

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"COMPORTAMIENTO DINAMICO DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO CON MECANISMOS REDUCTORES DE RESPUESTA SISMICA"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL PRESENTA: JUAN CARLOS HERNANDEZ AGUIRRE



MEXICO, D. F.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

INDICE

CAPITULO

PAGINA

l	INTRODUCCIÓN	1
11	REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE	
	DISIPACIÓN Y RIGIDIZACIÓN ACTUALES	3
111	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	
	SELECCIONADA	17
IV	MODELAJE MATEMÁTICO	20
V	ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NO LINEAL	25
VI	CONCLUSIONES	32
VII	REFERENCIAS	34
VIII	TABLAS Y FIGURAS	39
IX	AGRADECIMIENTOS	85

I.- INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La constante evolución de los reglamentos de diseño de estructuras, sobre todo en zonas de gran actividad sísmica, es la causa de que numerosos edificios queden fuera de las normas vigentes de construcción con el paso del tiempo. Esta situación genera la necesidad de rigidizar y reforzar las construcciones para elevar su capacidad resistente de acuerdo con las normas y garantizar asi un nivel de seguridad adecuado. En particular, el nuevo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, expedido en julio de 1987, exige que todas las estructuras cuya falla podria causar la pérdida de un número elevado de vidas humanas, pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, clasificadas como estructuras del grupo A, deberán ser reforzadas para cumplir los requísitos del nuevo reglamento, aún cuando

hubleran presentado un comportamiento satisfactorio durante los sismos de 1985.

> En el caso de sismos excepcionales como el que sufrió la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985 en la zona de terreno blando, el aprovechamiento de la ductilidad implica deformaciones inelásticas importantes que pueden producir agrietamientos indeseables o aún colapso en el caso de que no haya reservas de ductilidad local suficientes o tengan fallas frágiles prematuras.

> Como consecuencia de lo anterior, en el mundo se han intensificado el estudio de dispositivos externos para no depender de la ductilidad que puedan desarrollar las estructuras. Los estudios de laboratorio llevados a cabo por institutos de investigación muestran resultados muy promisorios; sin embargo, para la mayoría de ellos se han usado registros sismicos, reales o simulados, que no corresponden a tipo de temblores que con mayor frecuencia ocurren en la República Mexicana.

OBJETI VO

Este trabajo tiene como objetivo principal el comparar y evaluar la eficiencia de sistemas de rigidización (diagonales de acero y cables de presfuerzo), y de sistemas de disipación de energía (ADAS y Solera), al ser implementados en una torre de acero de 10 niveles. Dado que se pretende conocer la posibilidad implantar estos sistemas de una manera continua en de edificaciones en la Ciudad de México, se analizará el comportamiento de los modelos al ser sometidos a un sismo característico de la zona III (de alta compresibilidad del suelo). El registro utilizado es el correspondiente al de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT-EW), el cual ocurrió el 19 de septiembre de 1985.

II.- REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISIPACIÓN Y RIGIDIZACIÓN ACTUALES.

En los últimos años han ocurrido en todo el mundo gran número de temblores provocando enormes daños, por lo que se demuestra que aún existen incertidumbres en cuanto a los eventos sísmicos y en el comportamiento de las estructuras. Debido a lo anterior, se ha tenido la inquietud de encontrar dispositivos que reduzcan la respuesta sísmica de las estructuras por lo que en estos tiempos se han intensificado los trabajos de investigación sobre ellos.

Dentro de este ámbito, han surgido dos alternativas de sistemas para reducir la respuesta sísmica de las estructuras, una es por medio de dispositivos disipadores de energía y la otra es por sistemas de rigidización.

з

En cuanto a la primera alternativa, los estudios realizados en institutos de muchas partes del mundo han arrojado la conclusión de suministrar a las estructuras dispositivos externos de disipación de energia, los cuales disminuyen las demandas de ductilidad en los sistemas estructurales.

Los dispositivos que se han utilizado hasta el momento se han agrupado como función de su forma de trabajo en dispositivos pasivos y dispositivos activos.

DISPOSITIVOS DE CONTROL PASIVO

El comportamiento de este tipo de dispositivos depende de una manera directa del movimiento de la estructura, el cual es prestablecido por el diseñador. Hasta el momento se han desarrollado principalmente tres sistemas :

- Disipadores de energia
- Aisladores de base
- Osciladores resonantes

DISIPADORES DE ENERGÍA

Estos dispositivos basan su funcionamiento principalmente en los desplazamientos relativos de entrepiso que se presentan en la estructura. Estos son colocados generalmente en contravientos y su finalidad es disminuir o eliminar la disipación de energía asociada a las conexiones viga-columna de la estructura, aunque también han sido utilizados entre la cimentación y la estructura en combinación con aisladores de base [1]. De acuerdo con la manera en que disipan energía se pueden agrupar en:

- * Comportamiento elastoplástico
- Por estrusión
- Por fricción
- Comportamiento viscoelástico

COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO

Este comportamiento se muestra en la figura 1, en el cual se efectua la disipación de energía en una mayor medida al incrementarse el área dentro de la curva histerética. Por otro lado, la pendiente de la zona plástica depende de las características de cada dispositivo.

Un dispositivo que en los últimos años ha sido estudiado ampliamente es el mostrado en la figura 2, el cual consiste en dos placas en forma de U que disipan energía al desplazarse una cara con respecto a la otra, a esta deformación se le conoce con el nombre de "rolado por flexión" [2].

Desde 1974 se inició en el Instituto de Ingenieria de la U.N.A.M. un proyecto enfocado a desarrollar dispositivos controladores de hundimientos en edificios, con el fin de ofrecer una alternativa ventajosa en comparación con el sistema de pilotes de control. A partir de los sismos de 1985, se despertó el interés de usar este tipo de dispositivos de manera más amplia, es decir, no sólo como controladores de hundimientos, sino como sistemas de disipación de energía colocados en la superestructura de los edificios.

Se probarón experimentalmente estos dispositivos (fig 3), encontrando que su comportamiento histerético es muy estable y el número de ciclos de carga que soportan depende de la amplitud de deformación a que se vean sometidos (fig. 4).

Dentro de los dispositivos disipadores en combinación con aisladores de base, existen investigaciones que demuestran que el uso de barras de acero dobladas con aisladores incrementan el amortiguamiento estructural (fig. 5) [3].

Ultimamente se iniciaron estudios con un dispositivo compuesto por placas de acero con sección transversal en forma de X (fig 6), el cual se le conoce con el nombre de dispositivo ADAS (Add Damping and Stifness). La forma de la sección transversal obedece a que al desplazarse un nivel respecto al otro deforman a estos elementos en doble curvatura. Además al colocar apovos que empotren a las placas, se logra generar un diagrama de esfuerzos casi uniforme (debido a la sección transversal), que cambia de signo en el eje neutro por lo que el esfuerzo de fluencia se alcanza prácticamente en toda la sección al mismo tiempo. Estos dispositivos se propusieron como solución estructural en la reparación de dos edificios de la Ciudad de México dañados por los temblores de 1985 [4]. Las placas se colocan como se muestran en la figura 7 para marcos y muros de rigidez con trabes de acoplamiento. respectivamente. Además su comportamiento histerético es como el mostrado en la figura 8.

Otra forma de disipación de energía producida por sismos sin necesidad de dispositivos adicionales consiste en colocar contraventeos conectados de uno de los nudos del nivel inferior a cierta distancia del nudo del piso superior, o de los nudos de una crujia del piso inferior a la viga superior que no coincidan en el mismo lugar, como se muestra en la figura 9. Debido a lo anterior.

la viga ubicada entre el contraventeo y el nudo, o entre los dos contraventeos se plastifica y disipa energía. Por la manera en que se conectan los contraventeos, a este sistema se le denomina de contraventeos excéntricos [5].

DISIPACIÓN POR ESTRUSIÓN

Este sistema fué propuesto inicialmente por Robinson y Greenbank y disipa energia al deformar un material en su sección transversal [6]. Esto se logra al mover el material disipador dentro de un tubo cuya sección transversal se reduce. El material disipador es el plomo que se cristaliza una vez que ha sufrido la deformación y recupera sus propiedades originales (fig. 10). El dispositivo ya ha sido utilizado en la construcción de dos puentes en Nueva Zelanda.

ISIPACIÓN POR FRICCIÓN

liasta el momento este tipo de dispositivos se colocan en el centro de contraventeos y trabajan al desplazarse una diagonal con respecto a la otra, lo que provoca disipación de energía por fricción (fig. 11).

Por otro lado, estos dispositivos son diseñados de tal manera que no se deslizen cuando estén bajo cargas de servicio y esto se logra dando una rigidez adicional al marco, por lo que sólo se disipará energía cuando las fuerzas laterales sobrepasen cierto umbral. Su comportamiento histerético representativo lo podemos vor en la figura 12. Los estudios demuestran que este tipo de dispositivos provocan que los costos aumenten y esto se debe a que se tiene que dar mayor rigidez a los sistemas.

COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO

Este tipo de dispositivos ya han sido trabajados experimentalmente en muros y han mostrado un comportamiento histerético muy característico (fig. 13), además de un fuerte incremento del amortiguamiento del marco y de reducciones importantes en la respuesta. Por otro lado, se observó que estos dispositivos tienen complicaciones ya que su comportamiento histerético varia de una manera considerable al existir cambios en la temperatura, por lo que esto debe ser considerado en el momento de evaluar el sistema [7].

AISLADORES DE BASE

La finalidad principal de estos sistemas es la de aislar la cimentación de la superestructura, provocando que el periodo fundamental de vibración de la estructura se alargue considerablemente. Debido a lo anterior se establece que su mejor aplicación es en lugares donde los principales temblores ocurren con un gran contenido de frecuencias altas, ya que con estos se propicia que el periodo de la estructura se aleje de los periodos de grandes amplificaciones [8].

La colocación de ellos es generalmente entre la cimentación y la superestructura, aunque en algunos casos suclen ubicarse entre el primero y el segundo nivel de la estructura [9].

Los aisladores de base actuales se han aplicado de una manera frecuente en puentes y esto es debido a que estas estructuras normalmente se apoyan sobre placas de neopreno para permitir el libre desplazamiento ocasionado por cambios de temperatura lo que les proporciona un sistema de aislamiento.

Existen aisladores de base de forma rectangular o circular con placas de hule intercaladas con placas más delgadas de acero (fig. 14): este sistema es muy flexible horizontalmente pero tiene una gran rigidez vertical. Su disipación de energía es pequeña y su objetivo fundamental consiste en flexibilizar lateralmente a la estructura [10]. Ha sido utilizado en un edificio ubicado en Nueva Zelanda es el que esta constituido por un corazón de plomo, el cual tiene como finalidad disipar energía, al alcanzar la fluencia por cortante y limitar los desplazamientos laterales sin necesidad de dispositivos adicionales [11]. Se ha propuesto que los aisladores sean lo suficientemente rigidos para que el plomo se comporte elásticamente para las máximas fuerzas esperadas producidas por viento, el costo estimado de los aisladores y su colocación se consideró compensado con las secciones de concreto y acero que se requerirían para lograr un buen comportamiento sin ellos.

Un aspecto poco estudiado es el relacionado con la fatiga de los aisladores, por lo que se han realizado pruebas de laboratorio sobre aisladores de hule y acero para determinar los parámetros que intervienen en el fenómeno [12]. Se encontró que el incremento de temperatura y la amplitud de ciclos de histéresis juegan un papel fundamental; sin embargo, quedan aún muchas incertidumbres que deberán de estudiarse con mayor detalle en proyectos futuros.

OSCILADORES RESONANTES

Este sistema consiste en la inclusión de un piso adicional sobre un edificio convencional, el cual tiene ciertas propiedades dinámicas que provocan una reducción considerable en la respuesta ante eventos sismicos [13].

Por otro lado, se ha demostrado analíticamente que un sistema de dos grados de libertad sin amortiguamiento, sometido a carga armónica con periodo tal que coincida con el periodo de vibrar del segundo nivel (oscilador resonante), la masa del primer nivel no se mueve mientras que la del segundo nivel se ve sometida a una fuerza de igual magnitud y sentido contrario a la fuerza de excitación. Al existir amortiguamiento en ambas masas, los desplazamientos de la primera pueden reducirse de manera importante al elegir adecuadamente las propiedades dinámicas de la segunda masa.

Dentro de los trabajos realizados con este tipo de sistema existen los hechos en la ex-Unión Sovietica, en donde se estudió analítica y experimentalmente sistemas de varios grados de libertad con un piso adicional, obteniéndose reducciones muy importantes en la respuesta [14]. Además están los realizados en México, que también mostraron una reducción en la respuesta sobre todo para lugares de terreno blando; estos consistieron en analizar un sistema de dos grados de libertad considerando como masa adicional un tinaco con agua, aplicándole registros de acelerogramas obtenidos en algunos sitios de Valle de Héxico.

Una de las mayores dificultades de estos sistemas se encuentra en su análisis, dado que la masa adicional suele ser mucho menor que la del resto de la estructura y su amortiguamiento difiere también considerablemente con la estructura resultante,

por lo que se carece de modos de vibrar clásicos [15].

DISPOSITIVOS DE CONTROL ACTIVO

El principio que estos mecanismos manejan, es el de eliminar las vibraciones de una estructura mediante la aplicación de fuerzas externas.

De una manera más detallada estos dispositivos trabajan, en primera instancia, al detectar el movimiento de la estructura por dispositivos que se encargan de medir las fuerzas externas a las que se ve sometida, localizadas en diferentes niveles de ella. Estos se conectan a una computadora que a su vez envia una señal a los sistemas que aplican fuerzas a la estructura con la finalidad de contrarrestar el movimiento. Dentro de los principales sistemas desarrollados en la actualidad se encuentran los de masa activa, los tendones activos y los dispositivos de fricción activo.

HASA ACTIVA

Este sistema es una extensión del sistema pasivo llamado osciladores resonantes, donde el movimiento de la masa sobre el último nivel de la estructura es controlado por una computadora localizada también en ese nivel, que detecta el movimiento a través de sensores y envía a los actuadores el movimiento que se debe aplicar a la masa (fig. 15).

TENDONES ACTIVOS

Este sistema consiste en la colocación de tendones en forma de X de un nivel a otro y pueden, inclusive, abarcar más de un nivel, como se muestra en la figura 16. Su forma de trabajar es aplicando fuerzas a los tendones para contrarrestar el movimiento detectado, de una manera similar a los de masa activa [16].

En los últimos años los tendones activos se han propuesto también para modificar las propledades dinámicas de la estructura, como lo es la modificación del periodo fundamental de la misma para evitar que se localice cerca de las frecuencias dominantes del sismo para cada instante de tiempo y con esto evitar grandes amplificaciones del movimiento.

Se contemplan en la figura 17 tres posibles soluciones de control activo, por medio de controlar la longitud del tendón, el área del tendón y por último la posición del mismo.

DISPOSITIVOS DE FRICCIÓN ACTIVO

Recientemente se ha propuesto un sistema que es similar al de control pasivo, con las vente jas que da el hacerlo de control activo, ya que en este se puede controlar la fuerza umbral para la cual se deslizan los dispositivos, tanto en condiciones de servicio como en condiciones últimas [17].

SISTEMAS DE RIGIDIZACIÓN

For otro lado, están los sistemas de rigidización que podemos englobarlos en tres grupos :

- Muros de rigidez
- Contraventeos con perfiles metálicos
- Cables de presfuerzo

MUROS DE RIGIDEZ

Una de las técnicas más utilizadas para la rigidización y el refuerzo de las estructuras dañadas por los sismos de 1985 fué la adición de muros de concreto. Si se diseñan adecuadamente, los muros son capaces de soportar las cargas inducidas por los sismos, limitando notablemente los desplazamientos de entrepiso.

El comportamiento de los muros de concreto depende principalmente de su relación de esbeltez. Los efectos de flexión dominan el comportamiento de muros esbeltos, mientras que en muros con relación alto a ancho pequeña, el comportamiento presenta influencia tanto de la flexión como del cortante [18].

En estructuras con muros, la deformación inelástica se concentra en unos cuantos pisos, normalmente en los pisos inferiores donde existe una gran demanda de ductilidad asociada al comportamiento a flexión del muro. Esta situación es más pronunciada en muros cuya relación de esbeltez es grande. Así, dependiendo de la capacidad o incapacidad de fluencia del acero vertical del alma, se pueden caracterizar dos comportamientos: si el acero vertical es continuo a través de los sistemas de entrepiso, el muro podrá entrar en el rango inelástico sin perder

su capacidad a corte, en caso contrario, no podrá entrar al rango inelástico sin perder dicha capacidad debido a su desconexión de los elementos existentes. De acuerdo con lo anterior se distinguen dos tipos de muro:

. MURO DE RELLENO.

El acero vertical del alma del muro no pasa a través de los entrepisos de la estructura, por lo que este tipo de muro encuentra mayor aplicación en edificios de pocos niveles con bajos requerimientos de resistencia al corte.

MURO DE RIGIDEZ.

El acero vertical del alma y el de flexión son continuos a través de los sistemas de entrepiso. Este tipo de muro es más eficiente en estructuras de varios niveles.

CONTRAVENTEOS CON PERFILES METÁLICOS

Este sistema tiene como objetivo principal la disminución del periodo fundamental de la estructura y a su vez proporciona una mayor resistencia para desplazamientos laterales, provocados en su mayoría por sismos.

Esta solución implica la necesidad de una gran rigidización que reduzca los desplazamientos de la estructura para obtener niveles de esfuerzos admisibles en los perfiles.

CABLES DE PRESFUERZO

La mayoria de las técnicas disponibles actualmente para la rigidización y refuerzo de las estructuras se basan en la adición de nuevos elementos estructurales, de rigidez y resistencia tan grandes, que prácticamente absorben todas las cargas laterales, desaprovechando la capacidad sismica de la estructura original. Además, la construcción de estas alternativas suele ir acompañada de obras bastante complicadas y costosas, que obligan a la desocupación temporal del innueble en la mayoría de los casos.

El sistema de refuerzo mediante cables de presfuerzo constituye una solución muy ventajosa a los problemas que presentan las técnicas tradicionales, ya que su rigidez se puede adaptar al rango de rigidez de la estructura original para aprovechar al máximo la capacidad sismica de ésta, mediante un trabajo de conjunto. Además, la distribución de los elementos mecánicos que se logra en la estructura original hace aún más eficiente su comportamiento, con lo cual la solución resulta muy ligera y económica, pudiendo limitarse su construcción a la colocación de las conexiones, con un mínimo de interferencias con el funcionamiento del inmueble [19].

Este sistema de rigidización y refuerzo de estructuras mediante cables de presfuerzo consiste en utilizar los cables para contraventear las estructuras, a fin de aumentar su rigidez y resistencia ante cargas laterales (fig. 18). Las dimensiones de los cables se determinan de manera que la rigidez del sistema de refuerzo sea compatible con la de la estructura original, de tal forma que ambos realicen un trabajo de conjunto. Con este fin, los cables se tensan únicamente para mantenerse alineados. Las conexiones se diseñan de acuerdo a la geometría de los nudos de la estructura, y consisten en anclajes típicos de cables de

presfuerzo fijados a la estructura mediante dispositivos especiales que pueden ser prefabricados o construidos en el sitio (fig. 19). La rigidez lateral que proporcionan los cables de presfuerzo depende fundamentalmente de área de su sección y de la geometría de su colocación.

El uso de cables de presfuerzo para la rigidización y refuerzo de estructuras aporticadas modifica el comportamiento de estas al triangularizarlas. La transmisión de cargas, que originalmente se realiza mediante el trabajo de vigas y columnas a flexión, con la adición de los cables se lleva a cabo mediante el trabajo axial de todos los elementos estructurales, que en los edificios de mediana altura resulta más eficiente. Por esta razón, el sistema de cables no sólo aprovecha la capacidad resistente de la estructura original al manejar rigideces compatibles, sino que también la incrementa al modificar drásticamente la transmisión de las cargas. Esto hace posible en muchos casos duplicar la resistencia de una estructura con este sistema, sin tener que reforzar sus elementos estructurales.

III.- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA SELECCIONADA

El modelo consiste en una estructura de acero de 10 niveles con una sola crujia, el cual se encuentra estructurado como se muestra en la figura 20. Este modelo contempló los siguientes sistemas de disipación y rigidización, que se muestran en la figura 21.

1 - Estructura de marco rígido (EE).

- 2 Estructura con diagonales de acero (EDA).
- 3 Estructura con diagonales de acero y disipadores de energía a base de solera de acero en forma de "U" (EDS).
- 4 Estructura con diagonales de acero y disipadores ADAS (EDAD).
- 5 Estructura con cables de presfuerzo (EPRE).

Los primeros dos modelos (EE y EDA) fueron diseñados por Robert D. Hanson y William R. S. Fan [20], teniendo como principal objetivo el analizar la influencia de las diagonales de refuerzo en la reducción de los requerimientos de ductilidad de entrepiso y la capacidad de absorción de energia en los miembros principales del marco rigido. Posteriormente, se realizaron por parte de Filiatrualt estudios con estos mismos sistemas, con el fin de analizar su funcionamiento en dos diferentes sitios de la Ciudad de México [21].

Los dispositivos de solera en forma de "U" han sido ampliamente estudiados en México con resultados muy promisorios [22]. Estos dispositivos estan fabricados con acero comercial, cuya configuración se muestra en la figura 22.

La figura 23 muestra un marco de carga para probar los disipadores de energía en forma de "U". Dicho marco consta de un miembro estructural central conectado a una celda de carga que a su vez esta unida a la viga transversal de la máquina.

En la figura 24 se presenta una gràfica que relaciona la amplitud de deformación del elemento con el número de ciclos a la falla por fatiga del material. En ella podemos apreciar que el número de ciclos para alcanzar la falla con un desplazamiento de 2.5 cm es de aproximadamente 100, mientras que para un desplazamiento de 1.0 cm el número de ciclos crece notablemente hasta alcanzar un valor aproximado de 1000.

En la figura 25 se muestra como evoluciona el comportamiento histerético de un sistema compuesto por dos soleras en forma de U. Este sistema fué sometido a diferentes amplitudes de desplazamiento y se observó que apartir de un valor 0.367 cm se empieza a disipar energía; a este desplazamiento se le denominará

en lo sucesivo desplazamiento de cedencia.

En cuanto al dispositivo ADAS podemos decir que tiene como objetivo incrementar la rigidez y capacidad de disipación de energía de la estructura. La forma de su sección transversal tiene ventajas sobre la sección en forma rectangular, como se muestra en las distribuciones de esfuerzos de la figura 26. Mediante estudios experimentales se encontró que el principal parámetro que influye en el comportamiento de las placas es el grado de restricción que proporcionan los apoyos, llegándose a variaciones de resistencia de hasta 350 por ciento e incrementos de desplazamiento de fluencia de 18 porciento al no garantizar un empotramiento completo [22].

Los modelos de marco rigido utilizados en este trabajo tienen los periodos de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 segundos, los cuales fueron rigidizados a su vez un 25, 50, 75, 100 y 200 por ciento de la rigidez inicial de los marcos. El objetivo de este análisis es el de evaluar la eficiencia de los dispositivos de disipación en estructuras de diferentes periodos fundamentales de vibración, ubicándose dos de ellos (1 y 1.5 s) en la rama ascendente del espectro de respuesta del acelerograma registrado en SCT durante el sismo del 19 de septiembre de 1985 (fig. 28), mientras que los dos restantes (2.0 y 2.5 s) se ubican en la rama descendente de de dicho espectro de respuesta.

La razón de utilizar diferentes niveles de rigidización con respecto a los modelos de marco rígido es el de evaluar cual de ellos es el más eficiente para el intervalo de periodos analizado.

IV.- MODELAJE MATEMÁTICO

PROGRAMA DE ANALISIS DRAIN-2D

Por medio de este programa se puede realizar el análisis dinámico no lineal de estructuras planas, teniendo estas cualquier configuración y estando sujetas a movimientos sismicos [24]. Está constituido por una serie de subrutinas "base", mediante las cuales se lieva a cabo el análisis dinámico paso a paso; además pueden ser desarrolladas subrutinas para elementos estructurales de diferentes tipos en forma independiente y ser agregadas al programa base. Dentro de este aspecto se han desarrollado subrutinas que permiten la orientación arbitraria de elementos tipo armadura (como diagonales de acero, cables de presfuerzo, etc.) y de elementos viga-columna, así como subrutinas para elementos de muros de rellenos y para elementos de conexiones semirigidas.

La idealización de la estructura es por medio del ensamble de un conjunto de elementos discretizados en un plano. El análisis se realiza mediante el método directo de rigideces, con los desplazamientos nodales como desconocidos. Cada nudo posee tres grados de libertad, como en un análisis de marco plano. Se puede especificar a cualquier grado de libertad como restringido, es decir, tener desplazamiento relativo respecto al suelo igual a cero. Alternativamente, los desplazamientos rotacionales o traslacionales de cualquier grupo de nudos pueden especificarse para tener valores idénticos, en cuyo caso se asigna el mismo número de grado de libertad a todos estos desplazamientos.

La masa de la estructura concentrada en los nudos, por lo tanto resulta una matriz de masas diagonal. La excitación sismica se define mediante historias de tiempo-aceleración. Se considera que los puntos de apoyo se mueven en fase. Las cargas estáticas pueden ser aplicadas antes de las cargas dinámicas, pero no se permite la cedencia de los elementos bajo las primeras cargas mencionadas. Se han desarrollado subrutinas para los siguientes elementos:

a) Elementos viga-columna. Su sección transversal puede ser variable y reforzada. Estos elementos ceden por medio de la formación de articulaciones plásticas en sus extremos. La interacción entre fuerza axial y momento puede considerarse dentro del programa para secciones transversales de elementos tipo acero o concreto reforzado. Los valores de momentos de empotramiento pueden ser especificados, el efecto P-A se puede considerar en el programa al incluir una rigidez geométrica basada en la fuerza axial que se produce bajo cargas estáticas.

- b) Elementos armadura. Sólo tienen cedencia en tensión y pandeo elástico en compresión.
- c) Elementos con conexiones semirigidas. Se considera una relación bilineal de momento-rotación.
- d) Elementos de muro de cortante. Se representan como muros de reileno. El elemento muro sólo tiene rigidez a la fuerza cortante, y puede ceder y/o fallar de manera frágil.

Como se mencionó anteriormente, el programa es limitado a estructuras de dos dimensiones, generalmente a causa de las grandes simplificaciones en escala y complejidad de los resultados, pero los principios básicos son también aplicables para estructuras de tres dimensiones. El programa no es, sin embargo, limitado para marcos de edificios o para estructuras con configuraciones geométricas particulares, puesto que puede ser aplicado al análisis de cualquier estructura la cual se podria idealizar en dos dimensiones. Además, el programa está diseñado de manera tal que su capacidad puede ser extendida por la adición de subrutinas de nuevos tipos de elementos estructurales, sin modificar el programa original.

GENERACION DE MODELOS

Para la realización del trabajo se generaron las estructuras antes mencionadas (1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 s), por medio de la variación en las masas de cada nivel; la obtención de estos modelos fué por medio del programa de análisis DRAIN-2D.

Posteriormente, se generaron para cada una de estas estructuras los correspondientes modelos, adicionándoles los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de rigidización. En cuanto al modelaje de estas estructuras en el programa de análisis, el sistema de ADAS fué hecho por medio de crear dos elementos horizontales conectados a su vez a las diagonales en el nodo central del nivel superior; mediante la colocación de una diagonal en cada nivel se crearon los dispositivos de solera, pero a diferencia de la estructura con solo diagonales de acero se considera un punto de fluencia menor y por lo consiguiente diferencias en la pendiente inelástica. Los cables fueron modelados con elementos que se les aplicó una carga inicial del setenta por ciento de la carga última considerada para ellos.

Para la creación de los modelos se tomó como parámetro los periodos que se muestran en la tabla l; es importante señalar que los periodos de los modelos son considerando su comportamiento elástico y esto se logró dando una resistencia grande a los elementos. El número de modelos resultantes fué de 84.

El acelerograma que se ultilizó como excitación para los modelos fué el del 19 de septiembre de 1985 [sismo de magnitud 8.1(Ms)] registrado en la zona de alta compresibilidad de la Ciudad de México. El acelerograma corresponde a la componente este-oeste del registro del sismo en la Secretaria de

Comunicaciones y Transportes (SCT), con aceleración, velocidad y desplazamiento máximo de 167.92 cm/s², 60.50 cm/s y 21.94 cm, respectivamente.

La figura 27 muestra la ubicación de la estación de registro. El acelerograma registrado, el espectro de Fuorier y el espectro de respuesta del acelerograma para un amortiguamiento del 5 por ciento se muestran en la figura 28.

Para determinar la respuesta de los modelos se utilizó el programa DRAIN-2D, el cual lleva a cabo análisis paso a paso inelástico de estructuras planas. Debido a las limitaciones del programa no se consideró el aspecto tridimensional de la estructura, por lo que no existen efectos de torsión en el sistema estructural.

Las principales hipótesis consideradas en el análisis son :

- La masa de la estructura se concentra en los diferentes niveles de piso.
- 2.- Las columnas, vigas y diagonales tienen un comportamiento bilineal. La pendiente de la segunda rama es de uno por ciento respecto a la rendiente de la rama inicial.
- 3.- Todos los nudos de un mismo nivel tienen el mismo desplazamiento horizontal, con desplazamientos verticales y giros independientes entre si.
- 4.- No se consideró la componente vertical ni rotacional del movimiento sismico.

5. - Se incluyen los efectos P-A en el análisis.

V.- ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NO LINEAL

Como ya se mencionó anteriormente el análisis se realizó con el programa DRAIN-2D y se estudiaron básicamente cinco aspectos de la respuesta de los modelos :

- 1) Desplazamientos totales
- 2) Desplazamientos relativos
- 3) Cortantes de entrepiso
- 4) Ductilidades de entrepiso
- 5) Desplazamientos totales máximos, cortantes máximos y coeficientes sísmicos

Se determinaron los desplazamientos totales y relativos de entrepiso máximos que se presentaron durante la excitación sismica en estudio, así como los requerimientos de ductilidad de entrepiso para cada uno de los modelos.

Las demandas de ductilidad de entrepiso (μ) se calcularon como el cociente del desplazamiento máximo de entrepiso ($\delta_{máx}$) entre el desplazamiento necesario para provocar la primera articulación plástica en algún elemento del entrepiso (δ_{e}) :

(1)

1) DESPLAZANIENTOS TOTALES

En las figuras 29 a 32 se presentan las envolventes de desplazamientos totales de los modelos analizados. Al analizar la figura 29, que describe el desplazamiento total de los modelos con diagonales, se aprecia que para todos los periodos estudiados se presenta una disminución de los desplazamientos totales, prácticamente en la misma proporción que sus niveles de rigidización; este mismo comportamiento se presenta en los modelos dispositivos de solera y ADAS (figuras 30 31. con v respectivamente) para los periodos de 1.0 y 1.5 s, aunque para los periodos de 2.0 y 2.5 s no se aprecia una reducción significativa de su desplazamiento total, inclusive para el periodo de 2.0 s el desplazamiento total de los modelos es el mismo en todos los niveles de rigidización a excepción del nivel de rigidización del 200 por ciento (K=3.00).

La justificación del comportamiento encontrado; es por el hecho de que los sistemas de disipación solera y ADAS, al entrar en funcionamiento, provocan una pérdida de rigidez del sistema de tal forma que aproximan el periodo de vibrar de la estructura con el periodo dominante de la excitación, a diferencia de los modelos con diagonales y cables de presfuerzo, que al no presentarse fluencia de estos sistemas prácticamente mantienen la rigidez inicial del sistema durante la excitación.

2) DESPLAZANIENTOS RELATIVOS

En las figuras 33 a 36 se muestran los desplazamientos relativos de los entrepisos para los diferentes modelos estudiados. En ellas se aprecia la misma tendencia que el comportamiento encontrado con respecto a los desplazamientos totales, destacándose que entre los niveles 2 a 6 es donde se presenta el mayor desplazamiento relativo en todos los modelos estudiados. Se aprecia de nuevo que los dispositivos de solera y ADAS, en el periodo de 2.0 s, no presentan una reducción en los desplazamientos relativos para ningún nivel de rigidización, a excepción del nivel de rigidización del 200 por ciento (K=3.00).

3) CORTANTES DE ENTREPISO

En las figuras 37 a 40 se presentan las envolventes de cortante de entrepiso para los modelos analizados. Aquí es posible destacar que para todos los dispositivos analizados en los modelos de 1.0 y 1.5 s (rama ascendente del espectro) no se detectó una disminución importante de los cortantes de entrepiso para ningún nivel de rigidización. For el contrario, para los modelos de 2.0 y 2.5 s, en todos los sistemas de rigidización, se aprecia que el cortante aumenta entre mayor sea el nivel de rigidización.

4) DUCTILIDADES DE ENTREPISO

En las figuras 41 a 44 se presentan las demandas de ductilidad de los entrepisos para los diferentes modelos estudiados. En estas también se muestra la tendencia en el comportamiento al disminuir las demandas de ductilidad conforme se aumenta la rígidez de la estructura, destacándose que para los

niveles del 2 al 6 se presentan las mayores demandas de ductilidad. Se aprecia que para los dispositivos de solera y ADAS, en el periodo de vibrar de 2.5 s y con un nivel de rigidización del 200 por ciento (K=3.00) las mayores demandas de ductilidad no se presentan en los niveles antes mencionados si no en los niveles inferiores de los modelos.

5) DESPLAZANIENTOS TOTALES NÁXINOS , CORTANTES NÁXINOS Y COEFICIENTES SÍSHICOS

En la figura 45 se presentan los desplazamientos máximos encontrados para los diferentes sistemas de dislpación estudiados, en donde se aprecia que estos sistemas hacen disminuir la respuesta en desplazamientos máximos, excepción del periodo de 2 s y esto se debe a que en ese periodo se encuentran las mayores solicitaciones para ese registro.

Con respecto a los cortantes máximos (basales) se aprecia en la figura 46 que para los modelos de un periodo de vibrar inicial menor al valor aproximado de 1.6 s los dispositivos ayudan en la disminución de estos elementos mecánicos, pero para los modelos con un periodo mayor a ese valor los dispositivos provocan un aumento de los cortantes.

En cuanto a los coeficientes sismicos podemos ver en la figura 47, que para todos los sistemas existe un comportamiento similar al de los cortantes basales.

COMPARACIÓN DE 2 MODELOS (MARCO RÍGIDO Y MARCO RÍGIDO PROVISTO DE DISPOSITIVOS SOLERA)

En las figuras 48 y 49 se ilustran los modelos: torre de acero y torre provista de dispositivos solera, donde se muestra la formación de articulaciones plásticas por la acción del sismo SCT-EW. Se observa que se presentan articulaciones plásticas en casi todas las vigas de los dos modelos mencionados, así como en todos los dispositivos disipadores del modelo que los incluye.

En el ejemplo que se presenta, el modelo del marco tiene un periodo original de 2 s y el modelo con disposistivos uno de 1.57 s. Esto implica que, bajo comportamiento inelástico, el periodo del marco original tiende a alejarse del periodo dominante de la excitación (2 s); por su parte, el periodo del marco con disipadores se acerca a dicho periodo dominante.

En las figuras 50 y 51 se presentan con línea punteada los desplazamientos de los modelos con comportamiento elástico. Se aprecia que los desplazamientos del marco con dispositivos son inferiores a los del marco original (fig.50), debido a la rigidización de éste por la inclusión de los dispositivos. Sin embargo, para comportamiento inelástico (línea continua, fig. 50) los desplazamientos del marco disminuyen significativamente debido a la disipación de energía (por la formación de articulaciones plásticas en trabes) y al cambio de periodo que tiene por la degradación de su rigidez. Por el contrario, los desplazamientos del marco con dispositivos solera, a pesar de la disipación, se incrementan cuando existe dicho comportamiento inelástico.

De lo anterior se resume que, en el caso de marcos con dispositivos disipadores de energía, existe un doble efecto que modifica el comportamiento de la estructura: por una parte, el acortamiento del periodo debido a la inclusión de dichos dispositivos y por otra, el alargamiento del mismo cuando éstos disipan energía. Este doble efecto, aunado al periodo inicial de la estructura determina la respuesta final de la misma.

Por lo anterior, en el caso que se ilustra, los desplazamientos inelásticos máximos del modelo de marco original y los del marco con dispositivos son prácticamente del mismo orden.

En la figura 51 se observa la historia dei cortante basal de la torre de acero con y sin dispositivos disipadores de energía; además de estar bajo compotamiento elástico e inelástico (línea discontinua y continua, respectivamente). Bajo condiciones elásticas, los cortantes de la torre sin dispositivos, cuyo periodo coincide con el del sitio (2 s), son mayores que el de la torre con dispositivos debido a que esta última se aleja del periodo fundamental del sitio.

En el rango de comportamiento inelástico el periodo de la torre sin dispositivos se alarga y por lo tanto disminuye su respuesta debido a que se aleja del periodo dominante del sitio. Contrariamente, cuando los dispositivos disipadores del segundo modelo comienzan su trabajo, existe un alargamiento del periodo original (1.57 s), lo que provoca que la estructura se acerque al periodo dominante del sitio y, por lo tanto, aumente su respuesta, que en este caso es un poco mayor que la del edificio sin dispositivos (fig. 51).

Se observa también que el comportamiento inclástico en la estructura con disipadores es muy similar a su comportamiento

elástico, debido a que su periodo dominante está alejado del periodo del sitio y, por lo tanto, las solicitaciones sismicas no llevan a la estructura a grandes incursiones en el rango de comportamiento inelástico.

VI.- CONCLUSIONES

En el diseño de las estructuras con disipadores de energia es importante considerar el corrimiento del periodo de vibrar de la estructura al empezar a trabajar los dispositivos, ya que en muchos casos esto favorece o perjudica a la misma. Esto se debe a que el periodo de vibrar de la estructura puede coincidir con el periodo dominante de la escitación, aspecto que perjudica a ésta; por el contrario, al correrse el periodo de vibrar de ella a solicitaciones menores resulta beneficioso.

Es importante resaltar que con relación a los desplazamientos totales, el añadir a las estructuras estos sistemas de disipación de energía o rigidización da como resultado una disminución en ellos en proporción al nivel de rigidización aplicado.

Por otro lado, en lo concerniente a los cortantes se refleja un marcado punto donde ya no es favorable rigidizar la estructura o colocarle alguno de los sistemas de disipación manejados en esta investigación; este es para estructuras con un periodo de vibrar mayor de 1.6 s en cuyo caso los cortantes aumentan en proporción al grado de rigidización.

En relación a los modelos que su periodo fundamental de vibrar es de 2 s se tiene como resultado un comportamiento casi similar en todos los niveles de rigidización, debido a que el periodo de las estructuras colncide con el del sitio.

Es importante señalar que el trabajo fué realizado con un registro de un sismo con ciertas características dinámicas, por lo que se recomienda continuar las investigaciones con otros registros. Esto es para llegar a comparar y evaluar los sistemas de rigidización y disipación de energía utilizados en todas las situaciones posibles, dando lugar a una conclusión más global.

En el caso de estructuras de concreto también se deben haccr extensivos estos trabajos de investigación, ya que la rigidez de las mismas puede dar como resultado el cuestionarse la funcionalidad de estos sistemas de rigidización y disipación de energía.
VII.- REFERENCIAS

- Skinner, R.I., Kelly, J.M. and Heine, A.J. (1975-b), "Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures", Earth Eng Struct Dyn, Vol 3, pp 287-295.
- [2] Aguirre, M y Sánchez, R, "Pruebas de Elementos Disipadores de energía Sísmica", IMCYC, marzo 1989.
- [3] Skinner, R.I. and McVerry, G.H. (1975), "Base Isolation for Increased Earthquake Resistance of Buildings", Bull New Zealand Nat. Soc. Earth Eng., Vol 8, No. 2, pp 93-101.

- [4] Martinez, E (1990), "Mejoramiento de la Respuesta Sismica de Edificios Dañados, Mediante la Acción de Disipadores de Energia", Memorias del Seminario sobre Instrumentación Sismica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural, México, D.F., pp 211-248.
 - [5] Ricles, J.M. and Popov, E.P., (1987), "Dynamic Analysis of Seismically Resistand Eccentrically Braced Frames", Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-87/07, University of California at Berkeley.
 - [6] Robinson, W.H. and Greenbank, L.R. (1975), "Properties of an Extrusion Energy Absorber", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 8, No. 3, pp 187-191.
 - [7] Lin, B.C. and Tadjbakhsh, I (1986), "Effect of Vertical Motion of Friction-Dirven Isolation System", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 14, pp 609-622.
 - [8] Katsuta, C. and Mashizu, N. (1965), "Earthquake Isolation Method of Structure by a High Speed Electrohydraulic Servomechanism", Proceedings of the 3rd. World Conference on Earthquake Engineering, pp 276-297.
 - [9] Matsushita, K and Izumi, H. (1965-a), "Some Analysis of Mechanisms to Decrease Seismic Force Applied to Buildings", Proceedings of the 3rd. World Conference on Earthquake Engineering, pp 342-359.

- Skinner, R. I., Tyler, R. G. and Hodder, S.B. (1976), "Isolation of Nuclear Power Plants from Earthquake Attack", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 9, No. 4, pp 199-204.
- [11] Megget, L.M. (1978), "Analisys and Design of a Base-Isolated Reinforced Concrete Frame Building", Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng, Vol. 2, No. 4, pp 245-254.
 - [12] Roeder, W C, Stanton, J F, and Taylor, A W (1990), "Fatigue of Stel Reinforced Elastomeric Bearings", J Struc. Eng., ASCE, Vol 116, No. 2, pp 407-425.
 - [13] Ancira, L R (1982), "Estudios sobre Efectividad de Absorvedores de Energía en Edificios", Tesis de Licenciatura en Ing. Civil, UNAM.
 - [14] Korenev, B.G. and Reznikov, L.H. (1988), "Vibration Dynamic Dampers Theory and Technical Additions", Physical and Mathematical Literature, Moscow.
 - [15] Warburton, G.B. and Soni, S.R. (1977), "Errors in Response Calculation of Non-Clasifically Damped Structural Dynamics", J Earth Eng Struct Dyn, Vol. 5, pp 363-375.
 - [16] Chen, F Y (1990), "Optimum Design of Seismic Structures: Methodologies and Results", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 917-926.

- [17] Akbay, Z and Aktan, H.H. (1990), "Intelligent Energy Dissipation Devices", Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Palm Springs, California, pp 427-435.
- [18] Amador Terán Gilmore, Mario Ramírez Centeno, "Refuerzo de Estructuras Mediante el Uso de Muros de Concreto", VIII Congreso Nacional de Ingenieria Sismica y VII Congreso Nacional de Ingenieria Estructural -memorias, Vol. III, pp G-83, Acapulco 1989.
- [19] José Ma. Rioboo, Juan Pedro Paniagua y Jesús Iglesias, "Sistema de Rigidización y Refuerzo de Estructuras Mediante Cables de Presfuerzo", VIII Congreso Nacional de Ingenieria Sísmica y VII Congreso Nacional de Ingenieria Estructural -memorias, Vol. III, pp G-74, Acapulco 1989.
- [20] Hanson R.D. and Fan R.S.W. "The effect of minimum cross bracing on the inelastic response of multi-story buildings", Proceedings of Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile 1969.
- [21] Filiatrault, A., Cherry, M. and Byrne, P.M. (1990), "The Influence of México City Soils on the Seismic Performance of Friction Damped and Base Isolated Structures", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, pp 335-352.
- [22] Aguirre, M. y Sánchez, R., "Disipadores de Energia Sísmica", Construcción y Tecnología, Vol. III, No. 27, pp 15-19, 1990.

- [23] Alonso, J.L. (1989), "Mechanical Characteristics of X-Plate Energy Dissipators", CE 299 Report, University of California at Berkeley.
- [24] Kanaan A. y Powell G. "Drain-2D: General purpose plane structures". Informe UBC/EERC-73/6, Universidad de California en Berkeley, U.S.A., abril 1973.

VIII.- TABLAS Y FIGURAS

RIGIDEZ		PERIODOS (S)						
1.00	1.00	1.50	2.00	2.50				
1.25	0.89	1.34	1.79	2,24				
1.50	0.82	1.23	1.63	2.04				
1.75	0,76	1.13	1.51	1.89				
2.00	0.71	1.05	1.41	1.77				
3.00	0.58	0.87	1.16	1.44				

TABLA PARA GENERAR LOS ARCHIVOS CON DIFERENTES RIGIDECES

Tabla l.-



Comportamiento elastoplástico. Figura 1.-



Figura 2.- Dispositivos en forma de "U".





Figura 3.- Dispositivo en forma de "U".

Detalle de amortiguador



Evolución del ciclo histerético del dispositivo.







Figura 5.- Aislador de base de barras dobladas.





Dimensiones en pulgadas

Dimensiones en pulgadas

Placa X - elevación

Elementos ADAS - vista lateral



Dimensiones en pulgadas

Elemento ADAS - vista frontal

Figura 6.- Dispositivos ADAS.



Marco experimental con los dispositivos ADAS



Figura 7.- Dispositivos ADAS en un edificio a base de

muros de cortante.





Curvas de histéresis obtenidas experimentalmente.



Figura 9.- Marco con contraventeos excéntricos.



Comportamiento histerético del disipador por estrusión.





Figura 10.- Disipador de energía por estrusión.



Figura 11.- Disipador de energía de fricción.









المحيمة سيتبطعها محمود فيتبير هوالالا المرور فيروا وراريهم

(1) T. 20.0*C

Comportamiento histerético del dispositivo viscoelástico.



Figura 13.- Disipador con comportamiento viscoelástico.



Figura 14.- Aislador de base con corazón de plomo.







Figura 16.- Sistema de tendones activos en un modelo estructural de seis niveles.



LONGITUD AJUSTABLE





POSICION (INCLINACION) AJUSTABLE

Figura 17.- Tendones activos con sistema de rigidez ajustable.







 a) Conexión construída en el lugar (cimentación).



b) Conexión prefabricada.

Figura 19.- Conexiones típicas.



acolación: a

OLUHNAS		Tipo	۸(m²)	Ac(m ²)	1(m ⁴)	Sx(m ³)
	C1	W14x136	0.0258	0.0215	0.000662	0.003540
	C2	W14x119	0.0226	0.0188	0.000570	0.000097
	C3	W14x103	0.0195	0.0163	0.000487	0.002697
	C4	W14x78	0.0148	0.0123	0.000354	0.001983
	cs	W14x50	0.0101	0.0084	0.000226	0.001275
	60	W14x34	0.0065	0.0054	0.000142	0.000796
TRABES	L	·	·	L	···	·
	71	W18×60	0.0114	0.0095	0.000410	0.001770
	T2	W18×50	0.009484	0.0079	0.000334	0.001460

Figura 20.- Caracte

Características del modelo.





ន



Acotaciones en ma



Figura 22.- Configuración del dispositivo en forma de "U".



Figura 23.- Marco de carga para probar los soleras de acero.



Figura 24.- Curva de fatiga de dispositivo "U".



Figura 25.- Comportamiento histerético de los dispositivos en forma de "U".







Figura 27.- Localización de la estación estudiada en el Valle de México.



Figua 28.- Características del sismo del 19 de septiembre de 1985 registrado en la estación de la SCT.

DESPLAZAMIENTOS TOTALES CON DIAGONALES



Figura 29.- Envolventes de desplazamientos totales del modelo con diagonales.

ខ្ល

DESPLAZAMIENTOS TOTALES CON DISPOSITIVOS SOLERA



Figura 30.- Envolventes de desplazamientos totales del modelo con dispositivos solera.

ដ

DESPLAZAMIENTOS TOTALES CON DISPOSITIVOS ADAS



Figura 31.- Envolventes de desplazamientos totales del modelo con dispositivos ADAS.

DESPLAZAMIENTOS TOTALES CON CABLES DE PRESFUERZO



Figura 32.- Envolventes dedesplazamientos totales del modelo con cables de presfuerzo.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS CON DIAGONALES



Figura 33.- Envolventes de desplazamientos relativos del modelo con diagonales.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS CON DISPOSITIVOS SOLERA



Figura 34 .--Envolventes de desplazamientos relativos del modelo con dispositivos solera.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS CON DISPOSITIVOS ADAS



Figura 35.- Envolventes de desplazamientos relativos del modelo con dispositivos ADAS.

DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS CON CABLES DE PRESFUERZO



Figura 36.- Envolventes de desplazamientos relativos del modelo con cables de presfuerzo.
CORTANTES TOTALES CON DIAGONALES



Figura 37.- Envolventes de cortantes de entrepiso del modelo con diagonales.

CORTANTES TOTALES CON DISPOSITIVOS SOLERA



Figura 38.- Envolventes de cortantes de entrepiso del modelo con dispositivos solera.

CORTANTES TOTALES CON DISPOSITIVOS ADAS



Figura 39.- Envolventes de cortantes de entrepiso del modelo con dispositivos ADAS.

CORTANTES TOTALES CON CABLES DE PRESFUERZO



Figura 40.- Envolventes de cortantes de entrepiso del modelo con cables de presfuerzo.

.

DUCTILIDADES CON DIAGONALES



Figura 41.- Ductilidades de entrepiso del modelo con diagonales.

DUCTILIDADES CON DISPOSITIVOS SOLERA



Figura 42.- Ductilidades de entrepiso del modelo con dispositivos solera.

DUCTILIDADES CON DISPOSITIVOS ADAS



Figura 43.- Ductilidades de entrepiso del modelo con dispositivos ADAS.

DUCTILIDADES CON CABLES DE PRESFUERZO



Figura 44.- Ductilidades de entrepiso del modelo con cables de presfuerzo.

DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS



Figura 45.- Desplazamientos totales máximos encontrados en los modelos estudiados.

CORTANTES MAXIMOS





SNA IZ LA BULLA

. .

COEFICIENTES SISMICOS



Figura 47.- Coeficientes sísmicos encontrados en los modelos estudiados.



Figura 48



Modelo con T=1.51 s (con rigidez del 757 mayor que el marco original)

37 m

Figura 49



– – – – elástica -inelástica

83



IX.- AGRADECIMIENTOS

A MIS AMIGOS :

Narco Antonio Alvarez González Juan Carlos Alvarez González Luis Gerardo Bernal Pérez Phen Bolio Albuerne José Carlos Delgado Chong Enrique Augusto Hernández Ruiz Guauhtemoc Luis Rustrian José Medina Urdapilleta René Urrutia Yépez

Que siempre estuvieron en los momentos dificiles para convertirlos en alegres.

A HIS TIOS :

Alicia Aguirre Martinez Cristina Islas de Aguirre Arturo Aguirre Martinez

Por bridarme su apoyo que junto con sus enseñanzas me ayudaron a sallr adelante.

A MIS PRIMOS :

Erika Acosta Aguirre Blanca Aguirre Islas Gabriela Aguirre Islas Ivette Aguirre Juárez Mayra Aguirre Juárez Antonio Acosta Aguirre Arturo Aguirre Islas Victor Aguirre Islas

Que siempre han estado conmigo.

A MIS ABUELOS :

José Arturo Aguirre Hernández Josefina Aguirre del Razo

Por todo el amor que me brindaron ya que fueron unos padres para mi. Siempre los recordaré.

A MIS AMIGOS :

Raúl Aguilar Becerril Alejandra Arciniega Ceballoz Leticia Cruz Villasana Fernando Flores Cruz Nartin Gómez Gonzalez Consuelo Gómez Soberon Guadalupe Hernández Padilla Edna Ojeda Xalteno Luis Eduardo Pérez Rocha Jaime Ramos Nartinez Jose Luis Rodriguez Zuñiga Evangelina Romero Jimenez Arturo Tena Colunga Efrain Vargas Ortega

Por su colaboración en el desarrollo de esta tesis y por su amistad.

A UNA PERSONA MUY ESPECIAL :

En la vida hay muchos obstaculos que parecen muy dificiles de superar, pero uno se da cuenta que con el apoyo de las personas que uno quiere y con el animo que ellas nos trasmiten todo se puede.

Durante la vida se conocen personas que pueden llegar a ser muy importantes para la formación de nuestro caracter, pero siempre existe la persona que es la verdadera imagen que uno anhela llegar a ser, ya que el siempre se ha encontrado atras para ayudar cuando todo parece perdido.

Para esa persona que tan importante fué en ml vida le dedico este trabajo de tesis y toda mi carrera, además espero que el continue estando junto de mi.

A HI TIO

VICTOR MANUEL AGUIRRE MARTINEZ

A HI MADRE :

Por haber sido hasta el momento la persona mas importante en mi vida, ya que gracias a ella he logrado llegar hasta donde estoy.

No hay palabras con las cuales yo pueda describir todo el agradecimiento y el amor que le tengo.

TE QUIERO

BLANCA AGUIRRE NARTINEZ

Agradezco al Dr. Emilio Rosenblueth Deutsch sus vallosos comentarios durante mi estancia en el Centro de Investigación Sismica.

Un agradecimiento al Centro de Investigación Sismica A. C. de la Fundación Javier Barros Sierra, en especial al Ing. Luis Vieitez Utesa por su apoyo en la realización del presente trabajo.

Un agradecimiento al Instituto de Ingenieria de la Universidad Nacional Autonoma de México, en especial a mi director de tesis y amigo Ing. Ricardo González Alcorta por brindarme sus valiosos comentarios y orientaciones en el desarrollo de mi tesis.