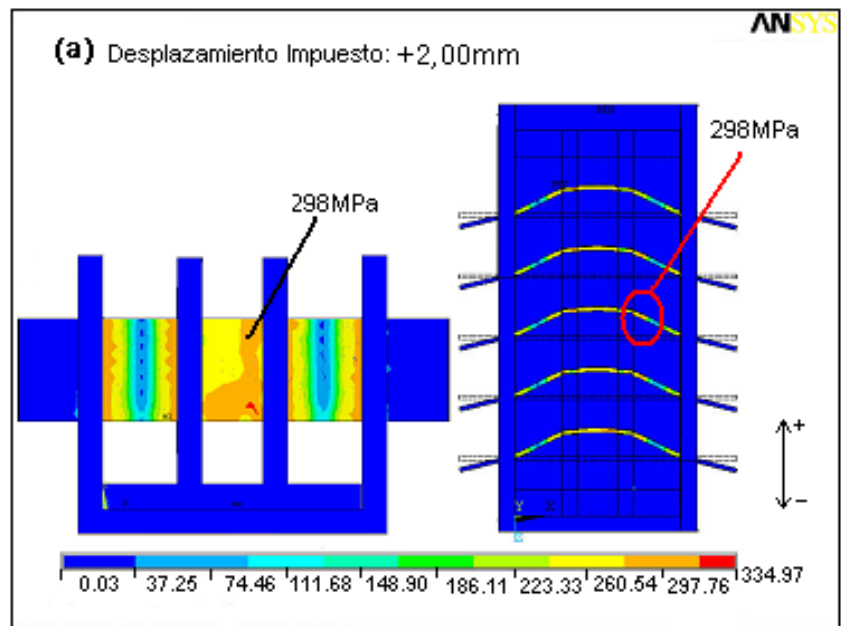


Capítulo 7

Diseño, Construcción y Evaluación de un Disipador de Energía Metálico



Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela

Informe Técnico

Responsable: Oscar A. López (IMME–FI-UCV)

7.- DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN DISIPADOR DE ENERGÍA METÁLICO

7.1.- Introducción

El objetivo de esta investigación es el diseño, construcción y evaluación de un disipador de energía metálico en edificaciones de baja altura, el cual fue financiado parcialmente por este proyecto con la intención de aplicar los resultados en la protección de edificaciones escolares existentes contra la acción de los terremotos. El financiador principal fue el IMME y el CDCH-UCV a través del Proyecto de Investigación PI 02-00-5824-2007. En resumen se realizó la evaluación experimental del prototipo con la finalidad de caracterizar el proceso de disipación de energía del dispositivo. Se llevó a cabo un ensayo cuasi-estático que permite obtener las propiedades mecánicas y el comportamiento histerético del disipador. Finalmente, se analizó numéricamente el desempeño del disipador dentro de una estructura, que corresponde al modelo de una edificación escolar existente. En general, el dispositivo cumple con los siguientes requisitos: disipación de energía para un rango de pequeños desplazamientos de entrepiso, fuerza desarrollada y controlada en un rango apropiado, proceso de disipación estable y predecible, factibilidad constructiva, dimensiones manejables, fácil desmontaje y reemplazo una vez dañado.

Los participantes en esta investigación fueron:

- Prof. Carolina Tovar
- Prof. Angelo Marinilli
- Prof. José Romero
- Prof. Oscar A. López
- Tec. Iván Aponte
- Tec. Andrés Paredes
- Tec. Ramón Herrera

7.2.- El Disipador

El disipador desarrollado consiste en una caja metálica cerrada de dimensiones 15cmx15cmx32cm, aproximadamente, construida con planchas de acero, en cuyo interior está contenida una serie de láminas metálicas de pequeño espesor, que tienen como función disipar la energía inelásticamente a través de su deformación por flexión. La geometría puede ser vista en la Figura 7.1.

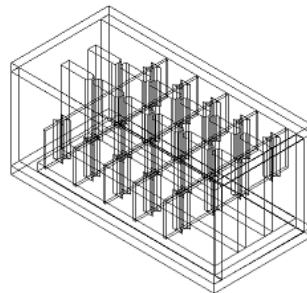


Figura 7.1.- Geometría del disipador de energía metálico propuesto.

El dispositivo tiene los siguientes componentes (Ver Figura 7.2): La parte externa, que consiste en cinco láminas de acero A-36 de 12 mm de espesor atornilladas conformando una caja. Las láminas laterales poseen cinco ranuras de 4mm de espesor, estas ranuras tienen bordes redondeados con acabado liso. La caja tiene sólo tapa posterior. La parte interna, consiste en tres láminas de acero A-36 de 12 mm de espesor. Las láminas verticales tienen cinco ranuras de 4mm de espesor con bordes redondeados de acabado liso. Esta pieza posee una tapa frontal. La última parte constituye el elemento disipador propiamente dicho, está conformada por cinco pletinas de acero A-36 de 3mm de espesor que irán a través de las ranuras de las partes externa e interna anteriormente descritas.

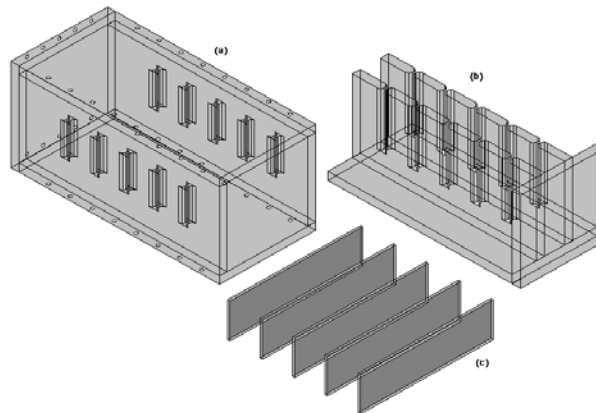


Figura 7.2.- Componentes del disipador de energía metálico propuesto. (a) Parte externa (Caja). (b) Parte interna (Pi). (c) Láminas cedentes.

El dispositivo se accionará a través del desplazamiento experimentado por el edificio durante un terremoto. Esta acción se traduce en una carga aplicada en el centro de la tapa frontal, que hará que la parte interna se deslice dentro de la caja. Cuando ocurra ese desplazamiento, las láminas se deformarán a flexión hasta sobrepasar el límite elástico del material y comenzarán a disipar la energía introducida por el sismo. Debido a la particular geometría (Caja cerrada), el disipador de energía puede ubicarse dentro del sistema estructural de la edificación en cualquiera de las cuatro formas propuestas por Skinner *et al.* (1975) mostradas en la Figura 7.3.

En el dimensionado de los componentes del disipador se considera que las piezas externa e interna tendrán un comportamiento elástico, mientras que las láminas tendrán un comportamiento inelástico con deformaciones permanentes y daño.

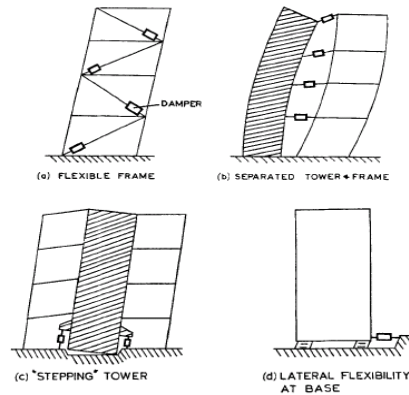


Figura 7.3.- Posibles ubicaciones del disipador de energía propuesto en un sistema estructural.

7.3.- Modelos de Predicción del Comportamiento del Disipador

7.3.1.- Modelo Analítico

Este modelo, permite realizar una primera estimación de la deformación elástica máxima que puede experimentar el disipador y la carga que la produce. Se trata de un modelo que utiliza los conceptos básicos de resistencia de materiales. Cada lámina cedente se idealiza como una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales ubicadas a un tercio y a dos tercios de la distancia entre apoyos (L), respectivamente, quedando el tercio central trabajando a flexión pura como se muestra en el diagrama de momento flector de la Figura 7.4.

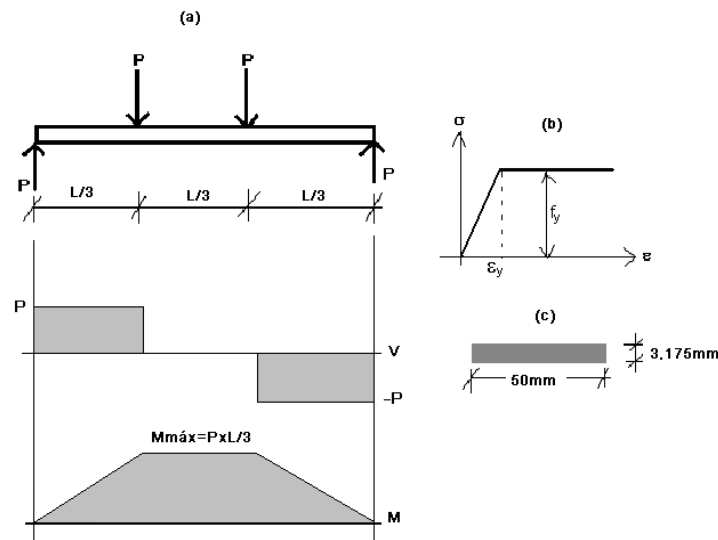


Figura 7.4. (a) Diagrama de fuerza cortante y momento flector para viga en flexión pura. (b) Modelo elástico perfectamente plástico para el acero. (c) Sección transversal de las láminas.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7.1. La carga P representa la carga máxima estimada que puede ser aplicada a la lámina, para incursionar en el rango inelástico.

La flecha de la lámina representa la deflexión elástica máxima esperada bajo la carga P. La carga total entonces que se debe aplicar al disipador, según este modelo, para iniciar la cedencia de las cinco láminas estará alrededor de 442.50 kgf, produciendo una deflexión elástica máxima de 1.90mm en cada una de ellas.

Tabla 7.1.- Resultados obtenidos al aplicar el modelo de predicción analítico.

L(mm)	b(mm)	h(mm)	$I_x(\text{mm}^4)$	M_{\max} (Elast.) Kgf.mm	M_{\max} (Inelast.) Kgf.mm	P(kgf)	f(mm)
126	50	3.175	133.36	2478.2	3717.23	88.50	1.90

7.3.2.- Modelo Numérico

Con la finalidad de predecir el comportamiento que tendrá el disipador, estimar la fuerza y desplazamiento correspondiente al inicio de la plastificación, y establecer zonas de posible daño, se realizó un modelo de simulación numérica. Para ello se utilizó el programa comercial de análisis por elementos finitos Ansys 10.0 (Ansys, 2005).

En la Figura 7.5 se observa la geometría del disipador configurada en la interfase gráfica del programa. Ésta fue simplificada en buena medida para minimizar el esfuerzo computacional requerido, sin que esto significara la alteración del principio de acción del disipador.

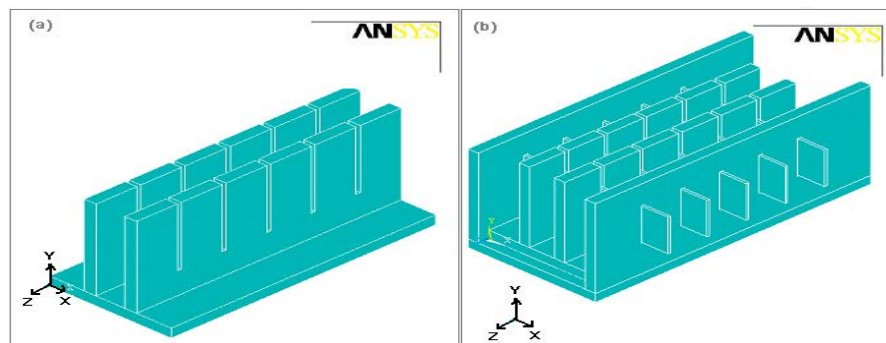


Figura 7.5. Modelo numérico: Geometría.
(a) Parte interna. (b) Geometría completa.

Para discretizar los sólidos que componen el modelo, se utilizaron elementos tetraédricos de veinte nodos, “solid 186” en Ansys, garantizando mayor precisión en los resultados y convergencia de la solución. Para simular el contacto entre los componentes, en este caso, tanto entre la cara interna de la base de la caja y la cara externa de la base de

la “pi” invertida, como entre las ranuras y las láminas se utilizaron los elementos “targe120” y “conta174”.

Se consideró una malla refinada en las zonas donde se supone habrá concentración de tensiones como en las ranuras y en las láminas cedentes, y menos refinada en las áreas en las que se supone no habrá tensiones importantes, como en el resto de las partes exterior e interior del dissipador. Esta malla está constituida por 63654 elementos y 93173 nodos y se muestra en la Figura 7.6.

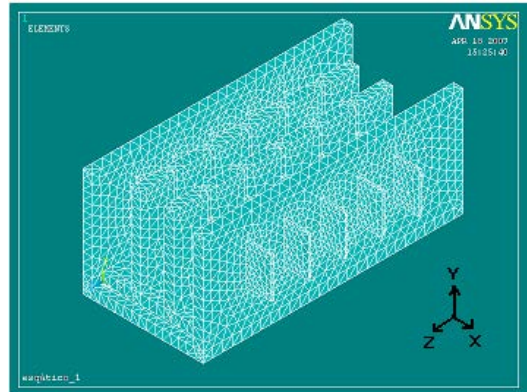


Figura 7.6.- Discretización del modelo numérico.

Las condiciones de contorno aplicadas al modelo se muestran en la Figura 7.7(b). Se restringen todos los desplazamientos en la cara anterior y posterior de la caja, ya que se supone que esta conexión será empotrada. En la parte superior de la pieza interna se restringen los desplazamientos en X y en Y, para poder permitir el deslizamiento entre las partes y se ejecute el principio de acción del dissipador. En las láminas se restringen los desplazamientos verticales en su cara superior. De esta manera queda libre el desplazamiento en Z, que es la dirección en la que debe ocurrir el deslizamiento.

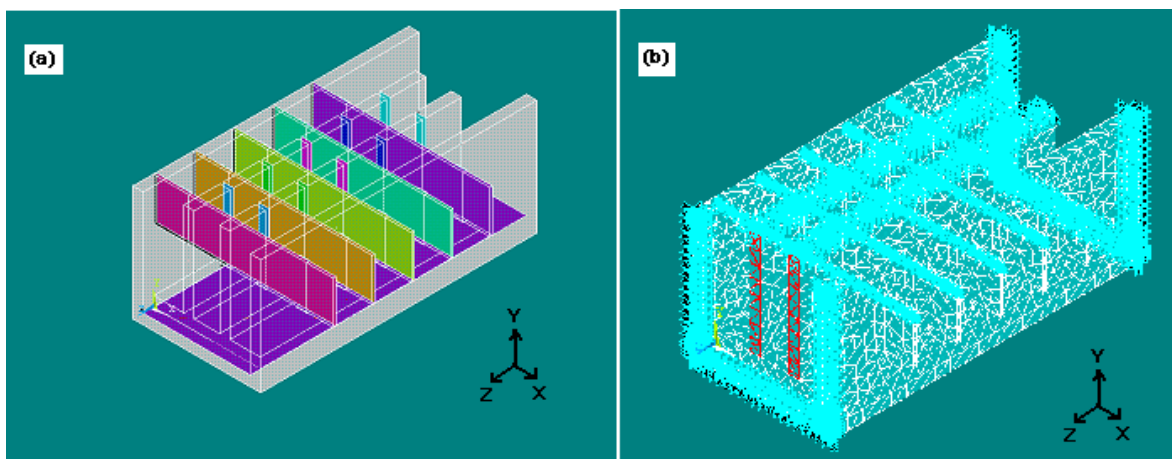


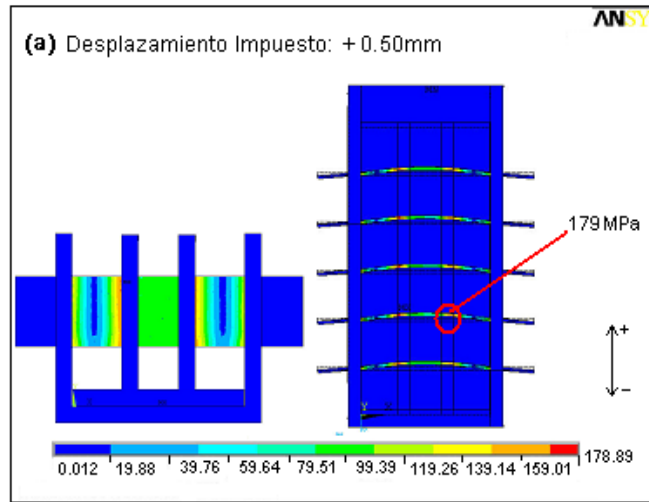
Figura 7.7.- (a) Elementos de contacto. (b) Condiciones de contorno.

En cuanto a las cargas, se impone una secuencia creciente de desplazamientos alternantes en las áreas frontales de la pieza interna. La variación entre cada desplazamiento

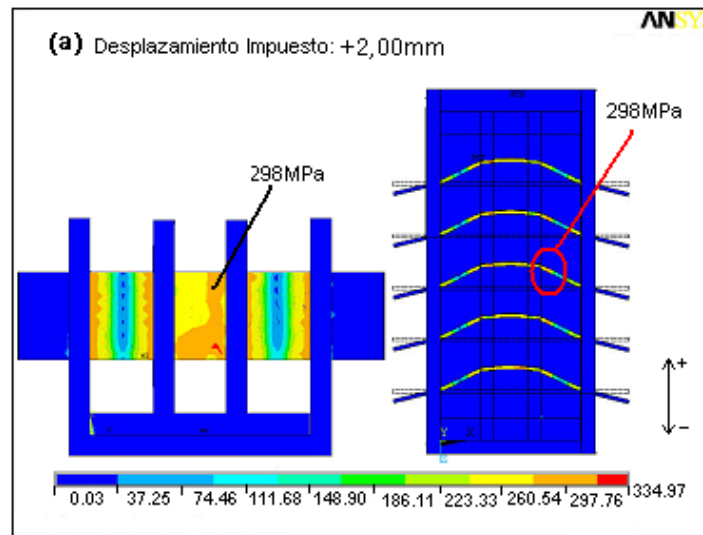
es de 0.25mm hasta un máximo de 6mm, tomando en cuenta que luego de la cedencia se pueden producir deformaciones mucho mayores que la deformación elástica máxima.

A continuación se presentan los resultados más representativos del análisis por elementos finitos bajo las condiciones descritas anteriormente, con el programa Ansys.

La Figura 7.8, presenta la distribución de tensiones y deformada para un desplazamiento impuesto de 0.50mm en sentido positivo. En este caso de carga la distribución de tensiones indica un patrón uniforme para la caja y la pieza interna, con una tensión de 0.012MPa (0,12 kgf/cm²) en término medio, situándose entre los menores valores obtenidos. En las láminas se observan tensiones muy bajas hacia los extremos, similares a las de la caja y pieza interna. En la zona donde se aplica la carga se aprecia cierta concentración de tensiones, justo donde las láminas hacen contacto con la pieza interna. Para una tensión entre 139.14MPa (1391.4 kgf/cm²) y 178.89MPa (1788.9 kgf/cm²). En la parte central de las láminas se observa una distribución uniforme, para una tensión media de 99.39MPa (993.9 kgf/cm²). La deformación de las láminas es la típica de un elemento sometido a flexión. En esta etapa el disipador se encuentra totalmente en el rango elástico, hecho que se verifica porque en ninguna región de las láminas se sobrepasa la tensión cedente del material (295MPa, 2950 kgf/cm²). La deformación que se presenta en las láminas es la deformación característica de las vigas a flexión y se muestra acorde con el desplazamiento impuesto. Como modelo de predicción de la fuerza y deformación de inicio de la plastificación, se observa que la incursión en el rango inelástico comienza en las zonas de contacto de las láminas, para desplazamientos entre 1.00mm y 1.25mm. Sin embargo, al analizar cuidadosamente las distribuciones de tensiones, se advierte que es a partir de un desplazamiento de 1.75mm que parte importante de la superficie en la lámina se encuentra en cedencia, situación que se consolida cuando la deformación alcanza los 2.00mm, situación mostrada en la Figura 7.9, en la que las láminas exhiben una distribución de tensiones heterogénea, con excepción de los tramos extremos, que al igual que la caja y la pieza interna conservan valores muy bajos y uniformes. Se observa que las tensiones predominantes están limitadas por 260.54MPa (2605.4kgf/cm²) y 297.76MPa (2977.76kgf/cm²), con una leve tendencia a superar éste último valor. En este sentido, el entorno planteado manifiesta una mínima discrepancia entre el modelo numérico y el modelo analítico, pues en este último se predijo una deformación elástica máxima de 1.90mm y una fuerza de 885N (88.5kgf) para una lámina.



**Figura 7.8.- Distribución de tensiones de Von Mises (en MPa).
 Para un desplazamiento impuesto de +0.50mm.**



**Figura 7.9.- Distribución de tensiones de Von Mises (en MPa).
 (a) Para un desplazamiento impuesto de +2.00mm.**

7.4.- Evaluación Experimental

La evaluación experimental del dispositivo se llevó a cabo en la Nave de Ensayos Especiales del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (NEE-IMME-UCV). Este proceso se realizó a través de dos ensayos efectuados en modo cuasi-estático. Se programó un desplazamiento alternante en diente de sierra, con velocidad constante de aproximadamente 0.02mm/seg., e incrementos de amplitud de la función a razón de 2mm por ciclo, ver Figura 7.10.

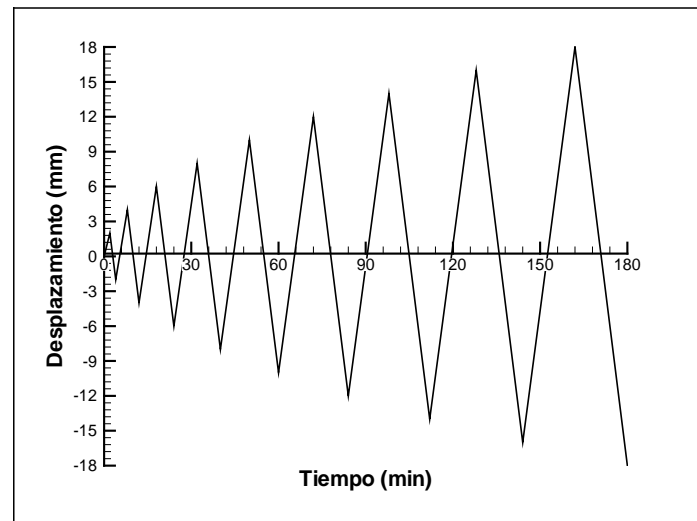


Figura 7.10.- Evolución temporal del desplazamiento en el disipador.

El primer ensayo se hizo a modo de calibración, para comprobar que la velocidad y amplitud del desplazamiento eran adecuadas. En el segundo ensayo, se estudió la estabilidad de los ciclos histeréticos, por ello al alcanzar el máximo desplazamiento esperado (18mm) se repitió el ciclo cinco veces, según el mínimo requerido por las normas FEMA 450 (FEMA 450, 2003).

El equipo utilizado para llevar a cabo los ensayos consta de los siguientes componentes: Dos gatos hidráulicos, de 20 tf de capacidad, dispuestos para aplicar carga horizontal en sentido positivo y negativo, equipado con su correspondiente celda de presión y un sistema de alimentación y control de los actuadores en lazo cerrado. Para activar el mecanismo de acción del disipador se diseñó y construyó un artefacto especial, cuya función es transmitir al disipador las cargas aplicadas por los cabezales de los gatos hidráulicos, lo cual se manifiesta a través del desplazamiento horizontal de la pieza interna del dispositivo y posterior deformación por flexión de las láminas. En la Figura 7.11 se muestran algunos de los dispositivos antes mencionados, como se observa, fueron fijados y acoplados mediante uniones atornilladas a un banco de acero.

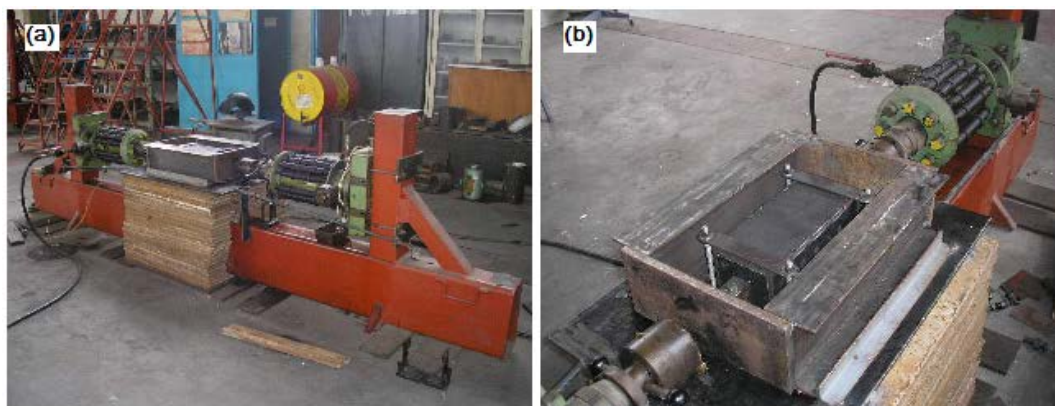


Figura 7.11. (a) Perspectiva general del equipo de ensayo, (b) Detalle del alojamiento del disipador.

El disipador se instrumentó con un transductor de desplazamiento (LVDT) acoplado al sistema en la parte superior de la caja, tal y como se muestra en la Figura 7.12.

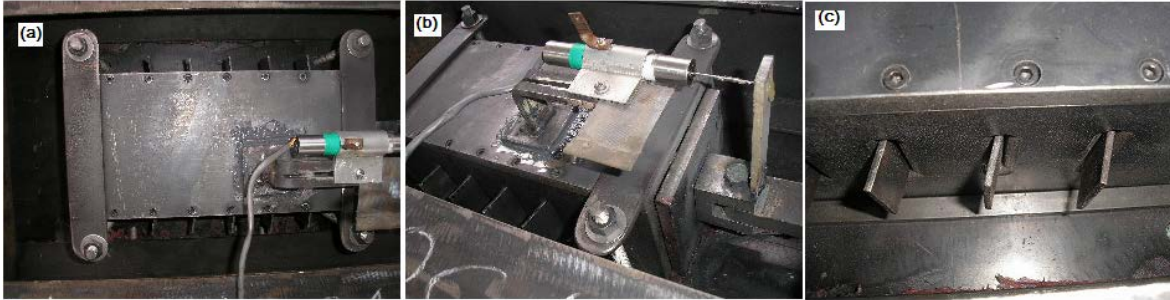


Figura 7.12.- Instrumentación: (a) Ubicación del transductor de desplazamiento, (b) Detalle de las conexiones del transductor de desplazamiento. (c) Detalle de la deformación experimentada por las láminas.

En la Figuras 7.13(a) y 7.13(b) se aprecian las curvas histeréticas que resultaron de los ensayos 1 y 2, respectivamente. En primer lugar se observa una similitud entre los comportamientos registrados en los dos ensayos, pues las curvas obtenidas son muy similares. En ambos casos los ciclos presentados tienen una forma bien definida, a medida que aumenta la amplitud del desplazamiento las curvas se van tornando más anchas y los ciclos más robustos, sin embargo, al inicio se nota la presencia de un estrangulamiento. Este efecto es debido al deslizamiento que ocurre entre las láminas y los bordes de las ranuras cuando se hace efectiva la deformación por flexión en dichas láminas. Dentro del comportamiento del disipador esto se considera aceptable, puesto que se observa muy marcado sólo en los primeros ciclos y aunque en los ciclos 5 y 6 aún se nota un muy leve estrangulamiento, luego el efecto desaparece y se comienza a observar mayor amplitud en las curvas.

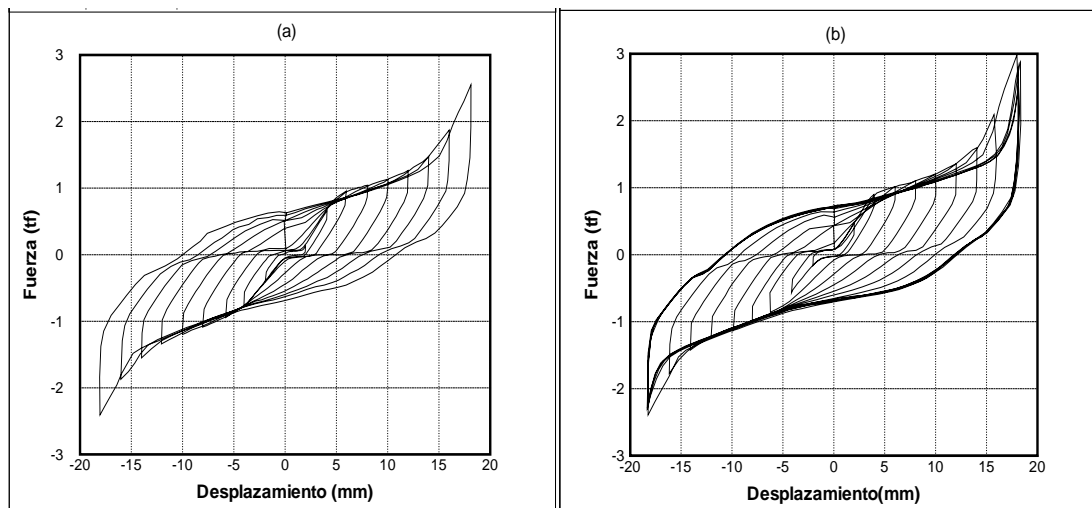


Figura 7.13.- Comportamiento experimental del disipador: Ciclos histeréticos, (a) Ensayo 1, (b) Ensayo 2.

También se puede notar que el endurecimiento del acero tiene un efecto importante en el comportamiento del disipador, ya que luego de la cedencia se observa que al aumentar el desplazamiento siempre se incrementa la fuerza. Por otro lado, no se registró caída de la resistencia durante los ensayos para ninguno de los ciclos de histéresis.

Resulta importante destacar la estabilidad que muestran los ciclos de ambos ensayos. Incluso, en el segundo ensayo, en el que se repitió el máximo desplazamiento cinco veces, los ciclos no sufrieron alteraciones importantes, no se observó pérdida de resistencia ni de la capacidad de disipar energía. La pérdida de rigidez registrada fue muy leve.

A partir de desplazamientos superiores a los 14mm se aprecia un aumento de la resistencia en las curvas. Este efecto se produce por la traba mecánica de las láminas.

La energía disipada acumulada tiende a incrementarse a medida que aumenta el número de ciclos y por ende la amplitud de los desplazamientos impuestos. Para el total de ciclos desarrollados en cada ensayo no se registró pérdida de la capacidad de disipación de energía.

El desplazamiento y la fuerza cedente se pueden determinar fácilmente, pues es claro el cambio de pendiente que ocurre en las curvas pudiéndose establecer claramente la zona lineal elástica y la zona de plastificación-endurecimiento. Dadas las características de las curvas un modelo bilineal con endurecimiento es el que se ajusta de manera adecuada al patrón de comportamiento.

En la tabla 7.2 se pueden apreciar los valores correspondientes a las fuerzas y desplazamientos de inicio de plastificación para los ensayos realizados, asimismo se muestran los valores máximos y promedios. En resumen se puede decir que en término medio el disipador desarrolló un desplazamiento cedente alrededor de 3.99mm y una fuerza cedente de 0.85tf (8500N).

Tabla 7.2.- Valores de fuerza y desplazamientos asociados al comportamiento experimental del disipador.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Valor medio
Desplazamiento Cedente (mm)	4.16	3.81	3.99
Fuerza Cedente (tf)	0.81	0.88	0.85
Fuerza Máxima (tf) (a los 14mm)	1.55	1.36	1.46
Fuerza Máxima (tf) (a los 18mm)	2.41	2.98	2.70

El daño observado en el disipador luego de los ensayos realizados fue tal como se había previsto en el diseño conceptual del mismo.

7.5.- Aplicación Numérica

Se analiza la estructura de un edificación escolar de concreto reforzado de configuración típica en Venezuela, denominada tipo “cajetón cerrado”, que forma parte del grupo de edificaciones estudiadas como parte del proyecto que lleva adelante el IMME conjuntamente con FEDE y FUNVISIS. Esta edificación está constituida por un módulo con planta en forma de “C”, sin presentar junta de dilatación alguna. En la Figura 7.14 se puede observar la configuración típica de este tipo de escuelas.

La estructura está conformada por siete pórticos en dirección transversal separados a 7.20m y seis pórticos en dirección longitudinal separados a 7.20m y 3.60m. En el sistema resistente todas las columnas son de sección cuadrada de 40cmx40cm, las vigas en dirección longitudinal son altas de sección rectangular de 40cmx60cm y las vigas en dirección transversal son planas de sección rectangular de 50cmx30cm. Para efectos de esta investigación se tomó uno de los pórticos transversales más cargados de la estructura descrita anteriormente. Se modeló como un pórtico plano de tres pisos, con periodo fundamental (T) de 1.00seg., masas concentradas en el centro de las vigas, tomando la condición de diafragma rígido y considerando un amortiguamiento (ξ) del 5% para cada uno de los modos de vibración.

En la Figura 7.15 se aprecia gráficamente el sistema estudiado y sus propiedades dinámicas se muestran en la tabla 7.3. La rigidez K_f es la rigidez total del piso, se consideró una resistencia para el concreto (f'_c) de 210 kgf/cm² y un módulo de elasticidad (E) de 213546 kgf/cm².

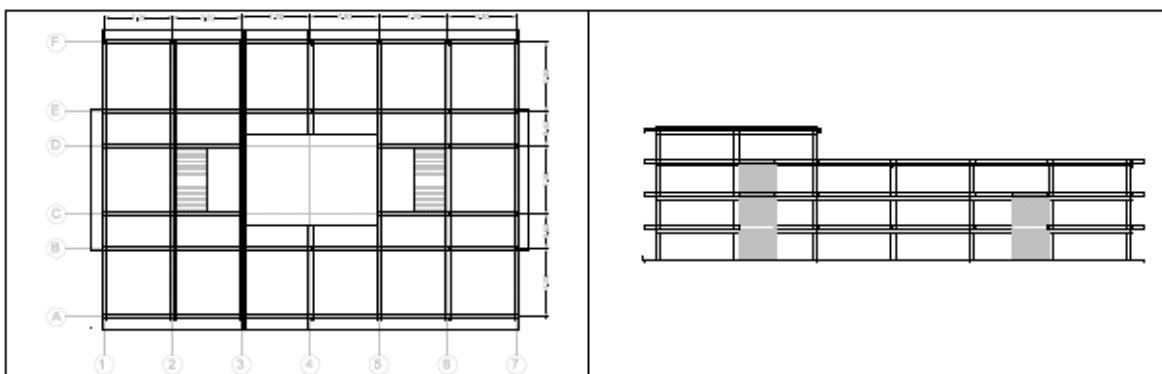


Figura 7.14.- Plano de planta (izquierda) y pórtico en dirección longitudinal (derecha) (Sosa y Taboada, 2007).

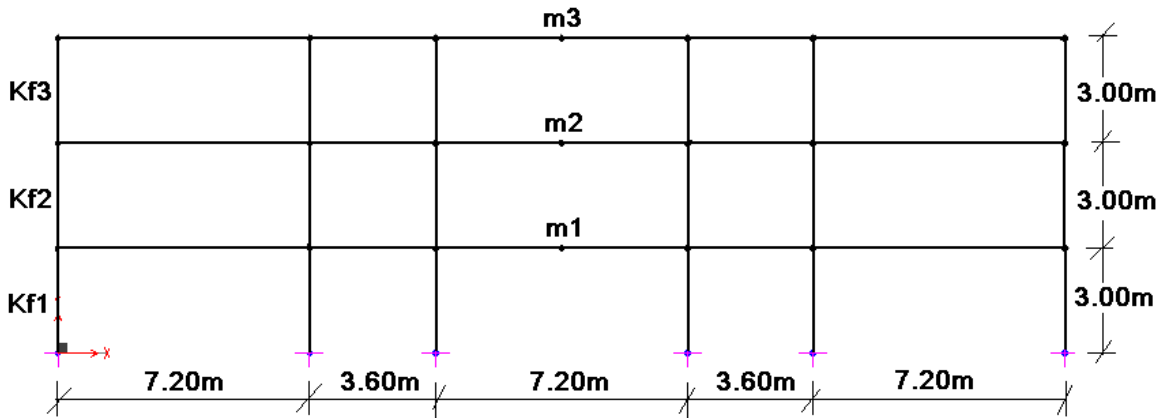


Figura 7.15.- Sistema estudiado para la aplicación numérica del amortiguador.

Tabla 7.3. Propiedades dinámicas del sistema estudiado.

Sistema Estructural	Piso	m (kgfseg ² /m)	Kf (kgf/m)
Pórtico	1	61000	23255813.95
	2	61000	23255813.95
	3	55000	11494252.90

Para la inclusión de los amortiguadores propuestos en una estructura y evaluar la eficacia de los mismos, es necesario formular un procedimiento de diseño. Con base en la metodología presentada por Tsai *et al.*, (1993) y a las consideraciones de diseño explicadas en Soong y Dargush (1997) se estableció el procedimiento de adaptación de los amortiguadores a una estructura, el cual puede verse en Tovar (2008).

Para la obtención de las respuestas de las estructuras con y sin amortiguadores se utilizó el programa SAP 2000 v. 11.0. (SAP 2000, 2007). Los amortiguadores se modelaron como “links” tipo “Damper”. Se realizó un análisis lineal con los acelerogramas de El Centro, Taft y Miyagi-Oki. Los acelerogramas fueron normalizados para una aceleración máxima de 0.30g. Para ver el efecto de los amortiguadores las estructuras se comparan en términos de sus derivas de entrepiso, periodos de vibración y amortiguamiento modal. La Figura 7.16 muestra la disposición adoptada para los amortiguadores, se optó por una disposición uniforme y simétrica de los dispositivos tomando en cuenta que la estructura tiene período largo y es aporticada, para lo cual esta distribución resulta ser la más conveniente.

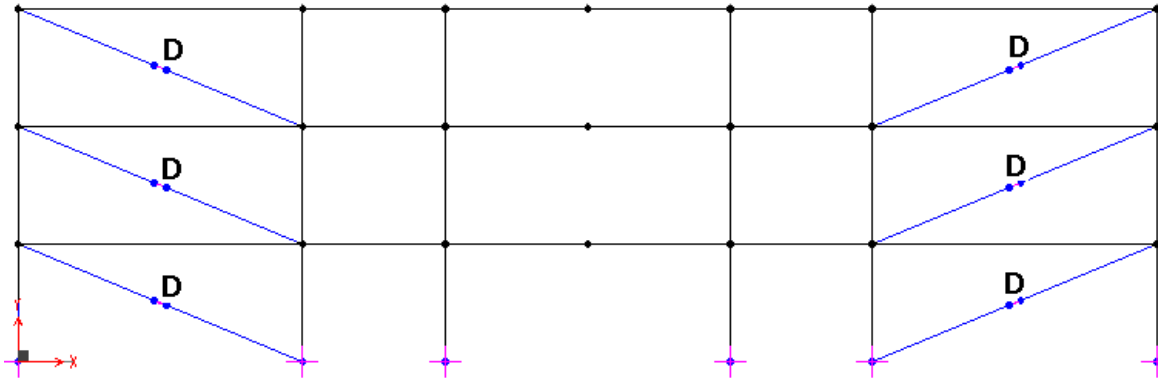


Figura 7.16.- Disposición adoptada para los amortiguadores.

En la tabla 7.4 se aprecian los valores obtenidos para los periodos (T_n) y amortiguamientos en cada modo de la estructura (ξ_n). Se ha denotado como “Caso s/a” a la estructura sin amortiguadores y como “Caso c/a” a la estructura con amortiguadores. Nótese que los periodos de vibración disminuyen en un 30% en término medio en todos los modos. Por otro lado, los amortiguamientos modales aumentan un porcentaje importante, así se observa que en el primer modo el amortiguamiento prácticamente se duplica y en los modos subsiguientes prácticamente se triplica y cuadruplica, respectivamente.

Tabla 7.4.- Valores obtenidos para el periodo (T_n) y el amortiguamiento (ξ_n) en cada modo de vibración.

Modo	T_n (seg)		ξ_n (%)	
	Caso s/a	Caso c/a	Caso s/a	Caso c/a
1	1.00	0.72	5.00	9.36
2	0.36	0.25	5.00	18.13
3	0.25	0.19	5.00	20.56

Las derivas de entrepiso se aprecian en la tabla 7.5 y su correspondiente porcentaje de reducción al incluir los dispositivos en el sistema. La estructura sin amortiguadores exhibe derivas de entrepiso que oscilan entre 7 por mil y 22 por mil, situándose gran parte de ellas fuera del límite permitido por la norma. Se observa que al incluir los dispositivos las derivas experimentan una reducción importante. En el primer entrepiso se reduce entre un 44.36% y un 69.46% al analizar la respuesta para los tres sismos investigados, y en los otros casos entre un 18% y un 50%. Ya en este escenario todos los valores quedan por debajo de los límites permitidos.

Estos resultados permiten inferir que la inclusión de los amortiguadores en la estructura investigada conlleva a un beneficio importante en la misma al reducir notablemente su respuesta, conviene entonces considerar esta propuesta como una opción de futura readecuación para este tipo de sistemas.

Tabla 7.5.- Valores obtenidos para las derivas de entrepiso (m).

Sismo	Piso	Caso s/a	Caso c/a	%r
EL Centro	1	0.0653	0.0221	66.16
	2	0.051	0.0325	36.27
	3	0.027	0.0146	45.93
Miyagi- Oki	1	0.0406	0.0124	69.46
	2	0.0327	0.0164	49.85
	3	0.0218	0.0076	65.14
Taft	1	0.055	0.0306	44.36
	2	0.0495	0.0401	18.99
	3	0.0359	0.0169	52.92

7.6.- Conclusiones

Se ha desarrollado una propuesta de disipador de energía metálico que consiste en una caja metálica cerrada de dimensiones 15cmx15cmx32cm aproximadamente, construida con planchas de acero, en cuyo interior está contenida una serie de láminas metálicas de muy poco espesor, que tienen como función disipar la energía inelásticamente a través de su deformación por flexión. El dispositivo cumple con los siguientes requisitos: Disipación de energía para un rango de pequeños desplazamientos de entrepiso, haciéndolo ideal para estructuras de baja altura, fuerza desarrollada y controlada en un rango apropiado, proceso de disipación estable y predecible evaluado numérica y experimentalmente, rigidez importante en el plano de deformación para evitar efectos de torsión durante el principio de acción del dispositivo, factibilidad constructiva y dimensiones manejables, debido a su geometría simple y sencilla, fácil desmontaje y reemplazo una vez dañado, bajo costo. El modelo numérico, aplicando el método de los elementos finitos, del disipador de energía contribuye a predecir las zonas de daño del dispositivo, mostrando congruencia con el diseño conceptual del mismo. En este sentido, se obtienen deformaciones permanentes, daño y disipación de energía en las zonas previstas, por lo que el modelo analizado bajo las cargas y condiciones estudiadas se comporta satisfactoriamente.

La evaluación experimental del dispositivo mostró que el comportamiento histerético del disipador es estable. Incluso, en el ensayo en el que se repitió el máximo desplazamiento cinco veces, los ciclos no sufrieron alteraciones importantes. El deslizamiento que ocurre entre las láminas y las ranuras cuando se hace efectiva la deformación por flexión y el endurecimiento del acero, tienen una influencia importante en el comportamiento del disipador. Para el total de ciclos desarrollados en cada ensayo no se registró pérdida de la capacidad de disipación de energía. El daño observado en el disipador luego de los ensayos realizados fue tal como se había previsto en el diseño conceptual. Al insertar el dispositivo propuesto en las estructuras y configuraciones investigadas se producen reducciones importantes en la respuesta del sistema.

7.7.- Referencias

- ANSYS v.10.0, Copyright 2005 SAS IP, Inc.
- FEMA 450 (2003). *The NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures*. Building Seismic Safety Council-National Institute of Building Sciences, Washington D.C.
- SAP 2000 Advanced 11.0.0, Structural Analysis Program, Copyright 1976-2007, Computer and Structure, Inc.
- Skinner R., Kelly J., and Heine A. (1975), “Hysteretic dampers for earthquake-resistant structures”, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.* Vol. **3**(3), 287-296.
- Soong T.T and Dargush G. F. (1997), “*Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering*”, John Wiley and Sons. Ltd., London (UK) and New York (USA).
- Sosa M. y Taboada A. (2007), “*Evaluación del riesgo sísmico en edificaciones escolares tipo cajetón cerrado*”, Trabajo especial de grado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Tovar C. (2008), “*Utilización de Disipadores de Energía en Edificaciones de Baja Altura*”. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Tsai, K-C, H-W Chen, C-P Hong and Y-F Su (1993), “Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction”, *Earthquake Spectra*, vol. **9**(3), 505-528.