CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A lo largo de los años, la filosofía de diseño sismo-resistente común se ha basado en proporcionar, a la estructura, la resistencia tal que ésta soporte las fuerzas laterales inducidas por los sismos, esto sin exceder un nivel aceptable de daño. Esta idea se mantiene en la actualidad; sin embargo, se han incorporado nuevos conceptos como disipación de energía, aislamiento de base y amortiguamiento inducido.

Los sismos que se han presentado en las últimas décadas, alrededor del mundo, han hecho inminente la búsqueda de diversas técnicas en el diseño sismo-resistente. Estas técnicas, relativamente nuevas, parten de la premisa de que no toda la fuerza sísmica debe resistirse elásticamente por la estructura principal, sino que puede recurrirse a estos métodos para, de alguna forma, conseguir que entre menor cantidad de energía al sistema o, alternativamente, que la cantidad de energía que ya ha entrado se distribuya de tal forma que cause el menor daño posible a la estructura principal.

Una de estas técnicas es el empleo de *mecanismos disipadores de energía*, cuyo objetivo es reducir el trabajo de los elementos estructurales principales; es decir, obligar a que la energía se disipe en ciertos puntos localizados, para evitar que los elementos principales se fatiguen, debido a las cargas cíclicas reversibles, como las ocasionadas por un sismo.

Para tener construcciones eficientes, atendiendo a su resistencia y economía, éstas deben diseñarse de tal forma que sean capaces de disipar grandes cantidades de energía, lo que se traduce en tener desplazamientos laterales de la estructura tales que provoquen la fluencia de sus miembros, conduciendo al incremento en el amortiguamiento. Las deformaciones inelásticas, por lo general se presentan en las conexiones viga-columna, lo que produce daño estructural. Es por ello que el uso de disipadores de energía es una buena alternativa para reducir el daño y mejorar el comportamiento de los edificios.

Los códigos vigentes para el diseño sismo-resistente consideran que las estructuras que cumplen los requisitos que éstos establecen y son capaces de disipar la energía introducida por un sismo. No obstante, aunque se ha estudiado la influencia de la resistencia y ductilidad en el comportamiento sísmico de las estructuras, aún no hay suficiente información para evaluar la demanda y capacidad de disipación de energía en las estructuras que se ven afectadas por un sismo.

Queda claro que es importante conocer o, al menos, estimar con buena certidumbre el comportamiento de las estructuras ante solicitaciones sísmicas. El ingeniero civil debe ser capaz de proporcionar a sus estructuras suficiente seguridad, como para que resistan las demandas sísmicas; cuando no se logra esto se presentan inminentes fallas en las estructuras como, por ejemplo, lo son la formación de articulaciones plásticas en los nudos, las fallas por piso débil, las fallas en la cimentación, etc.

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

1.2 Objetivos y alcances

En esta investigación se estudia la influencia que los dispositivos disipadores de energía del tipo ADAS (Added Damping and Stiffness), tienen en el comportamiento de los edificios, cuando son éstos sometidos a fuerzas sísmicas. El objetivo es investigar la influencia que los disipadores de energía tienen en edificios con distintas características dinámicas, apoyándose en criterios como la energía de entrada al sistema, la energía disipada y la respuesta de las estructuras, evaluada mediante su comportamiento en desplazamientos y cortantes en la base.

Se estudian dos casos teóricos; un edificio de cuatro niveles, edificio de periodo corto, y otro de veinte, edificio de periodo largo. Además, se analiza también un caso práctico, *La Torre Ángel*, que es un edificio que se construirá en el Distrito Federal, en la zona de transición. Como parámetros importantes para este estudio se analizan:

i) El periodo de la estructura

ii) En una primera instancia, es decir, solo para el edificio de periodo corto y no para el resto de los casos estudiados, el porcentaje de rigidez lateral que toman los dispositivos disipadores, con respecto al total.

iii) Los diferentes umbrales de cedencia, también conocidos como los límites fluencia, de los disipadores.

Se busca esclarecer cuáles variables deben ser consideradas al diseñar estructuras con disipadores, así como la influencia que cada una de estas variables tiene en el diseño.

Otro objetivo de esta investigación consiste en establecer un método para el diseño sísmico, empleando este tipo de dispositivos reductores; no se abarcará el diseño de los dispositivos detalladamente aunque sí se menciona el procedimiento para diseñar este tipo de sistemas disipadores.

CAPÍTULO 2

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Para alcanzar los objetivos planteados en esta tesis, se divide el estudio en las siguientes fases:

a) Descripción del estado actual del conocimiento sobre algunos de los distintos dispositivos reductores de respuesta que existen o se han usado, la forma en que estos mecanismos deben modelarse para conseguir representar su comportamiento y la manera en que los diferentes tipos de suelo influyen en la forma de trabajar de los edificios que contienen disipadores.

b) Análisis de la influencia que tienen en los edificios los disipadores, con comportamiento histerético; en particular, los sistemas tipo ADAS.

Para conocer la influencia que los disipadores de energía tienen en la respuesta de los edificios, se estudiarán, como ya se mencionó, dos casos teóricos y un caso práctico. El objetivo de analizar los dos casos teóricos es indagar los parámetros que deben considerarse al analizar edificios provistos de dispositivos reductores de respuesta histeréticos, y evaluar la influencia que cada uno de los parámetros estudiados tiene en el comportamiento de la estructura.

El caso práctico tiene como finalidad recapitular las experiencias adquiridas en los casos teóricos y utilizarlas en el diseño de un modelo cuyos parámetros, como la geometría o la distribución de rigidez lateral, no sean tan controlados como se logra en los casos de estudio teóricos.

2.1 Parámetros a evaluar

Los parámetros que se evaluarán para estudiar la influencia que los disipadores de energía histeréticos del tipo ADAS tienen en los edificios provistos de ellos son:

i) El periodo de la estructura. Se considera que este parámetro es de suma importancia, ya que en función del periodo de la estructura es que se obtienen las aceleraciones con las cuales se calculan las fuerzas sísmicas.

ii) El porcentaje de rigidez tomada por los ADAS. Dependiendo del porcentaje de rigidez que toman los dispositivos disipadores con respecto a la rigidez total del edificio se obtienen diferentes respuesta, ya que cuando los disipadores fluyen, estos pierden rigidez y hacen que el periodo global del edificio se alargue, así que dependiendo de la cantidad de disipadores que se tengan en la estructura variará *el periodo con respecto al periodo inicial.*

iii) El umbral de cedencia de los ADAS. El umbral de cedencia o límite de fluencia de los disipadores es un parámetro importante, ya que este debe

escogerse de tal forma que ante alguna fuerza relativamente pequeña, como la de un sismo de magnitud menor a la del sismo de diseño o la presencia de vientos no haga que los disipadores trabajen en el rango inelástico.

Para determinar la influencia de cada uno de los parámetros estudiados, es decir, el periodo de la estructura (T), el porcentaje de rigidez lateral tomada por los disipadores (K_{ADAS}) y el umbral de cedencia de estos últimos (Δ_y), expresados como una fracción del coeficiente sísmico (C_s), se analiza, como ya se mencionó con anterioridad, en primera instancia el caso teórico 1: *Edificio de cuatro niveles.* Posteriormente el caso teórico 2: *Edificio de veinte niveles* y, finalmente, el caso práctico; *La Torre Ángel.*

Los parámetros evaluados en este estudio se resumen de la siguiente manera:

Tabla 2.1
Parámetros evaluados

	T = 0,500 seg.			T = 2,000 seg.	T = 3,419 seg.
U_y f(C_s)	K_{ADAS} = 25 %	K_{ADAS} = 50 %	K_{ADAS} = 75 %	K_{ADAS} = 75 %	K_{ADAS} = 78 %
Lineal	*	*	*	*	*
0,2000	*	*	*	*	*
0,1500	*	*	*	*	*
0,1000	*	*	*	*	*
0,0500	*	*	*	*	*
0,0250	*	*	*	*	*
0,0125				*	

Una vez escogidos los parámetros a estudiar, cada uno de los edificios de los casos de estudio se analiza bajo la acción de distintos acelerogramas; así, para el edificio de periodo corto se hacen dos análisis: uno con el acelerograma

correspondiente al sismo de "El Centro", ocurrido en 1940 y registrado en una zona de terreno firme, y otro con la componente en la dirección Este – Oeste del acelerograma del sismo "CU", registrado también en una zona de terreno firme, ocurrido en 1985. Se escogen estos dos sismos de análisis para esta estructura porque, para conseguir que los dispositivos disipadores trabajen, es necesario que existan desplazamientos en el edificio, y una manera de lograrlo es que la frecuencia de excitación esté cercana a la frecuencia del sistema.

Debido a que los dos sismos empleados en el análisis de este edificio se registraron en suelo rígido, éstos tienen un contenido de frecuencias relativamente altas, lo que se asocia con periodos cortos, y por ello se espera que estos sismos de análisis hagan que trabajen los sistemas disipadores.

El edificio de veinte niveles, edificio de periodo largo, se analiza con la componente en la dirección Este – Oeste del acelerograma de SCT, registrado en terreno blando en 1985. Este mismo sismo se utilizó para el análisis de la *Torre Ángel*. Para estos casos, igual que para el caso de estudio 1, se eligen los acelerogramas de tal forma que se espera que se logre excitar los edificios con frecuencias cercanas a las frecuencias asociadas a los primeros modos de vibrar, de cada una de las estructuras analizadas.

De nuevo, se busca que los edificios estudiados sean, en principio, vulnerables a los diferentes sismos de análisis utilizados para cada uno de ellos. Esto va de la mano con la idea que se emplea en el diseño estructural, en el que se deben considerar todas las solicitaciones a las que puede verse sujeta una estructura,

estructura, para así garantizar la integridad de la misma; una vez que sea demandada su resistencia.

Para cada uno de los tres casos estudiados se hace un análisis, paso a paso, no lineal, considerando que la no linealidad se localiza exclusivamente en los dispositivos histeréticos y que el resto de sus componentes trabaja en el intervalo elástico. Se analizan las respuestas obtenidas, en cortante en la base, los desplazamientos absolutos, los desplazamientos relativos, las diversas energías y los ciclos histeréticos obtenidos para los disipadores, a fin de hacer un estudio de la influencia que este tipo de sistemas disipadores tienen en los edificios.

Es importante aclarar que, tanto para los cortantes como para los desplazamientos, se analizan y comparan los valores máximos pico a pico; pero también los valores máximos obtenidos en "rms" *root mean square* (raíz media cuadrática), ya que se considera que esta medida es un índice del comportamiento global, no así los valores pico a pico, que únicamente reportan los valores máximos obtenidos en algún momento de la historia de excitación a la cual se someten las estructuras.

Para el caso de las energías, se analizan y comparan la energía de entrada (E_I), la energía cinética (E_K), la energía disipada por el amortiguamiento propio de la estructura, llamada energía de amortiguamiento modal (E_D) y la energía disipada por histéresis en los dispositivos disipadores de energía (E_H), en este caso, los ADAS.

Finalmente, se hace un balance de todos los resultados obtenidos al evaluar cada uno de los parámetros, para ver la contribución de los disipadores en el comportamiento de los edificios.

2.2 Respuesta de los edificios

En cada uno de los edificios, después de hecho el análisis, se estudiará su respuesta tomando en cuenta los parámetros clásicos, como lo son los desplazamientos y los cortantes; pero, además, se analizará el comportamiento de los edificios atendiendo a parámetros que no son de uso tan común, como el enfoque energético y las ductilidades que presentan los disipadores de energía.

2.3 Hipótesis de está investigación

En esta investigación se parte de las siguientes hipótesis:

i) El uso de dispositivos disipadores de energía, tipo histerético, reduce la respuesta dinámica de los edificios cuando se ven sometidos a excitaciones sísmicas.

ii) Para dimensionar los dispositivos disipadores de energía existe una proporción de rigidez entre el edificio y el sistema de disipación de energía, así como un umbral de cedencia de los disipadores para los cuales se obtiene un comportamiento óptimo de la estructura.