

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COSTOS DE EDIFICIOS CON AISLADORES SISMICOS

Armando Sosa García y Sonia E Ruiz Gómez
Instituto de Ingeniería, UNAM, México D F, México.

RESUMEN

Se analiza la conveniencia, en cuanto a costos iniciales y a respuesta estructural, de construir edificios bajos con aislamiento sísmico ubicados en dos sitios con propiedades dinámicas diferentes: uno con periodos de vibración dominantes intermedios, y otro con periodos dominantes cortos. Se estudian edificios de cinco niveles con características dinámicas y de estructuración similares a las de una escuela construida sobre aisladores sísmicos en la Ciudad de México. Se realizan pruebas de vibración ambiental en dicha construcción. Los edificios que se analizan se representan tanto mediante modelos "de cortante" como "de marcos planos". En estos últimos se subraya la influencia de los efectos $P-\Delta$ en el desplazamiento relativo entre la base de la superestructura y del aislador sísmico.

Los edificios se diseñan bajo dos suposiciones: a) con estructuración convencional, que obedece a los respectivos reglamentos de diseño sísmico de cada sitio (Acapulco, Gro. y México D. F.); y b) con estructuración que incluye un sistema aislador-disipador sísmico. Los resultados indican que, cuando en la estructura se incluye dicho sistema, las fuerzas cortantes se reducen aproximadamente la mitad, y los costos de construcción se incrementan alrededor de un 6% con respecto a los correspondientes a un diseño convencional.

ABSTRACT

The feasibility of constructing low seismic-isolated buildings is analyzed from the points of view of seismic response and initial costs. The structures are located on two different soil sites, one with dominant intermediate vibration periods and the other with short ones. Four five-story buildings with dynamic characteristics similar to those of a seismic-isolated school built in

Mexico City are analyzed. Ambient vibration tests of the school are performed. The buildings are analyzed using shear as well as frame models. The influence of P- Δ effects on the structural response is included.

The buildings are designed under two assumptions: a) conventional structures, designed in accordance with Mexico City and Acapulco seismic design regulations, and b) structures including seismic isolator-dissipator systems. The results show that the shear forces of seismic-isolated buildings are about half of those corresponding to a conventional design, and that the construction costs of the former type of buildings are increased about 6% with respect to those of a traditional seismic design.

INTRODUCCIÓN

Cuando un sismo intenso excita a las estructuras estas pueden presentar un comportamiento inelástico no lineal que se traduce en daños. Se han planteado en la literatura diversas alternativas de diseño para tratar de que dichos daños sean mínimos, pero al mismo tiempo lo sea el costo total. Este implica el costo inicial por construcción de la obra, el de mantenimiento y el de reparación y reposición de sus partes después de uno o varios sismos intensos. En el presente estudio se hace la hipótesis que todos los costos son constantes excepto el inicial, por lo que sólo se analiza este último. Esta hipótesis en estudios posteriores deber ser refinada a fin de contar con resultados más realistas. Sin embargo este trabajo constituye un primer paso para estudiar la factibilidad de construir edificios bajos con aislamiento sísmico en su base, que se ubiquen en sitios con ciertas propiedades dinámicas.

Uno de los primeros edificios con aisladores sísmicos en el mundo fue construido en 1974 en la Ciudad de México (González Flores M, 1964). Este se ubica en el terreno intermedio (entre duro y blando) de la ciudad. Hasta la fecha no ha sufrido daños ante sismos severos. Dicha estructura no cuenta con instrumentación sísmica por lo que no se tiene evidencia cuantitativa de su comportamiento. Tal edificio sirve de inspiración en este estudio para formular los modelos estructurales que se analizan. Estos se basan en sus características dinámicas las cuales se obtienen a partir de planos arquitectónicos y de pruebas de vibración ambiental.

Las estructuras que se estudian aquí se suponen ubicadas en dos sitios con propiedades de vibración del terreno diferentes: Caso I) edificios localizados en la zona de terreno intermedio de la Ciudad de México, la cual tiene periodos dominantes de vibración entre 0.4 y 1.4 s; Caso II)

edificios ubicados en la zona dura de Acapulco, Gro, con periodos de vibración entre 0.1 y 0.6 s. Las respuestas dinámicas y los costos iniciales de ambos casos se comparan entre sí y se deducen sus ventajas y desventajas relativas.

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO EXISTENTE CON AISLAMIENTO

El edificio base es de concreto reforzado; consta de cinco niveles y sótano. Cada nivel tiene un área de 952.2 m^2 excepto la azotea cuya área es de 538.2 m^2 , y la planta baja y el sótano, que tienen un área de 1267.7 m^2 . El primer entrepiso es de 3.2 m de altura y los siguientes de 3.0 m (Figs. 1 y 2). El edificio presenta muros divisorios no estructurales y muros diafragma de mampostería de bloque vitrificado reforzado con varillas de 3/8 pulgadas de diámetro y mortero entre los huecos. El cubo de escaleras está formado por muros diafragma. La losa de la planta baja es maciza de concreto reforzado de 0.15 m de espesor, estructurada con trabes coladas monolíticamente de 0.45 m de altura y ancho variable (0.30 - 0.60 m). La losa de los entrepisos y azotea está formada por losacero de 0.10 m de espesor, apoyada en el paño superior de las trabes. Las columnas del primer nivel están ahogadas sobre dados de desplante que se apoyan sobre las unidades aislantes.

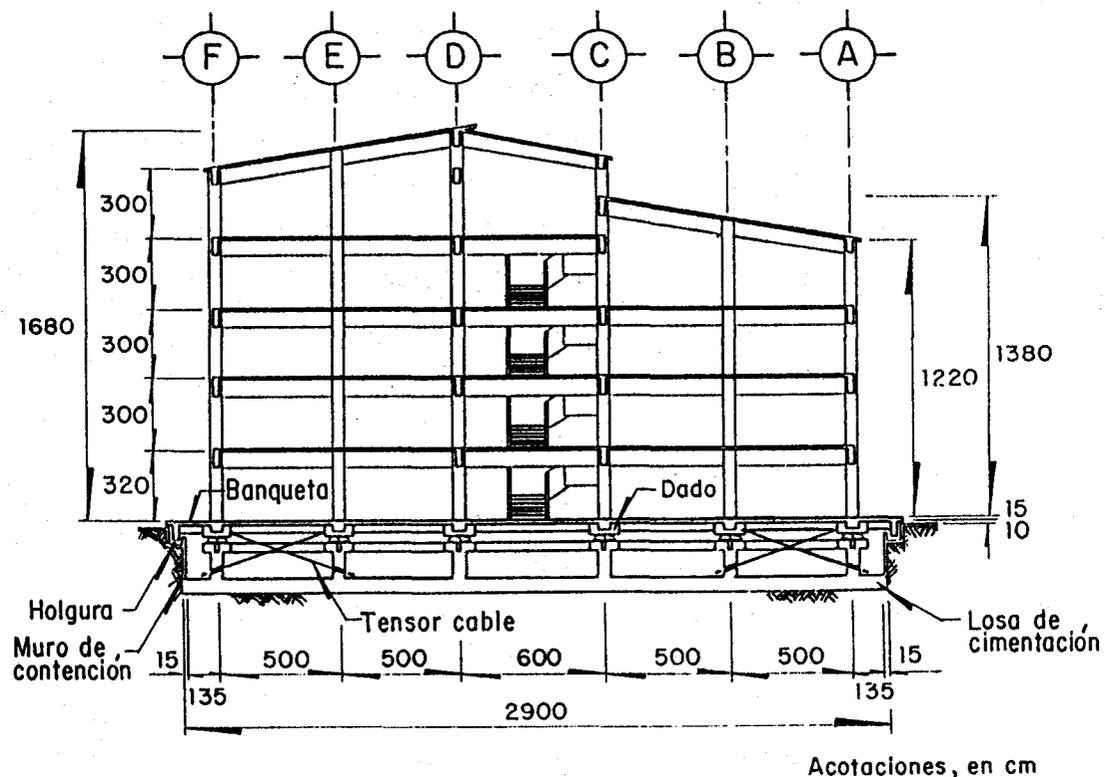


Fig. 1 Vista transversal del edificio.

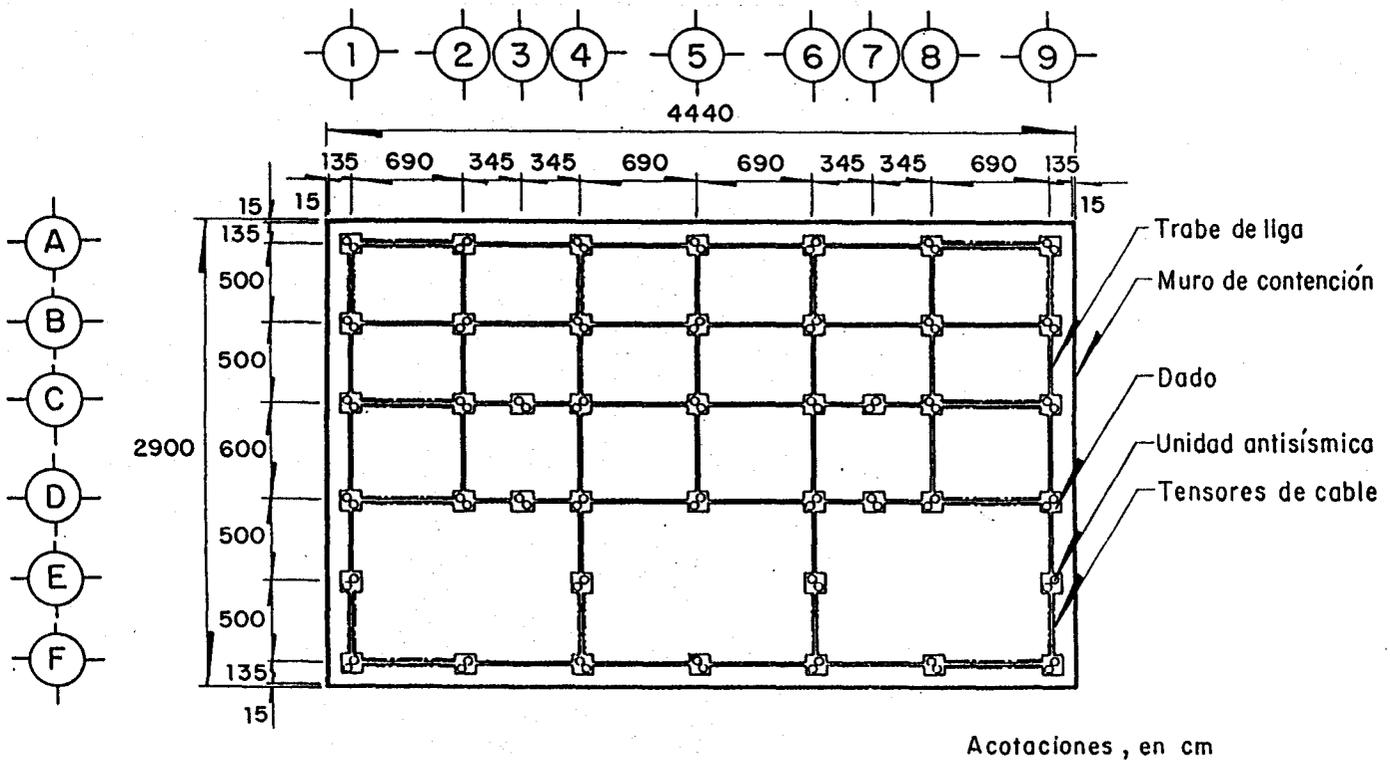


Fig. 2 Planta de cimentación.

La estructura presenta un cajón de cimentación y cuenta con un muro perimetral de 0.15 m de espesor de concreto reforzado, el cual en su parte superior (nivel de banqueta) tiene una holgura que alberga una trabe de borde perimetral de la losa de planta baja. Dicha holgura permite un desplazamiento de 0.15 m entre la superestructura y la cimentación. Sobre la losa de cimentación se apoyan columnas de 1.57 m de altura que soportan un dado de apoyo en el cual descansan las unidades aislantes. Cada dado cuenta con dos unidades protegidas con hule de polietileno sujeto con abrazaderas.

De la parte baja de las columnas recién mencionadas parten cables de acero con diámetro de 5/8 de pulgada, colocados en los extremos de los marcos en dirección diagonal. Estos se cruzan uno con otro separados por la trabe que liga los dados en que se apoyan los aisladores. Los cables se encuentran anclados en el dado de desplante de la superestructura. Dichos tensores sirven para restringir el desplazamiento lateral de la superestructura con respecto a la base del aislador.

El sistema aislante cuenta con los siguientes dispositivos: dos placas de acero de 0.60 m de diámetro y 0.0254 m de espesor, balines de acero con diámetro de 0.00875 m (11/32 pulgadas),

anillo para confinar los balines formado con una barra de acero con diámetro de 0.00556 m y radio de 0.20 m, bloque prismático de concreto de 0.41 m de diámetro y 0.185 m de altura, y placa cuadrada de neopreno de 0.40 x 0.40 m con espesor de 0.0254 m. La forma en que están distribuidas estas partes se aprecia en la Fig 3.

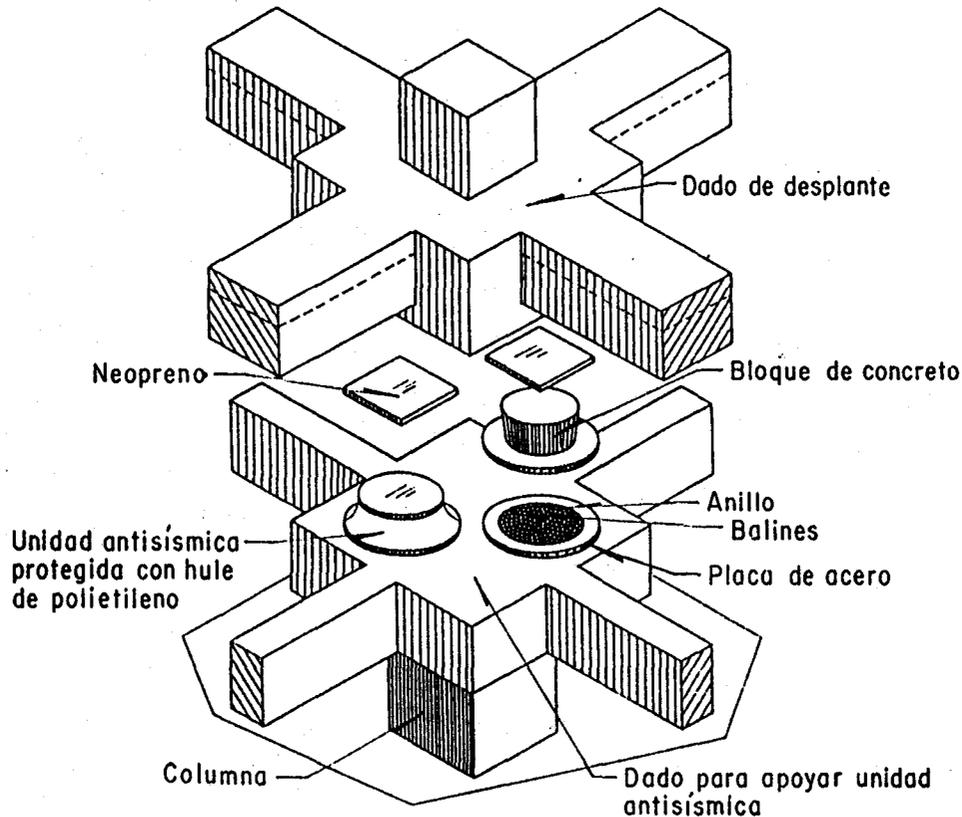


Fig. 3 Dispositivo aislador.

Los cables colocados en diagonal que restringen el desplazamiento lateral en la base de la superestructura tienen capacidad casi nula de disipar energía, por lo que, en este estudio, se sustituyen por dispositivos con comportamiento histerético hechos con solera de acero comercial (Aguirre M y Sánchez A R, 1989) en forma de U o de J (ver Fig. 4). Su comportamiento inelástico no lineal se debe a un rodado por flexión, semejante al movimiento de las orugas de un tractor. Actualmente estos dispositivos son probados, con distintos parámetros geométricos, en el laboratorio del Instituto de Ingeniería de la UNAM por M Aguirre y colaboradores (Aguirre M y Sánchez A R, 1992). El comportamiento no lineal de estos dispositivos es muy estable ante un número alto de cargas alternadas (con respecto a las que le produciría un sismo) y su capacidad de disipación de energía es bastante satisfactoria.

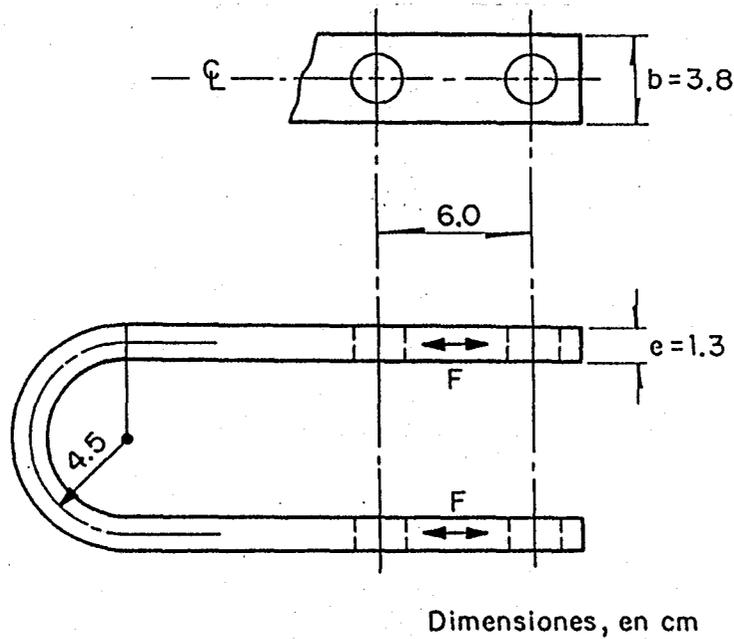
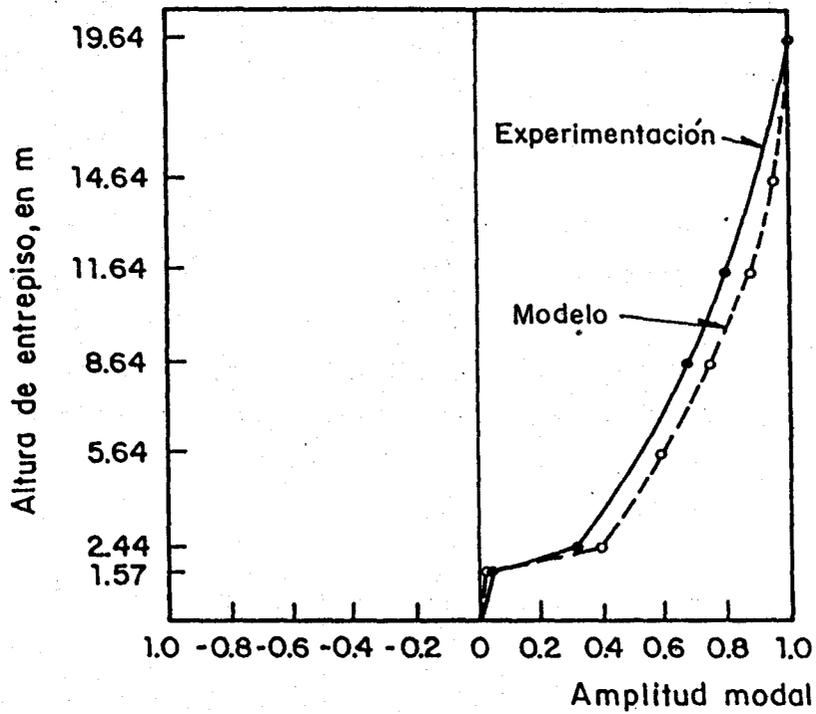


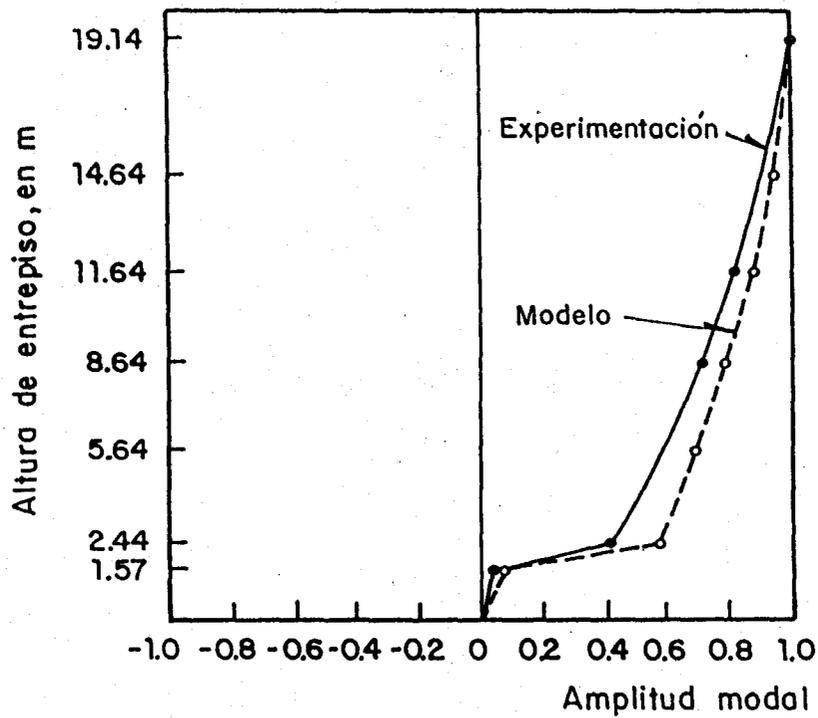
Fig. 4 Dispositivo disipador de energía.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

A partir de las pruebas de campo se obtuvieron las frecuencias y formas modales de vibrar de la estructura. Los primeros tres periodos de vibración son iguales a 0.54 s (dirección longitudinal), 0.50 s (dirección transversal) y 0.48 s (torsión). Se formuló un modelo estructural tridimensional (Nieto, 1992) con el cual se reprodujeron las formas modales obtenidas en campo, en una computadora personal mediante el programa Super-Etabs. En este análisis se observó que la formas modales calculadas son muy sensibles a la rigidez del sistema disipador. En las Figs. 5a-b se muestran los primeros modos de vibrar de la estructura. En estas se identifica fácilmente la presencia del aislador sísmico. A partir del modelo tridimensional se formulan modelos más simples (uni y bidimensionales) con características de estructuración y dinámicas similares al primero, los cuales se analizan más adelante.



a) Sentido longitudinal



b) Sentido transversal

Fig. 5 Primeras dos formas modales del edificio aislado.

ESTIMACIÓN DE LA FUERZA CORTANTE REDUCIDA

MODELO UNIDIMENSIONAL

Con el objeto de estimar cuánto se reducen las fuerzas cortantes en un edificio al incluir en este un sistema-aisladordisipador, primeramente se formula un modelo unidimensional representativo del marco F del edificio de la Fig. 2. Se supone que los entrepisos tienen comportamiento lineal elástico y el sistema aislador-disipador bilineal inelástico, cuya segunda rama de su curva fuerza-desplazamiento presenta una pendiente igual al 5% de la rigidez inicial. La fuerza de fluencia de sistema disipador es tal que debe resistir el empuje del viento, según lo especificado en los reglamentos de diseño de cada sitio.

La rigidez inicial del sistema aislador-disipador se deduce de las características del sistema disipador tipo solera (Figs. 4 y 6) y del número de disipadores que es necesario introducir en el edificio para resistir las fuerzas de diseño por viento. Es decir, dada una fuerza resistente necesaria por viento, se deduce el número mínimo de disipadores que se deben instalar en la base del edificio, y a partir de la relación fuerza-deformación de los disipadores se obtiene la resultante de la rigidez inicial del conjunto de disipadores.

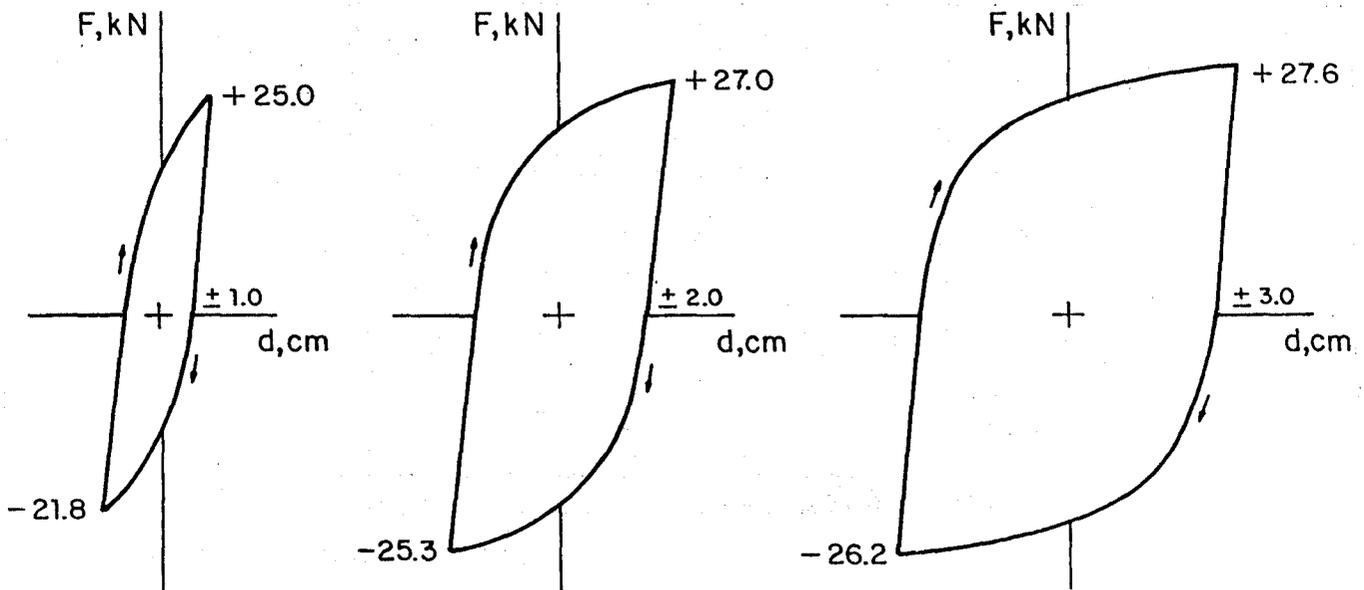


Fig. 6 Relaciones fuerza-desplazamiento del disp. disipador.

Una curva típica de la relación fuerza-desplazamiento del dispositivo disipador tipo U se presenta en la Fig. 6 (Aguirre M y Sánchez A R, 1992). Para el edificio ubicado en el Distrito Federal se estima que serían necesarios 388 dispositivos aproximadamente (algunos colocados en dirección transversal y otros en longitudinal). Como consecuencia de lo anterior, la rigidez inicial del sistema aislador-disipador cambia con respecto a la de la estructura medida en campo. Los modelos unidimensionales aislados que se analizan en lo que sigue tienen periodos naturales iguales a $T = 0.67$ s en ambos casos (I y II). Es decir, su periodo es mayor al que se obtuvo experimentalmente (0.54 s).

CARACTERÍSTICAS DE LA EXCITACIÓN

Los modelos se someten a la acción de dos familias de acelerogramas registrados en las estaciones Pellandini en Acapulco, Gro y Viveros en el Distrito Federal. Dichas familias se escalan de forma tal que las ordenadas espectrales de aceleración corresponden a un periodo de recurrencia de 100 años. El valor de las ordenadas espectrales máximas escaladas son de 0.23 de la gravedad (g) para el caso I, y de 0.51 g para el caso II. Los factores de amplificación se aplican directamente a los acelerogramas. En las Tablas 1 y 2 se presentan las principales características de los acelerogramas empleados en este estudio. En las Figs. 7a y b se muestran los espectros elásticos de ambas familias de acelerogramas, para 5% de amortiguamiento crítico.

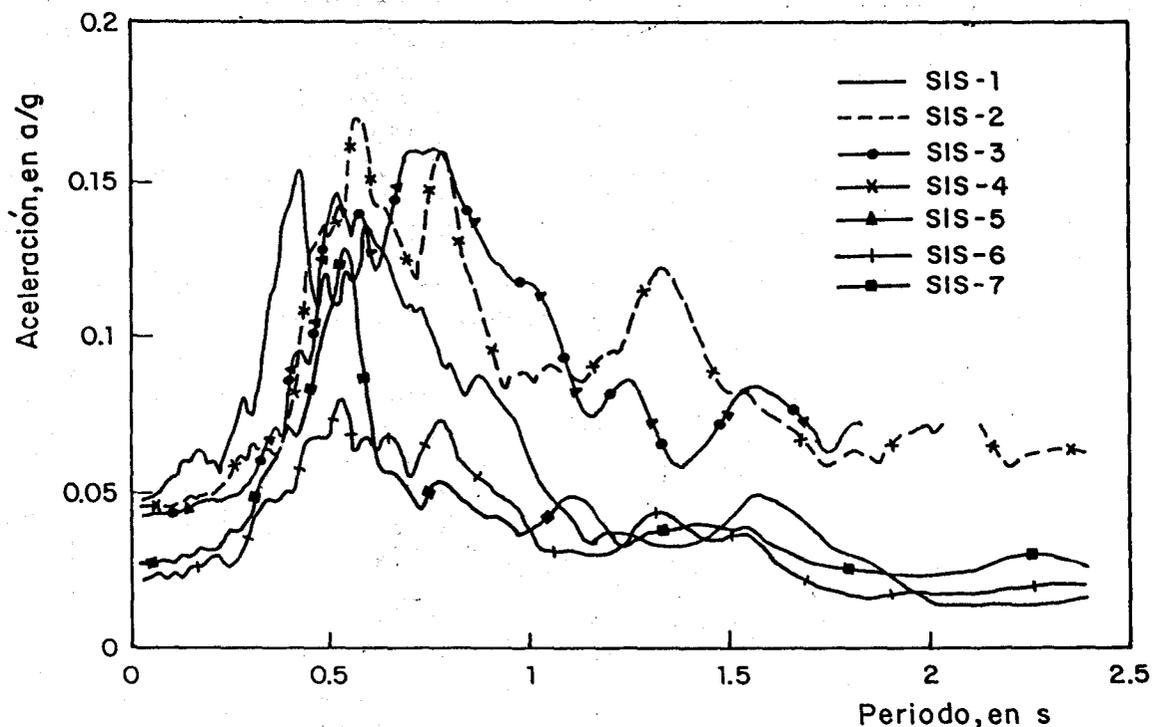


Fig. 7a Espectros elásticos de acelerogramas registrados en la estación viveros, = 5%

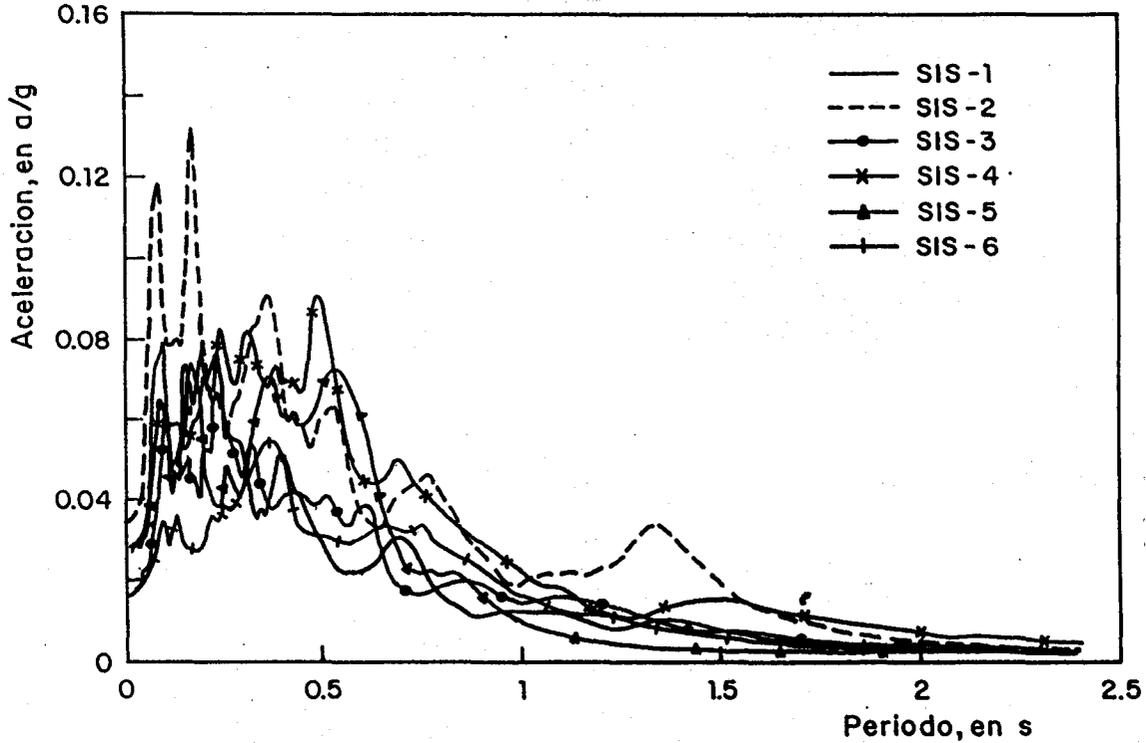


Fig. 7b Espectros elásticos de acelerogramas registrados en Acapulco Gro. = 5%

Sismo Num.	Fecha	Coordenadas Latitud N-Longitud W	Acel.max. espectral/g	Magnitud Ms	Factor amplif.
1	80.10.24	18.440 - 98.130	0.1535	6.4	1.52
2	85.09.19	18.182 - 102.573	0.1688	8.1	1.38
3	85.09.19	18.182 - 102.573	0.160	8.1	1.46
4	85.09.19	18.182 - 102.573	0.1694	8.1	1.40
5	85.09.19	18.182 - 102.573	0.160	8.1	1.46
6	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0782	7.5	3.00
7	85.09.21	17.300 - 108.230	0.1295	7.5	1.80

Tabla 1. Características de los movimientos. Caso I

Sismo Num.	Fecha	Coordenadas Latitud N-Longitud W	Acel.max. espectral/g	Magnitud Ms	Factor amplif
1	79.03.14	17.813 - 101.276	0.0853	6.5	6.0
2	79.03.14	17.813 - 101.276	0.1395	6.5	3.7
3	85.09.19	18.182 - 102.573	0.0744	8.1	6.6
4	85.09.19	18.182 - 102.573	0.0933	8.1	5.5
5	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0557	7.5	9.2
6	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0793	7.5	6.5

Tabla 2. Características de los movimientos. Caso II

RESPUESTA DINÁMICA DE LOS MODELOS UNIDIMENSIONALES

Las fuerzas cortantes que resultan al excitar los modelos unidimensionales con los acelerogramas escalados, se comparan con las que se calculan de los edificios empotrados en su base. De esto se obtiene que en promedio las fuerzas sísmicas en los edificios se reducen 47.4% en el caso I, y 66.7% en el II. Por ejemplo, la Fig. 8 muestra las fuerzas sísmicas que se desarrollan en ambos modelos de cortante cuando estos se excitan con el sismo 1 de la Tabla 1.

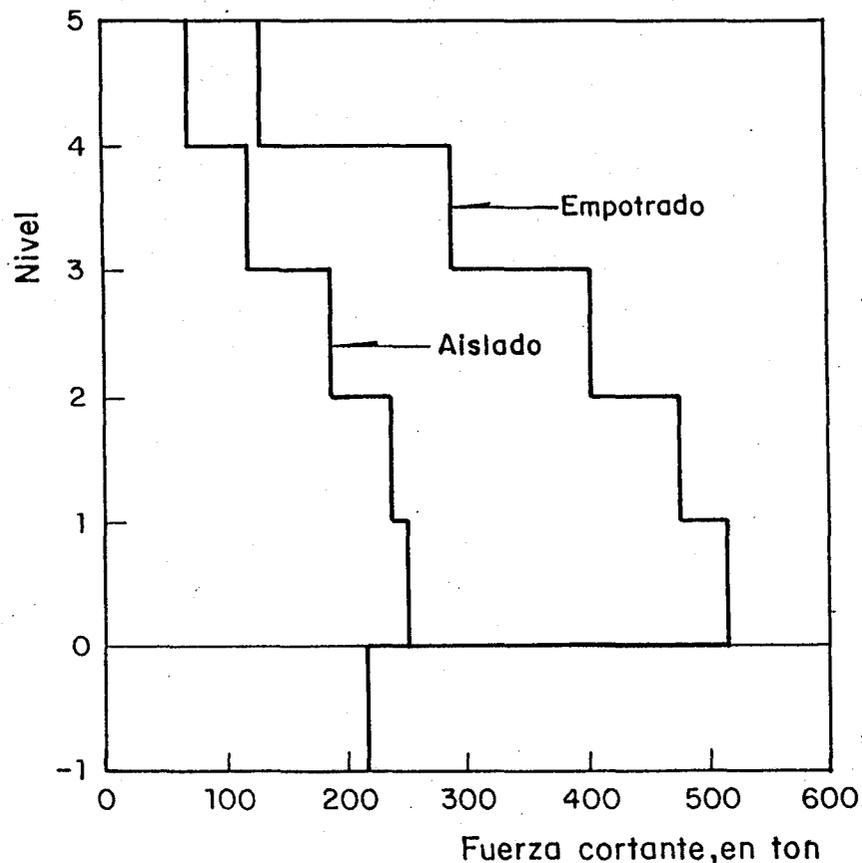


Fig. 8 Fuerzas sísmicas en el edificio de cortante ante el movimiento No. 1 registrado en Viveros.

Para el caso I las ordenadas espectrales de la excitación correspondientes a $T = 0.67$ s se encuentran dentro del intervalo de ordenadas máximas, mientras que para el segundo caso estas pertenecen a la rama descendente de los espectros de aceleración vs periodo (ver figs 7a y b). Por otro lado las ordenadas espectrales escaladas correspondientes a $T = 0.67$ s, para el caso II resultan aproximadamente 40% mayores que para el I (para el mismo periodo de recurrencia).

RESPUESTA DE EDIFICIOS CON Y SIN AISLADORES

Se diseñan con detalle cuatro marcos típicos correspondientes a edificios con y sin aislamiento, ubicados los sitios antes mencionados (casos I y II). Cada uno se modela mediante marcos bidimensionales. Se supone que las columnas pueden acortarse y que las vigas son flexibles. Los edificios sin aisladores se suponen empotrados en su base. Los periodos naturales de las estructuras empotradas son de 0.41 s. El diseño estructural se realiza de acuerdo con las especificaciones de los reglamentos de diseño sísmico de los sitios en cuestión (Reglamento de Construcciones para el D F, 1987; Reglamento de Construcciones para el Edo de Guerrero, 1991). Se respeta la filosofía de diseñar "estructuras con columnas fuertes y vigas débiles". El coeficiente de diseño sísmico respectivo se reduce por un factor de comportamiento no lineal que toma en cuenta la demanda de ductilidad que se espera; en este estudio se adopta $Q = 3$. Para los edificios con aislamiento sísmico se supone una reducción de la sollicitación de diseño de 45%, para ambos casos. Esta reducción es ligeramente conservadora comparada con los promedios de reducción que se calculan en la sección anterior (iguales a 47.4 y 66.7% para los casos I y II, respectivamente).

La respuesta en el tiempo de los marcos arriba mencionados se obtiene mediante el programa de cómputo DRAIN-2D (Powell G H, 1973). La relación momento flexionante vs rotación de la vigas se supone bilineal con pendiente de la segunda rama igual a 1% de la primera.

Los resultados indican que en las estructuras empotradas se forman muchas más articulaciones plásticas (principalmente en las vigas) que en las estructuras aisladas. En estas últimas aparecen, cuando más, algunas articulaciones en las vigas del primer nivel. En la Fig. 9 se presenta un ejemplo de las articulaciones plásticas que se forman en el marco empotrado supuestamente ubicado en Acapulco ante el sismo No 5 (Caso II). Por otro lado, el edificio con aislamiento presenta un comportamiento totalmente elástico ante el mismo movimiento sísmico.

Los desplazamientos relativos de la base del edificio aislado con respecto a la base de los aisladores son en promedio iguales a 0.0146 m en el caso I, y de 0.0124 m en el II, con coeficientes de variación de 0.23 y 0.25, respectivamente. Otros resultados se presentan en Sosa A. (1992) y Ruiz S.E. y Sosa A. (1993).

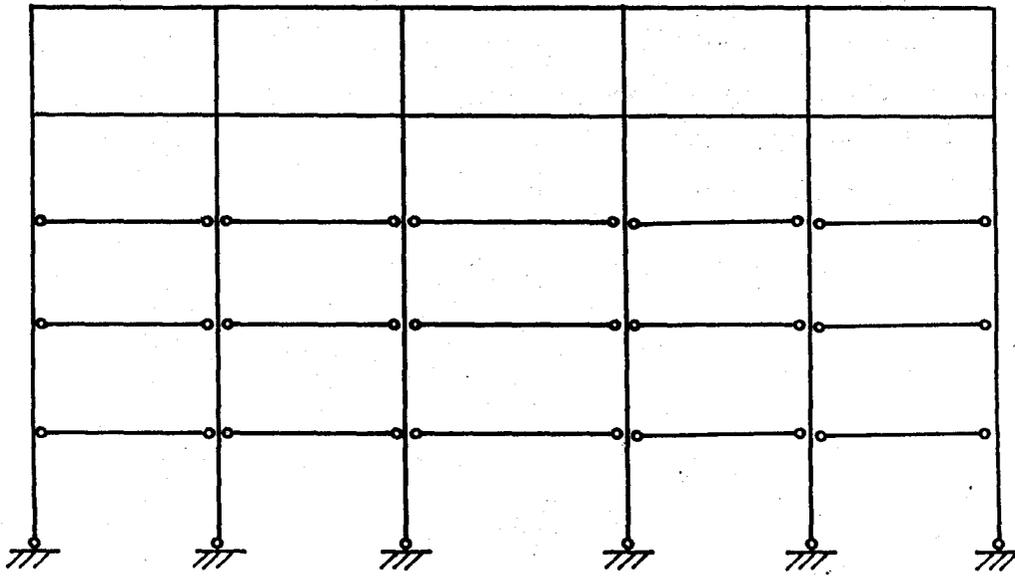


Fig. 9 Articulaciones plásticas en un marco ante el movimiento No. 5 registrado en Acapulco.

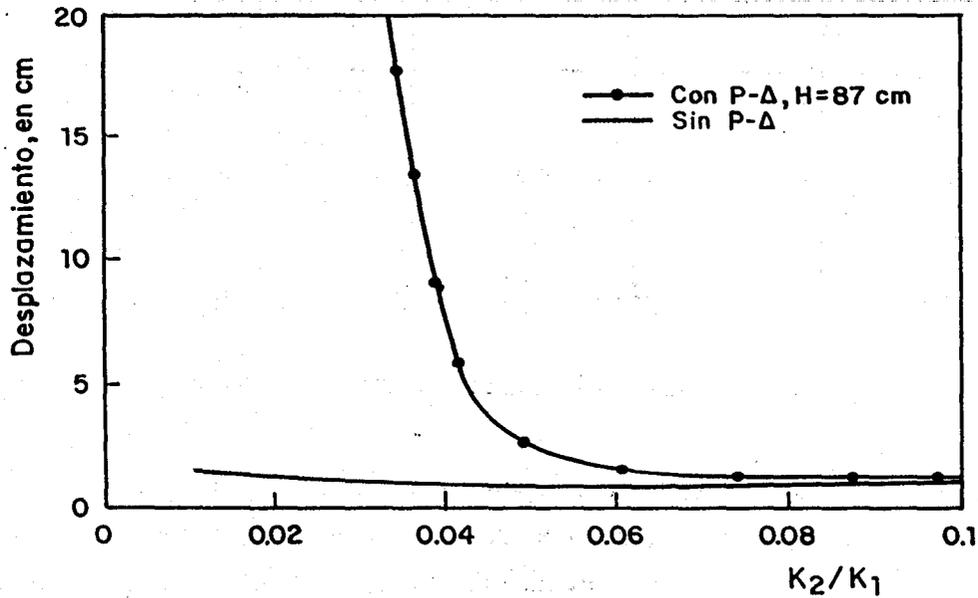
Cuando se toman en cuenta efectos $P-\Delta$ dichos desplazamientos crecen, dependiendo de la altura H del aislador sísmico que se suponga. Es decir, el efecto $P-\Delta$ puede ser significativo para sistemas aislantes que presenten relaciones de esbeltez grandes. Sin embargo para el tipo de sistema que aquí se estudia dicho efecto es nulo.

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS MECANICAS DE LOS DISIPADORES

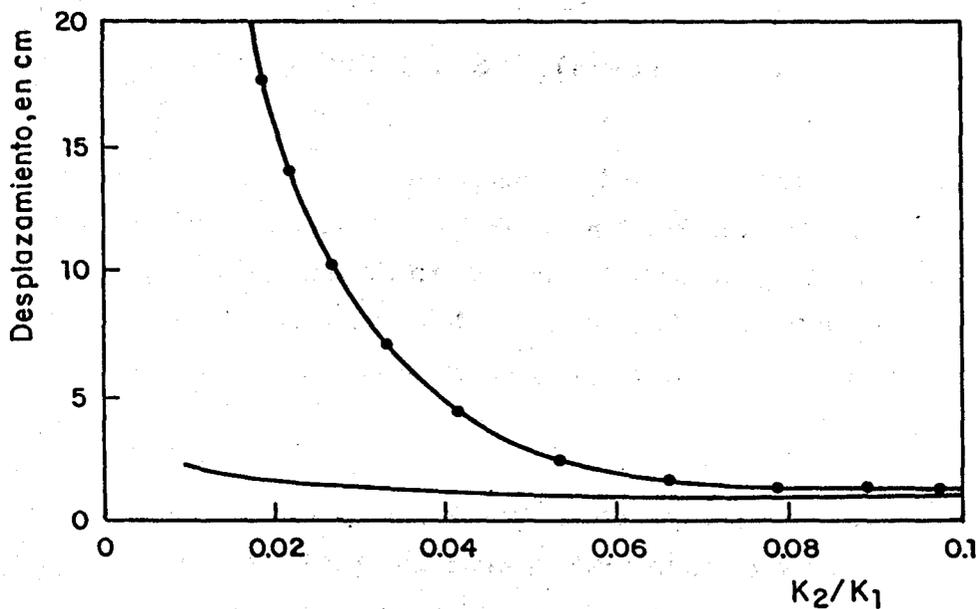
Las curvas fuerza-desplazamiento ($F-d$) de los disipadores de acero en forma de U, que obtienen en el laboratorio Aguirre M y Sánchez A R, (1992), presentan lazos histeréticos que varían según el nivel de desplazamiento que preestablecen en el experimento. En las Figs. 6a-c se presentan relaciones $F-d$ correspondientes a tres niveles de desplazamientos. En ellas se observa que la rigidez de postfluencia (K_2) es mayor para desplazamientos pequeños (+ 0.01 m) que para los grandes (+ 0.03 m).

Debido a lo anterior en el presente estudio se calculan las respuestas de los edificios aislados bajo la suposición de que K_2 adquiere valores entre 3% y 10% de la rigidez inicial K_1 . Los modelos bidimensionales de los edificios con sistemas aislador-disipador se excitan con las dos familias de acelerogramas escalados y se obtienen los desplazamientos máximos relativos de la base de las superestructuras con respecto a la de los aisladores. En las Figs. 10 a-b se presentan

los promedios de dichos desplazamientos para diferentes relaciones K_2/K_1 , correspondientes a los casos I y II, con y sin efectos $P-\Delta$. En dichas figuras se aprecia que los desplazamientos máximos relativos, para relaciones K_2/K_1 pequeñas ($K_2/K_1 < 0.04$), alcanzan valores muy altos cuando se considera que los elementos aislantes se representan mediante columnas de 0.87 m de altura y se toman en cuenta los efectos $P-\Delta$.



a) Caso I



b) Caso II

Fig. 10 Desplazamientos máximos medios de la base de la superestructura respecto a la base del aislador.

Sin embargo estos valores resultan exagerados ya que por lo general la altura de estos elementos es menor que 0.87 m. Un fenómeno similar al mencionado previamente ocurre en edificios con piso bajo débil (Ruiz S E y Diederich R, 1989).

ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

En las Tablas 3 y 4 se comparan los costos iniciales de las estructuras con y sin sistemas de aisladores y disipadores, correspondientes a los casos I y II. De estas se deduce que el valor del sistema aislador-disipador (A-D) es relativamente alto con respecto al costo de la estructura esquelética empotrada incluyendo costos de cimentación (60.5 y 52.5 % para los casos I y II, respectivamente). Sin embargo, al compararlo con el costo de la misma pero tomando en cuenta los elementos no estructurales y los acabados, dicho porcentaje es mucho menor (6 y 5.6 % para los casos I y II, respectivamente). Se hace la observación de que los porcentajes antes mencionados son aplicables a edificios sin lujo, como los estudiados aquí (escuela pública). Sin embargo para edificios que tienen un mayor valor no estructural (equipo, instrumentación, acabados, etc) el porcentaje del valor del sistema A-D con respecto al costo total resulta más bajo.

Tabla 3. Costos del edificio con y sin sistema aislador-disipador (A-D), en dólares.
Caso I (Viveros).

Concepto	Sin sistema A-D	Con sistema A-D
Columnas	Acero long.	8 830.
	Acero transv.	20 860.
	Concreto	28 066.
Trabes	Acero long.	23 018.
	Acero transv.	21 018.
	Concreto	40 360.
Cimentación	32 736.	38 567.
Subtotal (costo directo)	174 888.	180 114.
Aisladores		14 260.
Disipadores		18 420.
Estruc. adicional		160 797.
Instal. adicionales		6 522.
Subtotal (costo directo)		99 999.
Costo total estimado del edificio	1'666 683.	1'771 911.

Tabla 4. Costos del edificio con y sin sistema aislador-disipador (A-D), en dólares.
Caso II (Acapulco).

Concepto		Sin sistema A-D	Con sistema A-D
Columnas	Acero long.	17 136.	8 832
	Acero transv.	20 860.	20 860
	Concreto	28 043.	28 172.
Trabes	Acero long.	30 490.	26 778.
	Acero transv.	21 021.	21 021.
	Concreto	40 209.	40 145.
	Cimentación	32 736.	38 567.
Subtotal (costo directo)		190 495.	184 375.
Instal. adicionales	Aisladores		14 260.
	Disipadores		18 420.
	Estruc. adicional		60 797.
Subtotal (costo directo)			6 522.
Subtotal (costo directo)			99 999.
Costo total estimado del edificio		1'793 508.	1'887 531.

CONCLUSIONES

La inclusión de sistemas aisladores-disipadores como los que aquí se estudian constituyen una solución estructural satisfactoria para edificios con periodos de vibración intermedios ubicados en terrenos con periodos dominantes bajos. Si dichos edificios se ubican en sitios con periodos intermedios la solución es menos eficiente. Lo anterior se comprueba en este estudio mediante los resultados de dos edificios con aisladores ubicados en la zona II (suelo intermedio) de la Ciudad de México (caso I) y en la zona dura de Acapulco, Gro. (caso II). En este último la eficiencia (en cuanto a reducción de cortante de diseño y costos iniciales) del sistema aislador es mayor que para el I (aunque en este caso la solución también es aceptable).

Se concluye que en promedio los cortantes de diseño en el caso I se reducen aproximadamente 40 % con respecto a los que se obtienen si la estructura estuviese empotrada. Para el caso II dicha reducción es mayor (50 % aproximadamente). Resultados parecidos a éstos, se obtienen en (Ruiz, S E, Esteva, L y Guerra, O R, 1977).

Del análisis económico se concluye que el porcentaje del incremento del costo de construcción del edificio con sistema aislador-disipador con respecto al costo de un diseño convencional es menor para el caso II (5.24 %) que para el I (6.3 %). Esto se debe en parte a que en el caso I el diseño del edificio con aislamiento está gobernado por el efecto de las cargas gravitacionales y no por la combinación de estas más las sísmicas.

En particular, el costo de la cimentación del edificio con aisladores (tipo cajón) es superior al costo de la correspondiente al edificio convencional (zapatas ligadas mediante contratrabes). Dicho incremento es aproximadamente de 18%. Este porcentaje no toma en cuenta el costo del sistema aislador-disipador, ni de estructura e instalaciones adicionales (ver Tablas 3 y 4).

Sin embargo, debe subrayarse que la decisión de incluir un sistema aislador-disipador en un edificio no debe basarse sólo en un estudio de costos iniciales como el presente, sino en uno que incluya, además, costos de mantenimiento, reparación de los elementos estructurales, reposición de los no estructurales y de dispositivos disipadores, y pérdida de renta como consecuencia de los daños en el edificio después del sismo.

De los análisis de este estudio se concluye que en promedio los cortantes de diseño correspondientes a los modelos de marcos planos aislados, en el caso I se reducen aproximadamente 40 % con respecto a los que se obtienen si la estructura estuviese empotrada. Para el caso II dicha reducción es de 50 %, aproximadamente. Ruiz S E et al (1977) obtienen resultados similares a estos. Para el diseño de los edificios aislados aquí se adopta un porcentaje de reducción de fuerzas cortantes de 45 % con respecto a las que se presentarían si estuviesen empotrados, para ambos casos. Si se hubiese adoptado un 50% de reducción (para el caso II) en lugar del 45% antes mencionado, el porcentaje del incremento del costo inicial del edificio aislado habría resultado ligeramente menor que lo que se indicó anteriormente (5.24%). Sin embargo, para el caso I, el hecho de reducir más las fuerzas cortantes de diseño no repercutiría en el costo inicial de la estructura, ya que en este caso el diseño lo rigen las fuerzas gravitacionales.

El promedio de los desplazamientos máximos (para cada conjunto de acelerogramas) relativos entre la superestructura y la base del aislador que se obtienen con modelos de cortante y con modelos bidimensionales presentan discrepancias del orden de 6% para el caso I, y 20% para el II.

Reconocimientos

Se agradece a E Rosenblueth la revisión crítica del primer manuscrito, a R GonzálezAlcorta sus comentarios y su participación en las pruebas de vibración ambiental; a las autoridades de la Escuela Secundaria No 168 haber permitido realizar dichas pruebas, y a Agustín Escobar haber proporcionado los planos arquitectónicos del edificio y haber motivado parte de este estudio. Asimismo, se reconoce la entusiasta colaboración de A Nieto Espino en la primera parte del proyecto. El presente estudio fue patrocinado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, dentro del proyecto IN306701.

REFERENCIAS

- Aguirre, M y Sánchez, A R, "Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica", *Revista Construcción y Tecnología*, IMCYC, Vol I, No 10, México, D F, pp 718, 1989.
- Aguirre, M y Sánchez, A R, "A structural seismic damper", *J. of Structural Engng., ASCE*, Vol. 118, No. 5, pp. 1158-1171, 1992.
- González Flores M, "Experiencias realizadas para llevar a la práctica el sistema de eliminar los esfuerzos peligrosos de los temblores", V Congreso Mexicano de la Industria de la Construcción, Tijuana, B C, 1964.
- Nieto Espino, A, "Análisis dinámico de una estructura sobre aisladores sísmicos", Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1992. ..
- Powell, G H, "DRAIN-2D user's guide", *Research report EECR No 7322, Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley, oct 1973.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Diario Oficial, 3 de julio de 1987, México, D. F.
- Reglamento de Construcciones para el Estado de Guerrero, Informe de investigación, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1991.
- Ruiz, S E, Esteva, L y Guerra, O R, "Desarrollo y evaluación de sistemas para limitar las acciones sísmicas sobre edificios", *Revista Ingeniería*, XLVII, No 2, pp 143 153, abril junio 1977.
- Ruiz, S E y Diederich, R, "The seismic performance of buildings with weak first storey", *Earthquake Spectra*, Vol 5, No 1, pp 89 102, feb 1989.
- Ruiz, S.E. y Sosa, A., "Construction costs and structural behavior of isolated buildings on different soil types", *ATC-17 Seminar on seismic isolation passive energy dissipation and active control*, San Francisco, Cal., march 11-12, 1993.
- Sosa, A, "Comportamiento y costos de edificios soportados sobre aisladores sísmicos", Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, DEPI, UNAM, sep 1992.
- "SUPERETABS. An enhanced version of the ETABS program", Informe a la NSF, J G Bouwkamp, Inc, Engineering Consultants, EEUU.