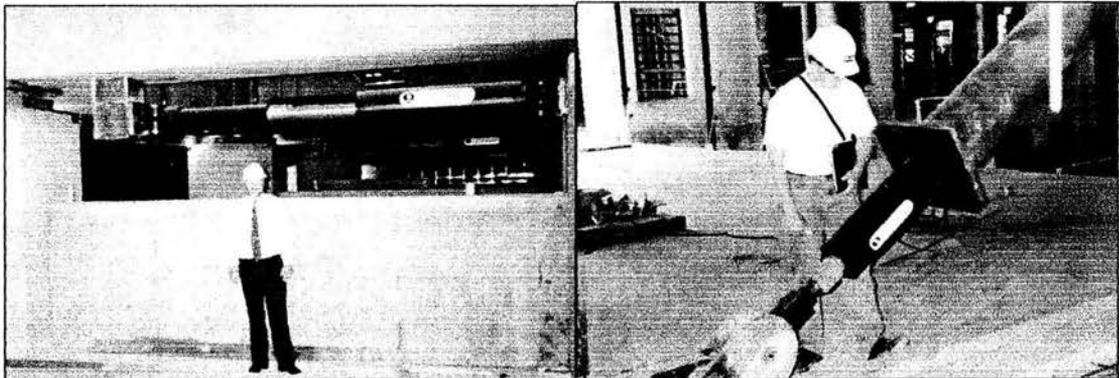
La función de estos dispositivos desde el punto de vista energético se puede entender en que la energía que produce un sismo o de entrada se puede disipar, por medio de las siguientes formas: Energía de deformación elástica, Energía de movimiento, Energía de amortiguamiento y Energía por comportamiento inelástico o ductilidad, por lo que los códigos de diseño mencionan que esta energía de entrada se debe disipar en su gran mayoría por la ductilidad, por lo que utilizar estos dispositivos novedosos nos permite absorber la gran mayoría de esta energía mediante el amortiguamiento interno. Este aumento en el amortiguamiento interno nos va a permitir reducir las ordenadas espectrales. Logrando así que el amortiguamiento interno sea una primera línea de defensa y que además se tenga la ductilidad de los elementos.

El análisis y diseño de estructuras con amortiguamiento representa un alto nivel de complejidad. La modelación matemática de estos dispositivos disipadores de energía involucra fuerzas y desplazamientos que no guardan una

relación lineal entre sí; y el coeficiente de amortiguamiento es en algunos casos función del desplazamiento y en otros casos de la velocidad con que se desplazan sus componentes durante un sismo.

Existen en la actualidad programas que nos permiten modela estructuras con amortiguadores o disipadores sísmicos, (SAP 2000, ETABS6, DRAIN2X, etc.), y es común que se cometan errores en la correcta introducción de los datos, si uno no esta familiarizado con la lógica que llevan estos programas.

Estos dispositivos no representan un aumento en el peso total de la estructura, ya que los disipadores de energía tienen valores muy pequeños con respecto al edificio. En el aspecto de mano de obra los disipadores de fricción no necesitan de mano de obra especializada, sino que basta con una cuadrilla de 1 oficial soldador + un ayudante para su colocación, mientras que para la instalación de amortiguadores sísmicos se necesita de especialistas que se encargan de hacer calibraciones y pruebas extensas de estos dispositivos como se muestra en la Fig. No 81.



**Figura No 81. Mano de obra especializada para la instalación de los Amortiguadores sísmicos.**

Estos dispositivos tienen la ventaja de aumentar los espacios o áreas habitables de un edificio nuevo a comparación de otro diseñado convencionalmente, este aspecto se mencionó con un ejemplo en el capítulo II, en donde se logro aumentar en un 8% las áreas habitables, por tener menor sección de columnas.

Estos dispositivos disipadores de energía en la actualidad si están disponibles, para poderse considerar en el diseño de una edificación nueva, algunos como los disipadores de fricción (Fig. No. 82) se pueden construir en México, pero más sin en cambio los otros sistemas de disipación de energía como el ADAS (Bechtel Power, Co.) (Fig. No. 83) y los amortiguadores sísmicos (Taylor Devices) (Fig. No. 84), son dispositivos que se necesitan importar, para poder traerlos a México.

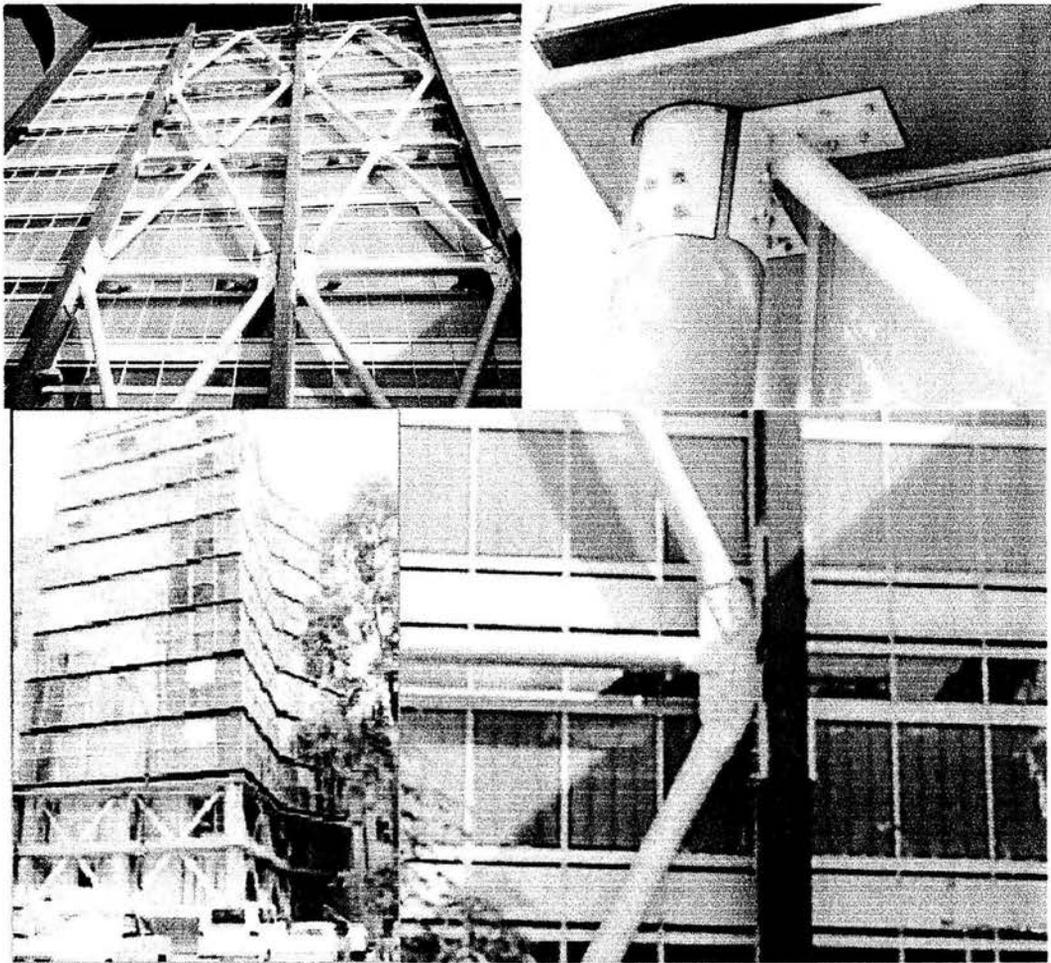


Figura No 82. Disipadores de Fricción.

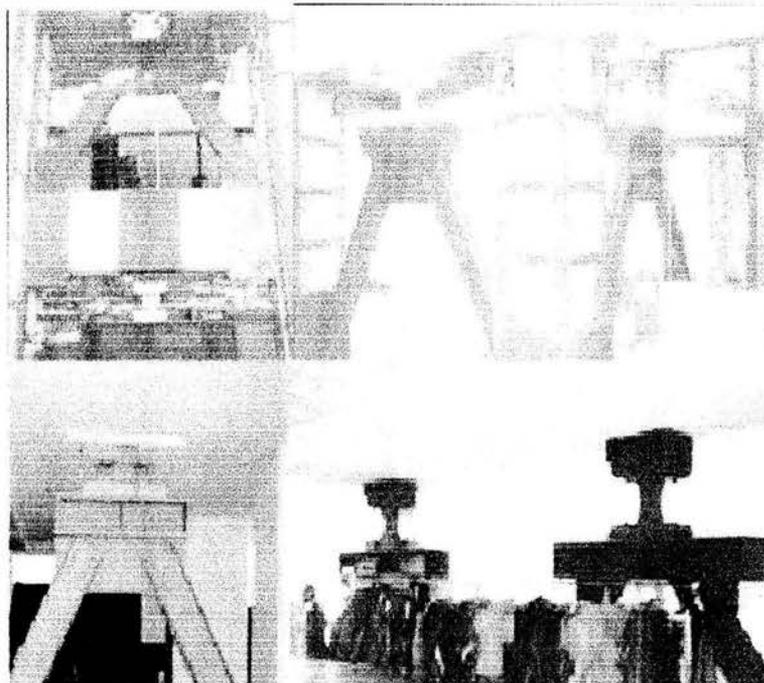


Figura No 83. Disipadores tipo ADAS.

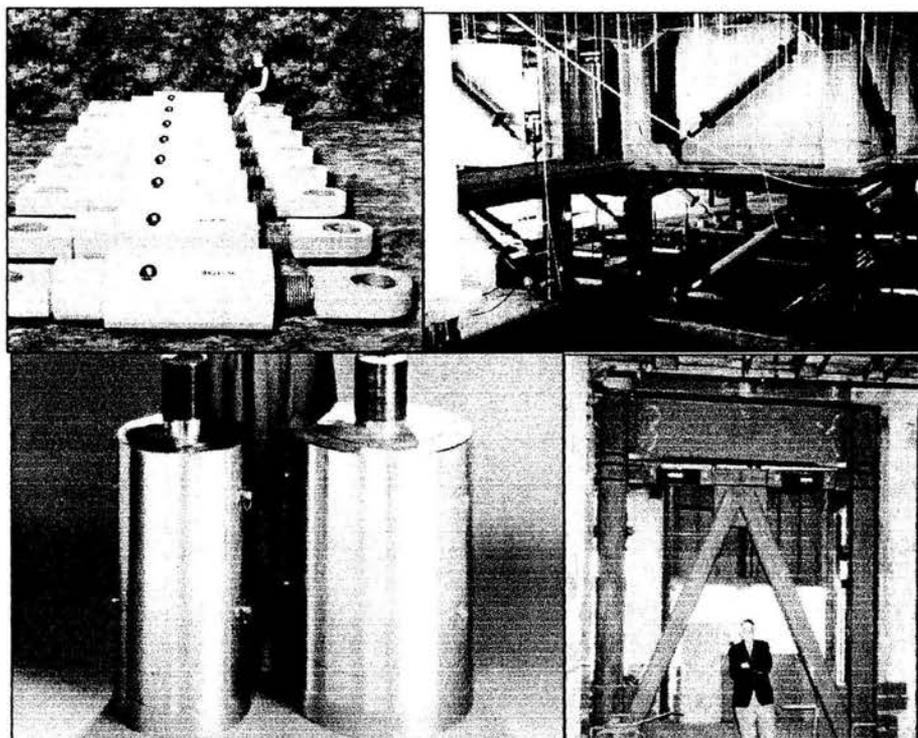


Figura No 84. Amortiguadores sísmicos.

Los disipadores tienen la ventaja de que ya instalados no necesitan de algún dispositivo extra para poder comenzar a trabajar, sino que en el momento de que se presente un sismo, el dispositivo comienza a trabajar sólo, sin la necesidad de alguna persona o de un equipo especial, en la cuestión del mantenimiento los fabricantes de estos disipadores que se consultaron mencionan que los lapsos de mantenimiento son muy esporádicos.

Los disipadores de energía se pueden colocar en un edificio ya existente o se pueden considerar en el proyecto inicial. En el primer caso se instalan para el reforzamiento y se tienen algunas limitantes como hacer un reconocimiento global del estado de la estructura, decidir cual es el sistema más adecuado para hacer el reforzamiento, los procedimientos de instalación serían más tardados y en consecuencia los costos se incrementarían, etc. En el caso de que los sistemas de disipación de energía se consideren en un proyecto estructural inicial se tiene la ventaja de que se tendrán bien definidos los procesos constructivos, más sin embargo se tiene la desventaja que al ser sistemas relativamente nuevos y no suficientemente estudiados, ni reglamentados en México, la disponibilidad para que se construyan (especialmente por parte del cliente) es muy baja.

Otro aspecto importante y que lo hacen atractivo es que al utilizar estos dispositivos en el proyecto de un edificio nuevo, podremos cubrir las necesidades de la disipación de energía, logrando elementos y secciones con menores dimensiones y esto a su vez se refleja en un menor costo, llámese de transporte de material, dimensiones de las cimentaciones, el aumento de áreas habitables, etc., y por supuesto en el costo total de la obra, comparada con un edificio convencional y así lograr construcciones sísmicamente seguras, a un costo razonablemente aceptable.

Los costos de los amortiguadores sísmicos se pueden observar en la siguiente tabla y observar en la Fig. No. 85:

Modelo	Costo \$ Dólares
45 ton.	5,000
90 ton.	7,500
135 ton.	10,000
160 ton.	17,000
280 ton.	26,000
570 ton.	125,000

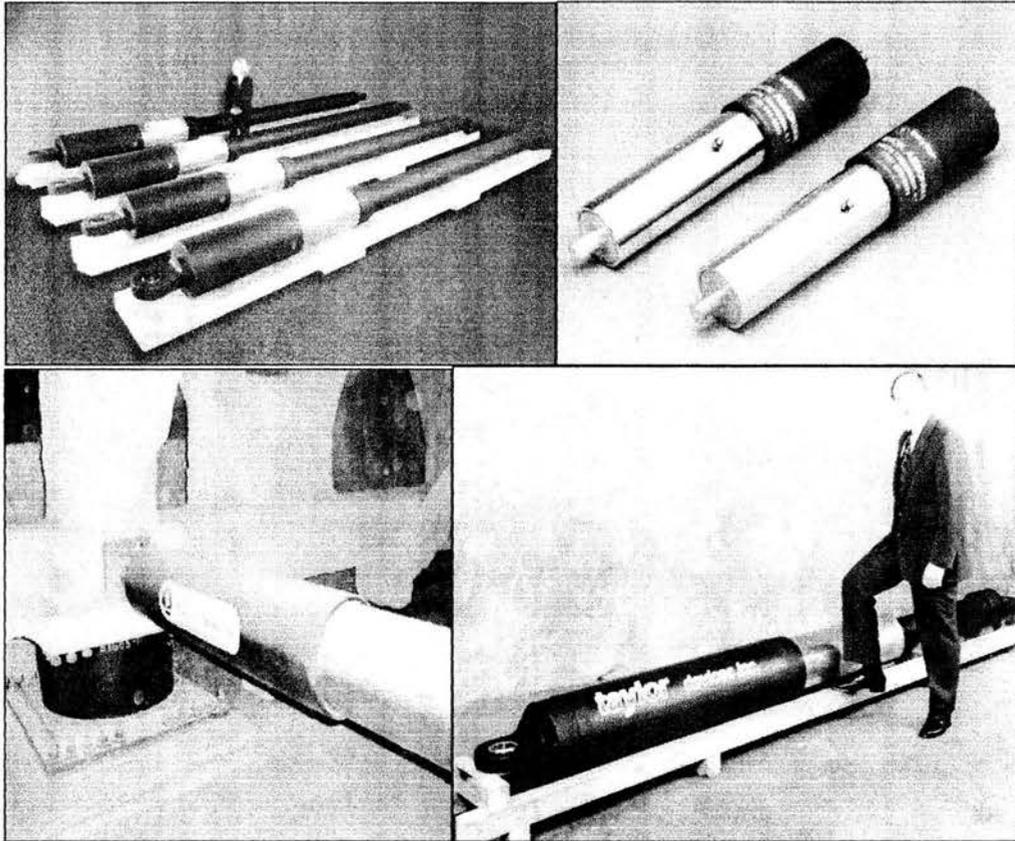


Figura No 85. Amortiguadores sísmicos.

En el capítulo No IV se menciona el caso, en que se hizo la comparación de los costos que representa construir un edificio convencional y otro con disipadores de energía, en el cual se obtuvieron los siguientes datos:

	Costo total (Dólares)
Edificio convencional:	\$ 1,429,000
Sistema con disipadores de energía:	\$ 930,000

Aquí podemos concluir en este ejemplo que utilizar el sistema con disipadores de energía nos arroja un menor costo y se mantienen los valores que se especifican en los códigos de diseño.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Aguilar Ramírez R. "Comportamiento histerético de dispositivos disipadores de energía de tipo panel cortante". Tesis Maestría. Instituto de Ingeniería. UNAM. 1998.

Aguirre, M y Sánchez R. "Disipadores de energía sísmica". Construcción y tecnología, Vol. III. No 27.

Bozzo Luis M. Universidad de Girona España. Comunicación vía correo electrónico.

González Alcorta R. "Ensaye en mesa vibradora de una estructura con dispositivos disipadores de energía". V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica. Toluca, Estado de México, 1998.

Jara Guerrero J. M.: "Análisis paramétricos orientados al diseño de edificios con disipadores de energía". V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica. Toluca, Estado de México, 1998.

Martínez Romero E. Comunicación personal.

Martínez Romero E. Seminario. "Sistemas innovativos de protección de protección sísmica de estructuras existentes y de estructuras nuevas". Conferencia II. "Ejemplos de edificios rehabilitados sísmicamente". Mayo de 2003.

Martínez Romero E. "Tres casos de estructuras de acero con disipadores pasivos de energía para zonas de alta sismicidad. V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica. Toluca, Estado de México, 1998.

Mejía Rosales R. "Análisis estructural y de costos de 10 niveles diseñado convencionalmente y otro con disipadores de energía". Tesis. UNAM. 1995.

RCDF (2004) "Reglamento de construcciones para el Distrito Federal".

Ruiz Gómez S. E. Comunicación personal.

Sánchez Martínez J. L. Comunicación personal.

Sánchez Martínez J. L. "Un sistema para incrementar la capacidad sísmica de edificios existentes".

Soong T.T., Dargush G.F. "Passive energy dissipation systems in structural engineering".

Taylor Douglas P. Comunicación vía correo electrónico.

Taylor Douglas P. Conferencia. "Experiencia y diseño de amortiguadores sísmicos, para la prevención de daños en edificios". Academia de Ingeniería, A.C. Febrero de 1995.