



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

01161

3
20j

ESTUDIO PARAMETRICO DE ESTRUCTURAS CON
MECANISMOS DISIPADORES

María de la Consolación Trinidad Juana Gómez Soberón

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA
(ESTRUCTURAS)

CIUDAD UNIVERSITARIA
1994

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.

A mis padres y hermanos

Al Dr Emilio Rosenblueth

**ESTUDIO PARAMÉTRICO DE ESTRUCTURAS
CON MECANISMOS DISIPADORES**

María de la Consolación Trinidad Juana Gómez Soberón

CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	2
1.1 Justificación del análisis paramétrico	5
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	9
2.1 Dispositivos para reducir la respuesta sísmica en estructuras	10
2.1.1 Dispositivos de control pasivo	10
2.1.2 Sistemas de control activo	14
2.2 Disipadores ADAS	16
CAPÍTULO III EDIFICIO CON DISIPADORES	27
3.1 Registros seleccionados	27
3.2 Modelos estructurales	28
CAPÍTULO IV ESTUDIO PARAMÉTRICO	44
4.1 Marco sin disipadores	46
4.2 Marco con disipadores	48
4.3 Marco contraventado	52
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	104
AGRADECIMIENTOS	107
REFERENCIAS	108

RESUMEN

Los sismos de los últimos años han demostrado la necesidad de revisar los criterios y de buscar nuevas técnicas en el diseño sismo-resistente. Desde hace años se ha planteado el uso de mecanismos disipadores de energía en estructuras sujetas a sismos para reducir el trabajo de los elementos estructurales principales. Estos mecanismos disipadores incrementan la rigidez y capacidad de disipación de energía de los edificios.

Se presenta aquí un estudio del comportamiento de un edificio de concreto de nueve niveles, con dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness), ante excitaciones registradas durante el sismo del 19 de septiembre de 1985. También, se realiza un estudio paramétrico de un marco de un nivel y una crujía con dichos dispositivos. Se varían el periodo fundamental original, el porcentaje de incremento en la rigidez final de los modelos y el desplazamiento de fluencia de los dispositivos. Los modelos se someten a los acelerogramas utilizados en el edificio de concreto. Asimismo se modelan marcos rigidizados con contravientos, empleando dos de los valores de rigidez utilizados en los modelos con disipadores. Se comparan las respuestas máximas de estos dos sistemas estructurales. Se muestra que al incluir dispositivos disipadores o diagonales de acero se reduce la deformación máxima del sistema original, muy significativamente cuando el periodo fundamental de este es corto (del orden de 0.5 s). Las reducciones son más importantes en zonas de transición y dura que en la zona blanda. Sin embargo, las reducciones cuando se refuerza el marco con contravientos son comparables o mayores que cuando se adicionan los dispositivos disipadores. Para los modelos contraventeados sometidos al registro de zona blanda y con periodos originales de 2.5 y 3.0 s las diagonales fluyen y las respuestas no son comparables a modelos con disipadores de energía.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Cuando se libera energía y se produce un sismo, parte de esa energía es absorbida por las estructuras. Para construir una estructura sismo-resistente generalmente es necesario que ésta sea capaz de absorber y disipar cantidades importantes de energía sin que sufra daño irreparable.

El balance energético de una estructura se expresa como sigue (Whittaker y col, 1989):

$$E_k + E_s + E_H + E_t = E_I$$

$$E_k + E_s = E_E$$

$$E_H + E_\zeta = E_D$$

donde:

E_K = energía cinética

E_S = energía por deformación elástica

E_H = energía histerética

E_ζ = energía por amortiguamiento viscoso

E_I = energía de entrada, inducida sísmicamente

La suma de las energías cinética y por deformación elástica compone la energía por vibración elástica (E_E), y la energía disipada (E_D) es la suma de las energías histerética y por amortiguamiento viscoso.

Puede mejorarse la capacidad estructural limitando la energía de entrada (E_I) y/o incrementar la capacidad de disipación de la estructura, a través del aumento de E_D . La energía de entrada puede controlarse mediante el uso de aisladores de base, en tanto que el uso de mecanismos de disipación de energía incrementa E_D , por el aumento de la disipación de energía histerética y/o por amortiguamiento viscoso.

Durante la última década la adición de disipadores de energía en sistemas estructurales ha recibido gran atención como técnica para reducir la respuesta de estructuras. Se ha desarrollado un número importante de dispositivos disipadores, y algunos de ellos se han implantado en estructuras reales.

Los disipadores pueden instalarse en estructuras nuevas o para reforzar las existentes. Al colocarlos se incrementan la rigidez y capacidad de disipación en el sistema. Cuando

estos dispositivos disipan energía pueden llegar a disminuir la degradación de elementos estructurales (como vigas y columnas).

Las distintas formas mediante las cuales los mecanismos que existen disipan energía son: por fricción, por extrusión, por comportamiento viscoelástico del material y por deformación plástica (Kelly y col, 1979). Perteneciente a este último grupo está el disipador denominado ADAS.

Los ADAS han sido investigados por la Universidad de California en Berkeley. Estos dispositivos están constituidos por placas de acero A-36 cortadas en forma de X. Se instalan, con ayuda de diagonales de acero, en los marcos estructurales y disipan energía por deformación plástica al desplazarse relativamente sus extremos. Los resultados obtenidos de las investigaciones con los ADAS muestran que tienen comportamiento histerético estable, sin degradación de rigidez o resistencia para un gran número de ciclos alternantes de carga, característica importante para construcciones sometidas a sismos severos de gran duración (Whittaker y col, 1989).

Similares a los dispositivos ADAS se han colocado mecanismos disipadores en forma de placas triangulares en el primer nivel de una estructura contraventeada de doce pisos en Nueva Zelanda y, en conjunción con un sistema de aislamiento, en el edificio Union House en el mismo país (Whittaker y col, 1989).

En México la técnica de disipación de energía ha atraído la atención. Se ha reforzado un edificio de 14 niveles (ubicados en la zona del lago) con dispositivos ADAS y está en proceso el reforzamiento de un edificio de 11 niveles con dos apéndices, ubicado en la zona del transición. En éste se colocará equipo de instrumentación para registrar su respuesta después de reforzado. Al observar los resultados de los dispositivos ADAS obtenidos en laboratorio, surgió el interés de estudiarlos (Martínez-Romero E, 1993).

Este trabajo tiene por meta conocer su comportamiento e influencia en estructuras sometidas a acelerogramas registrados en el valle de México. Para lograr este objetivo se analiza, primeramente, una estructura de concreto de nueve niveles con dimensiones regulares en planta y elevación. Se cuantifican las respuestas inelásticas paso a paso

entre el marco original y aquel con dispositivos para tres registros sísmicos obtenidos durante el sismo de Michoacán en septiembre de 1985.

Se estudió un sistema simple de un nivel y una crujía para conocer la influencia de los dispositivos disipadores en la respuesta estructural de edificios provistos de ellos. Los parámetros analizados en este modelo fueron el periodo fundamental del marco, el desplazamiento de fluencia del disipador, la pendiente en el intervalo de fluencia del disipador y el porcentaje de participación de estos dispositivos en la rigidez del conjunto. Todos los modelos fueron sometidos a los mismos acelerogramas utilizados en el análisis del marco de concreto.

Finalmente, se estudió el mismo sistema de un grado de libertad con diagonales de acero, analizándose dos de los valores de rigidez de los utilizados anteriormente, con el objeto de comparar las respuestas de los dos modelos.

1.1 Justificación del análisis paramétrico

Cuando se realizan análisis elásticos de estructuras compuestas por marcos planos su respuesta está dominada, principalmente, por la contribución del primer modo (alrededor del 90% de la respuesta total); además, cada modo responde como un sistema de un grado de libertad. Bajo estas consideraciones, es posible determinar razonablemente las tendencias de las respuestas de sistemas de múltiples grados de libertad mediante el análisis de sistemas de un piso, equivalentes en periodo fundamental. En las figs 1.1 y 1.2 se muestran los desplazamientos máximos y coeficientes basales máximos ($CB = VB/W$, $VB =$ cortante basal máximo y $W =$ peso total) elásticos, ante el sismo registrado en SCT en 1985, de seis sistemas de un piso con periodos fundamentales comprendidos entre 0.5 y 3.0 s, comparados con tres sistemas estructurales más complejos. Los edificios escogidos son: a) marco de nueve niveles y tres crujías, cuyo periodo fundamental es de 0.83 s; b) estructura plana de once niveles y tres crujías con periodo del primer modo de 1.58 s, y c) marco de nueve niveles y tres crujías cuyo primer modo tiene un periodo de 2.56 s. Los resultados refuerzan lo antes mencionado.

Si se analizan las respuestas inelásticas de estructuras a través del estudio de sistemas más simples no es suficiente con realizar una equivalencia en el periodo fundamental; es necesario realizar también equivalencias en las resistencias de los dos sistemas. El estudio inelástico del sistema de un piso no indicará las demandas de ductilidad de elementos particulares, pero sí dará conocimiento de la tendencia de las respuestas y de la demanda de ductilidad global. En la Universidad de Illinois se realizaron estudios no lineales de estructuras de varios grados de libertad y de estructuras más sencillas con relaciones fuerza-deformación, periodo, rigidez y masa equivalentes (Saiidi y Sozen, 1979) . La comparación de los resultados de los dos sistemas (fig 1.3) muestra una correlación adecuada, sobre todo para las respuestas máximas.

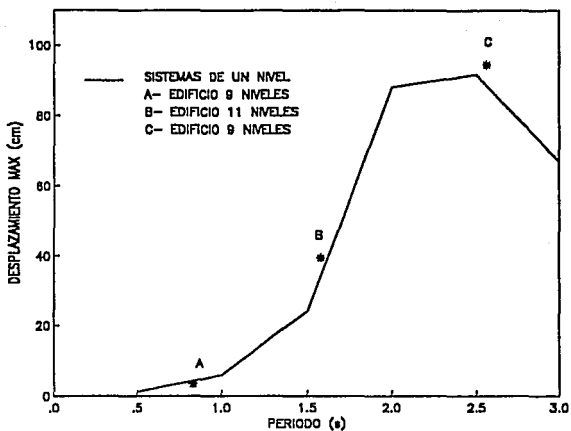


FIG. 1.1 COMPARACION DESPLAZAMIENTOS ELASTICOS MAXIMOS SISTEMA DE UN NIVEL VS SISTEMAS DE VARIOS NIVELES

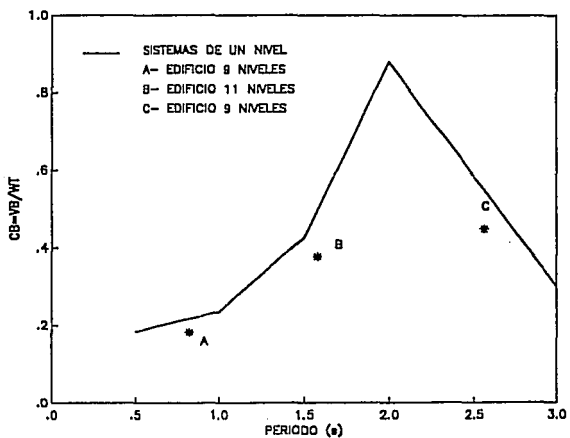
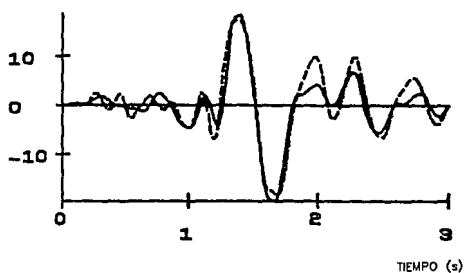
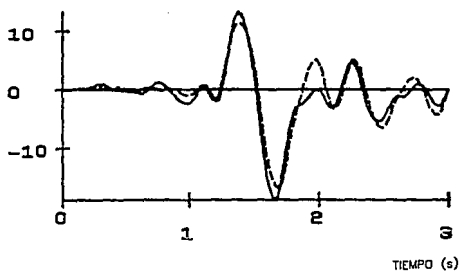


FIG. 1.2 COMPARACION COEFICIENTE CORTANTE BASAL ELASTICO SISTEMA DE UN NIVEL VS SISTEMAS DE VARIOS NIVELES

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (MM)



MOMENTO DE VOLTEO (KN-M)



LINEA CONTINUA - MODELO A

LINEA DISCONTINUA - MODELO B

FIG 1.3 RESULTADOS DE MODELO DE UN GRADO DE LIBERTAD (A) Y MODELO DE 10 NIVELES (B) (SAIDI Y COL, 1979)

CAPÍTULO II ANTECEDENTES

Históricamente, la idea en que se basa el diseño sismo-resistente común ha sido proporcionar resistencia suficiente a las estructuras para que éstas soporten las fuerzas laterales dinámicamente inducidas, sin exceder un nivel aceptable de daño. Esta idea se mantiene actualmente, pero se han incorporado nuevos conceptos como ductilidad, estabilidad y disipación de energía.

Para tener construcciones resistentes y económicas, éstas deben disipar grandes cantidades de energía, lo que obliga a tener desplazamientos laterales de la estructura que provoquen la fluencia de sus miembros, conduciendo al incremento en el amortiguamiento viscoso (Hanson, 1987). Las deformaciones inelásticas normalmente se desarrollan en las conexiones viga-columna, lo que produce daño estructural al sufrir éstas degradación significativa ante números reducidos de ciclos de carga alternante. Esto guió las investigaciones a la búsqueda de formas alternativas para

disipar energía sísmica, llevando a la introducción de sistemas mecánicos de disipación de energía.

La evolución de estos mecanismos se apoyó en los avances obtenidos para sistemas similares, aplicados a conceptos como resistencia al impacto de partes automotrices y de componentes ligeros en aviones, para reducir las vibraciones.

2.1 Dispositivos para reducir la respuesta sísmica en estructuras

Estos dispositivos reducen daños estructurales producidos por sismo. Modifican las propiedades dinámicas del edificio y disminuyen la energía disipada en las conexiones, logrando así concentrar el daño en lugares diseñados para tal fin.

Por su forma de trabajar los dispositivos se clasifican en los de control pasivo, los de control activo y los de control híbrido. Los primeros se caracterizan por la falta de mecanismos que controlen su funcionamiento durante su operación, en tanto que los segundos presentan, ante excitaciones sísmicas intensas, sistemas que se activan y modifican su funcionamiento. Los sistemas híbridos son, en su funcionamiento, combinaciones de los dos sistemas anteriores.

2.1.1 Dispositivos de control pasivo

El principal propósito de éstos, además del funcionamiento convencional de soportar cargas laterales, es disipar energía cinética generada en el sistema por fuerzas sísmicas dinámicamente inducidas.

Los principales dispositivos de control pasivo que existen actualmente son:

- Disipadores de energía
- Aisladores de base
- Osciladores de masa resonante

Disipadores de energía

Generalmente los disipadores de energía se ubican en contravientos. Su principal función es eliminar o disminuir las deformaciones inelásticas en conexiones viga-columna. Durante el comportamiento elástico del edificio, éstos conducen a un aumento en la rigidez.

Según aprovechan la disipación de energía se clasifican en:

- Deformación plástica de metales
- Fricción
- Extrusión
- Amortiguamiento interno en materiales viscoelástico
- Amortiguadores de fluidos viscosos

La disipación por deformación plástica ocurre cuando los metales son deformados más allá de su punto de fluencia, ya sea por flexión, compresión, tensión, torsión o combinaciones de estos casos. En la fig 2.1 los mecanismos que se muestran realizan disipación de energía por deformación a flexión y a torsión al existir un desplazamiento relativo entre la superestructura y la cimentación.

La fig 2.2 presenta un dispositivo de disipación de energía en forma de U, cuya disipación se logra al desplazarse un extremo con respecto al otro (rolado por flexión). El Instituto de Ingeniería de la UNAM desarrolló un mecanismo similar (fig 2.3 a). Los resultados experimentales muestran un comportamiento histerético estable (fig 2.3 b) sin degradación de rigidez ni resistencia (Aguirre y Sánchez, 1990). Con la implantación de estos dispositivos se estudió un modelo de dos niveles en la mesa vibradora del I I, como se observa en la fig 2.3 c (Chávez y González, 1989).

Recientemente en la Universidad de California en Berkeley (Whittaker y col, 1989) se estudió el comportamiento de un dispositivo de acero en forma de doble triángulo,

denominado ADAS. Este dispositivo es el objeto de estudio en este trabajo; su descripción y comportamiento se presenta en la próxima sección.

Ejemplo de un dispositivo que disipa energía por fricción es el que se muestra en la fig 2.4. Se coloca en la parte central de contravientos; la disipación se logra al desplazarse una diagonal con respecto a la otra (Filiatrault y Cherry, 1990). Se diseña para evitar que se deslice ante cargas de servicio y disipe energía cuando las fuerzas laterales sobrepasen cierto umbral.

Los dispositivos que disipan energía por extrusión logran este proceso al deformar un material cuando éste último pasa a través de una sección transversal menor. Después de la deformación el material se recristaliza y recupera sus propiedades originales. La fig 2.5 muestra un esquema de este disipador compuesto por un tubo de acero con plomo en su interior.

Se han estudiado estructuras con dispositivos como el mostrado en la fig 2.6; éste disipa energía por amortiguamiento interno del material viscoso que lo compone. Produce un incremento importante en rigidez y amortiguamiento de la estructura. Los factores que pueden influir en su comportamiento son temperatura ambiental, posición del elemento en la estructura y dimensiones del amortiguador (Soong y col, 1990).

Los amortiguadores de fluidos viscosos operan bajo el principio de flujo de un líquido a través de orificios, éstos muestran esencialmente comportamiento viscoso-lineal y capacidad de funcionamiento sobre un amplio rango de temperaturas. Los amortiguadores consisten en un pistón de acero resistente a la corrosión, con un orificio de bronce en la parte superior y un acumulador. El mecanismo puede proporcionar amortiguamiento viscoso adicional al modo fundamental de vibración de la estructura e incremento en rigidez y amortiguamiento en los modos superiores, suprimiendo en ocasiones la contribución de estos en la respuesta. Investigaciones experimentales y analíticas (Constantinou y Symans, 1992) en estructuras de uno y tres niveles, con diferentes configuraciones de los amortiguadores, muestran que su inclusión reduce los desplazamientos de entrepiso hasta un 70%; similar a los resultados obtenidos en otros

sistemas de disipación de energía. Sin embargo, también se alcanzan reducciones de fuerzas cortantes de hasta 70%, valores que no son alcanzados con otros sistemas.

Aisladores de base

La idea central de "aislar" una estructura es desacoplar la superestructura de la cimentación para disminuir las fuerzas sísmicas en la superestructura. A partir de 1965 se lograron los primeros avances en aisladores de base. Estos generalmente se colocan entre la superestructura y la cimentación, aunque se han colocado entre el primero y segundo niveles del edificio. Sus aplicaciones más comunes han sido en puentes, para permitir desplazamientos libres por cambios de temperatura.

Los sistemas de aislamiento proporcionan a la estructura flexibilidad, incrementando su periodo fundamental. Esta variación en las propiedades dinámicas del edificio limita su aplicación a lugares donde el sismo tiene contenidos altos de frecuencias altas, lo que aleja el periodo de la excitación del periodo de la estructura, evitando grandes amplificaciones (Kelly y col, 1989 y Nagarajaiah y col, 1991).

Existen aisladores de base rectangular o circular, estratificados con placas de hule intercaladas entre placas de acero (fig 2.7). Estos sistemas combinan rigidez horizontal baja y rigidez vertical y resistencia altas. La baja capacidad de disipación de energía de estos aisladores, ha llevado a la inclusión de un corazón de plomo (fig 2.8) que disipa energía al alcanzar la fluencia por cortante y limita los desplazamientos laterales. El comportamiento de estos aisladores debe ser elástico ante cargas de viento y sismos de magnitud moderada.

Investigaciones realizadas en estos elementos demuestran que un incremento de la temperatura produce la disminución de su rigidez y capacidad de disipación de energía y el incremento en las deformaciones (Chang y col, 1992 y Mostaghel y col, 1992).

Hay aisladores compuestos por rodillos o esferas; éstos carecen de un sistema de control de desplazamientos. En México se usó un sistema aislante a base de balines de acero (desarrollado por el Ing M González Flores) en dos edificios de cinco y cuatro niveles, los cuales resistieron el sismo de 1985 sin daños estructurales apreciables.

Cuando el sistema de aislamiento no cuenta con un control de los desplazamientos es deseable combinarlo con mecanismos disipadores, complementando su funcionamiento.

Osciladores resonantes

Consisten en la inclusión de un piso adicional con propiedades dinámicas preestablecidas para reducir la respuesta sísmica de un edificio. Se han utilizado en relación con maquinaria para reducir las vibraciones.

Estos dispositivos alargan el periodo de la estructura por el aumento de los grados de libertad de ésta. En varios países se han estudiado osciladores resonantes en sistemas de varios grados de libertad, encontrándose reducciones importantes en la respuesta. Estudios analíticos realizados en México, muestran posibilidades de aplicación para ciertas estructuras en la zona blanda del Valle de México (Suárez y Ruiz , 1993 y Aguíñiga y Jara, 1993).

2.1.2 Sistemas de control activo

En el control activo el movimiento de la estructura se modifica por la acción de un sistema de control a través de algún suplemento externo.

El control activo mejora al sistema pasivo por: a) eficiencia en el enlace del control del movimiento, b) insensibilidad a las condiciones de sitio y movimiento, c) aplicabilidad a diversas sollicitaciones (sismo, viento, etc.) y d) selectividad de los objetivos de control, como comodidad de los ocupantes o aspectos del movimiento estructural. El control activo necesita un mantenimiento continuo y puede ser muy costoso en edificios altos (Soong y col, 1991; Taylor y col, 1992 y Tyler, 1991).

El sistema de control activo consiste en: sensores localizados en la estructura para medir la excitación externa y/o variables de la respuesta; mecanismos para procesar las mediciones y calcular las fuerzas necesarias, basadas en el algoritmo de control y, actuadores para producir dichas fuerzas, como se muestra en la fig 2.9.

Los principales sistemas desarrollados actualmente son:

- Tendón activo
- Amortiguador de masa activa
- Rigidez variable
- Dispositivos de fricción activa
- Aislador activo

Los tendones activos controlan el comportamiento de las estructuras usando diagonales conectadas a la estructura, modificando sus tensiones a cada instante de tiempo. Se colocan buscando que no coincida el periodo del edificio con el periodo dominante del suelo. Al diseñar las diagonales se presentan variaciones en su longitud, área y posición. La fig 2.10 muestra un ejemplo de posibles ubicaciones de estos sistemas en un marco.

Una extensión activa de los osciladores resonantes es el sistema amortiguador de masa activa con la variante de que el movimiento en el piso adicional es controlado por computadora. El sistema de masa activa biaxial de la fig 2.11 es del tipo de péndulo con regulador de seguridad a la falla; fue fabricado en Japón y ha sido utilizado en una estructura de seis niveles.

El sistema de rigidez variable ajusta la rigidez estructural para modos resonantes, alejando a la estructura de periodos dominantes del suelo (fig 2.12). Para este proceso no se requiere una gran cantidad de energía externa. La fricción activa controla la fuerza umbral para la cual se desliza el dispositivo. El aislador activo es una extensión del pasivo.

Los sistemas híbridos (activo y pasivo) se pueden complementar mejorando el comportamiento de la estructura. Por ejemplo, la energía necesaria para el funcionamiento de un sistema de control activo puede ser reducida si se combina con un sistema pasivo, mejorando la efectividad del primero.

Todos estos sistemas pueden reducir la respuesta estructural; la elección entre ellos está determinada por las características estructurales, su lugar de ubicación y de consideraciones como costo, utilización de espacio y mantenimiento.

2.2 Dispositivos ADAS

Los mecanismos de adición de rigidez y amortiguamiento ADAS están constituidos por ensambles de placas de acero A-36 (fig 2.13), diseñadas para ser instaladas en marcos de edificios, de manera que la parte superior del mecanismo se mueva horizontalmente en forma relativa con respecto a la parte inferior.

Los elementos ADAS no tienen partes móviles mecánicamente y por lo tanto no requieren de mantenimiento. Pueden ser instalados en estructuras nuevas o para reforzar las ya existentes.

La innovación técnica intrínseca de los elementos ADAS es la forma X de su sección transversal y la manera en que las placas se deforman (fig 2.14). La placa X fluye uniformemente en curvatura doble sobre toda su altura, a diferencia de la placa rectangular que sólo fluye en sus extremos. Esto permite que un gran volumen de material se deforme plásticamente, maximizando la disipación de energía. (School, 1987; Su y col, 1990 y Xia y col, 1992).

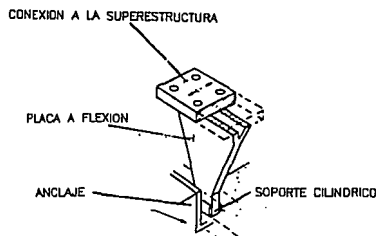
Con un diseño propio y una adecuada colocación de los elementos ADAS se logra: el desarrollo de energía inelástica en sitios específicos diseñados para tal fin, reducción de la fluencia en elementos estructurales importantes, incremento en la capacidad de disipación de energía, incremento de la rigidez elástica e incremento de la resistencia máxima.

Dos características críticas que determinan la utilidad de los ADAS son: 1) la cantidad de energía disipada a bajos niveles de desplazamiento y 2) las características de falla por fatiga. Los dispositivos mostraron comportamiento histerético estable sin degradación de rigidez o resistencia ante un número elevado de ciclos de carga alternante. La figura 2.15 muestra ciclos histeréticos obtenidos experimentalmente, después del primero y centésimo ciclos. Se nota una gran similitud entre las curvas. La

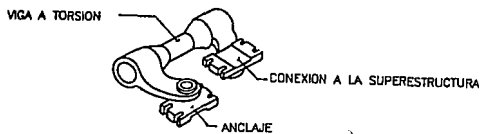
fig 2.16 reproduce los resultados de pruebas cíclicas para encontrar la resistencia por fatiga de elementos ADAS.

En la Universidad de California en Berkeley se analizó en la mesa vibradora un marco tridimensional de tres niveles y una cruzja en cada dirección ortogonal (fig 2.17). Se adicionaron dispositivos en la dirección de aplicación del sismo. Los resultados muestran que los ADAS son efectivos para reducir la respuesta del marco. La fig 2.18 muestra las envolventes de desplazamientos relativos, desplazamientos máximos y cortantes en el marco con y sin dispositivos, cuando éste se sometió a la excitación de El Centro, 1940 (Whittaker y col, 1989).

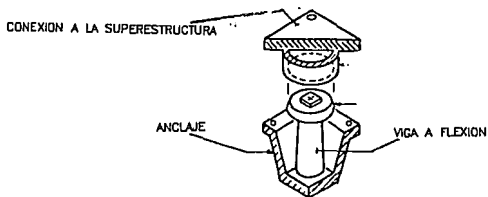
En el Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra se han estudiado sistemas estructurales con la inclusión de los disipadores de energía ADAS y aquellos en forma de U (Jara y col, 1990 - 1993). Sus resultados mostraron que estos mecanismos pueden, en algunos casos, reducir de forma importante la respuesta dinámica estructural.



a) PLACA A FLEXION



b) VIGA A TORSION



c) VIGA A FLEXION

FIG 2.1 MECANISMOS DISIPADORES A FLEXION Y TORSION

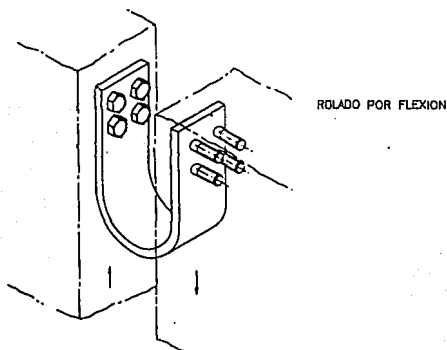
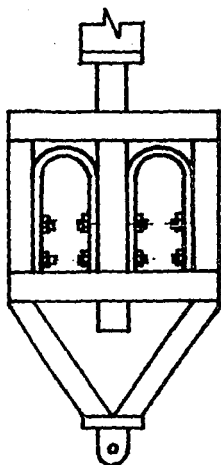
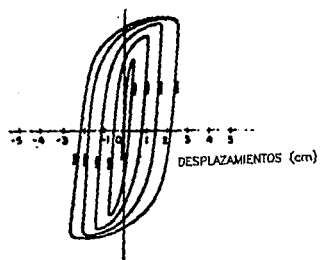


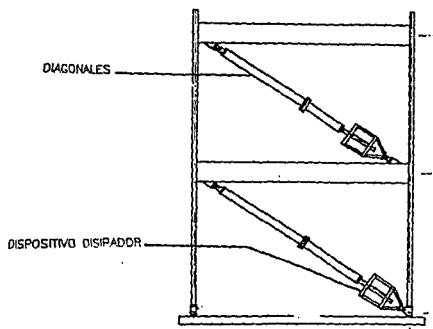
FIG 2.2 DISIPADOR EN FORMA DE U



a) DETALLE DEL MECANISMO

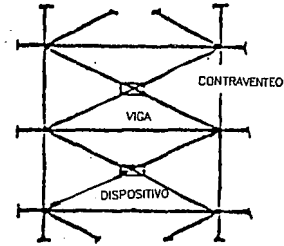


b) CURVAS ESFUERZO-DEFORMACION

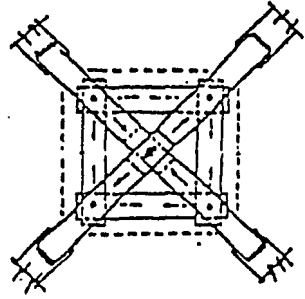


c) MARCO DE PRUEBA

FIG 2.3 DISIPADOR DESARROLLADO EN EL I. DE I.



a) UBICACION DE LOS DISPOSITIVOS



b) MECANISMO

FIG 2.4 DISIPADOR DE ENERGIA POR FRICCION

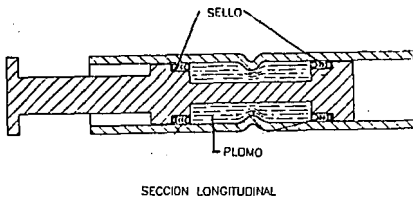


FIG 2.5 DISIPADOR DE ENERGIA
POR EXTRUSION

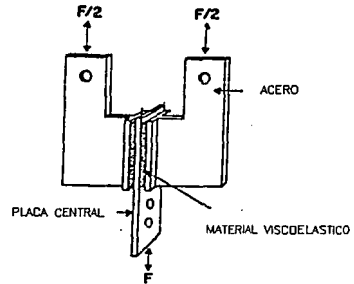


FIG 2.6 DISIPADOR VISCOELASTICO

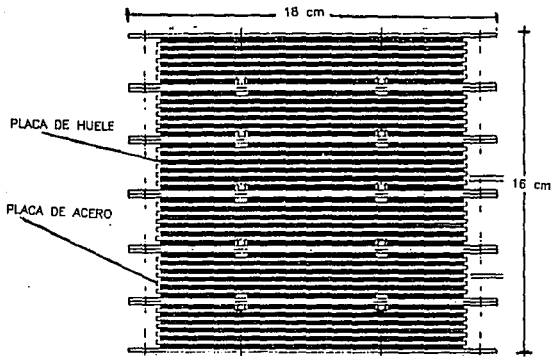


FIG 2.7 AISLADOR DE HUELE

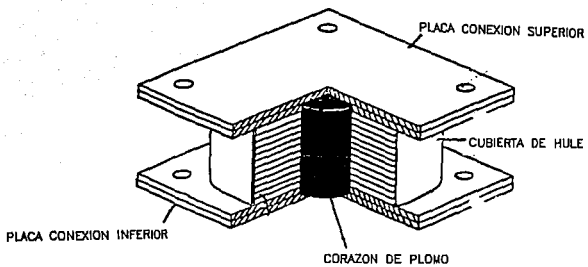


FIG 2.8 AISLADOR CON CORAZON DE PLOMO

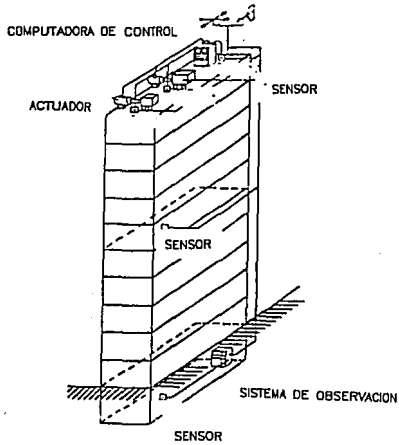


FIG 2.9 SISTEMA DE CONTROL ACTIVO

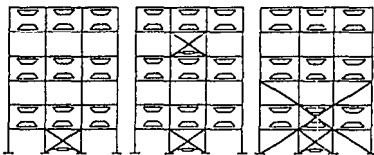


FIG 2.10 TENDONES ACTIVOS

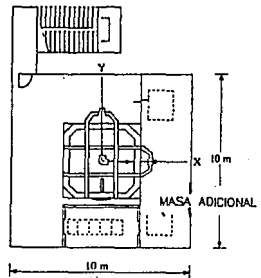


FIG 2.11 MASA ACTIVA

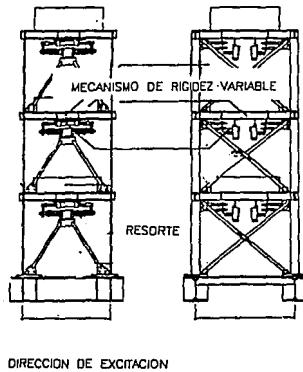
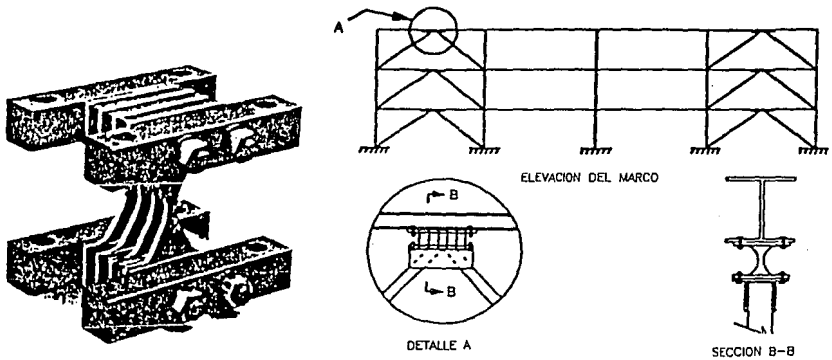


FIG 2.12 SISTEMA ACTIVO DE RIGIDEZ VARIABLE



a) ARREGLO DE DISPOSITIVOS

b) EJEMPLO DE COLOCACION EN MARCOS

FIG 2.13 DISIPADORES ADAS


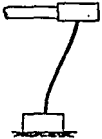


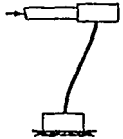

CONFIGURACION DE LA PLACA	PERFIL	DEFORMACION	DISTRIBUCION DEL ACERO	COMENTARIOS
RECTANGULO			 $+ f_y +$	INEFICIENTE DEBIDO A FLUENCIA LOCAL
FORMA X				EFICIENTE

FIG 2.14 PLACAS DE ACERO CON DISIPACION

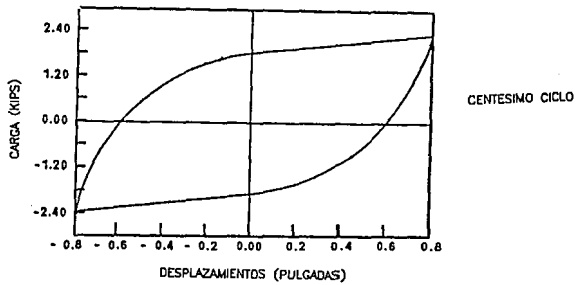
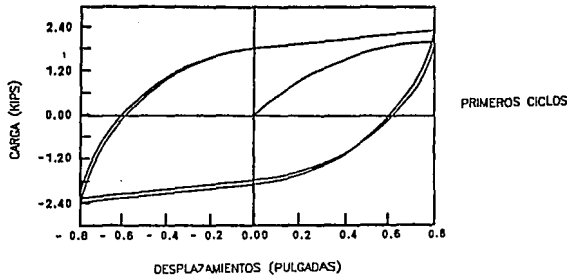


FIG 2.15 CURVAS EXPERIMENTALES

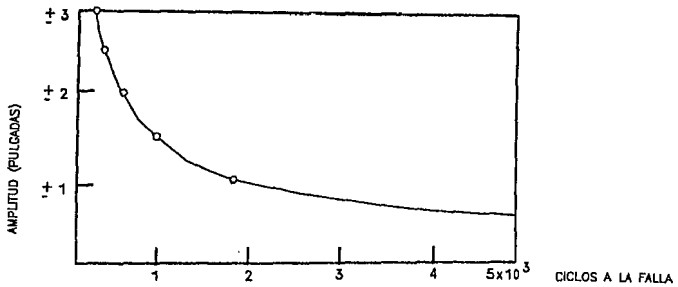


FIG 2.16 RESULTADOS PRUEBAS DE FATIGA

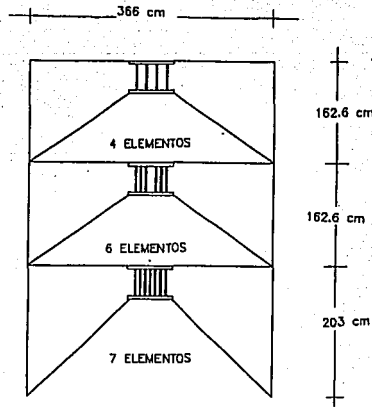


FIG 2.17 MARCO DE PRUEBA CON ADAS

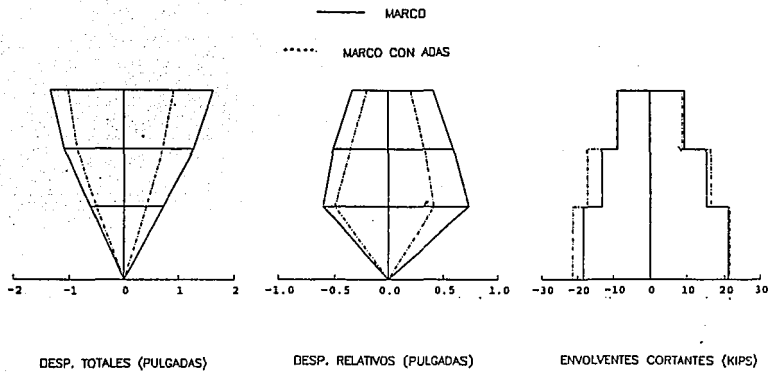


FIG 2.18 RESPUESTAS OBTENIDAS

CAPÍTULO III EDIFICIO CON DISIPADORES

Los estudios realizados en la Universidad de California en Berkeley, con los elementos disipadores de energía ADAS mostraron que dichos dispositivos pueden mejorar la respuesta estructural (Whittaker y col, 1989). En las pruebas realizadas en el prototipo experimental se utilizaron registros sísmicos con diferentes características de las que se presentan en nuestro país.

Con el fin de investigar el comportamiento de dispositivos disipadores de energía ADAS en estructuras reales ante excitaciones sísmicas registradas en el valle de México, en este trabajo se analiza la respuesta de una estructura de concreto, observando la variación que sufre cuando se adicionan dichos dispositivos disipadores.

3.1 Registros seleccionados

La Ciudad de México está, principalmente, dividida en tres regiones geotécnicas: zona dura o zona de lomas, zona de transición y zona blanda o zona del lago. Dado que estas regiones geotécnicas presentan diferentes características dinámicas,

se seleccionaron acelerogramas de cada una de ellas. Estos se registraron durante el terremoto de Michoacán el 19 de septiembre de 1985 en las estaciones Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, zona del lago), Viveros (zona de transición) y Tacubaya (zona dura), todos ellos en la dirección EW. En la fig 3.1 se aprecia la ubicación de las estaciones nombradas y las regiones geotécnicas del D. F. En la fig 3.2 se presentan los acelerogramas y espectros de respuesta de cada estación, donde se identifican sus propiedades dinámicas.

3.2 Modelos estructurales

La estructura de concreto es a base de marcos planos formados por columnas y trabes, sobre las cuales se apoya una losa maciza de concreto; consta de tres crujeas en una dirección y cuatro en la otra. Las dimensiones en planta y elevación se observan en la fig 3.3. En el modelo se considera un 5% del amortiguamiento crítico.

Los modelos a trabajar son:

- Estructura de marco
- Marco con disipadores ADAS

Se llevó a cabo un análisis dinámico tridimensional para determinar las propiedades elásticas del edificio (como periodo fundamental) y posteriormente se realizó el análisis inelástico de un marco plano representativo.

Los edificios fueron analizados tridimensionalmente en el rango de comportamiento elástico con el programa SUPER-ETABS (Wilson y Neuss, 1983). Las estructuras se modelaron como subsistemas planos que se encuentran unidos por un sistema de piso infinitamente rígido en su plano.

En el análisis se utilizan las cargas que recomienda el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 1987 (RDF-87), suponiendo que el uso del edificio es de oficinas. Este se encuentra ubicado en la zona de suelo blando (zona III), por lo que le corresponde un coeficiente sísmico de 0.4. Las cargas gravitacionales (carga

muerta más viva) en la azotea son de 0.89 ton/m² y de 1.38 ton/m² en promedio en los niveles intermedios. El peso total del edificio es de 4300 ton. Se eligió un factor de comportamiento sísmico de 2.

Se obtuvo para el modelo de estructura de marco un desplazamiento máximo en azotea de 0.0052 veces la altura del edificio, cumpliendo con los requerimientos que marca el RDF-87.

Con el análisis elástico, además de obtener el periodo fundamental, se revisaron las dimensiones propuestas de los elementos del marco para un acelerograma sintético obtenido en la estación 56. Este acelerograma tiene características similares al registro de SCT-EW en cuanto a contenido de frecuencias, pero presenta ordenadas espectrales mayores a las de este (Jara y col, 1991). En el análisis inelástico dichas secciones produjeron inestabilidad en el modelo, por lo que se realizó un proceso iterativo hasta determinar las secciones óptimas. Se aceptaron como secciones óptimas aquellas que cumplen con los desplazamientos relativos que permite el reglamento y con las cuales la estructura presente el mayor daño posible, sin que se forme un mecanismo.

Las vigas fueron diseñadas a flexión y las columnas a flexocompresión. En el diseño de estos elementos se eligió un porcentaje del área de acero del 2% del área total, para evitar su rediseño en cada iteración. Se adoptó como resistencia en compresión simple del concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, el esfuerzo de fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ y el módulo de elasticidad del concreto $E = 14\,000 \sqrt{f'c}$ en kg/cm^2 .

Los periodos obtenidos del análisis elástico se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Periodos fundamentales de los modelos de marco analizados	
Estructura de marco	Marco con ADAS
0.836 s	0.560 s

Por medio de la aplicación del análisis inelástico paso a paso con el programa DRAIN-2D (Kanaan y Powell, 1973) se obtuvieron para cada modelo los desplazamientos máximos, desplazamientos relativos máximos, envolventes de cortantes en columnas y demandas de ductilidad por entrepiso. Estos valores máximos no necesariamente ocurren al mismo tiempo.

Como el programa de análisis inelástico paso a paso utilizado contempla solamente el análisis de estructuras planas, se aisló un marco plano que fuera representativo de la estructura tridimensional, procurando conservar las propiedades dinámicas de ésta. Por la regularidad del edificio estudiado los marcos que lo componen en una dirección dada presentan las mismas características de rigidez, facilitando la selección del marco representativo. Se eligió un marco exterior en la dirección X, con una masa del 20% de la masa total del edificio (por existir cinco marcos en esta dirección).

Al modelar los marcos en el análisis inelástico se utilizan las siguientes hipótesis:

- Las masas se concentran en los nudos de la estructura.
- Los elementos del marco se idealizan como elementos viga-columna (elementos a flexión), con comportamiento bilineal.
- La pendiente en la zona de fluencia es del 1% de la pendiente elástica.

Cuando se sometió el modelo de marco rígido a las excitaciones seleccionados el comportamiento de éste fue elástico. Por esta razón se decidió escalar dichos registros hasta lograr la fluencia de la mayoría de las vigas del marco y así forzar a que los dispositivos ADAS fluyeran. Se escalaron con un factor de 2.5 la señal de SCT, 9.0 la señal de Tacubaya y 8.5 la de Viveros.

Al modelo de marco rígido se adicionaron los dispositivos disipadores de energía ADAS. Estos se incluyen en la crujía central del marco representativo. Como es usual, en el modelo se formaron los dispositivos como ensambles de placas fijas diagonales de acero. Se eligen estas diagonales de manera que se mantenga elástico su comportamiento para provocar que sólo los dispositivos fluyan.

Cuando los elementos ADAS se modelaron en el análisis inelástico se adoptaron las siguientes hipótesis:

- Los elementos ADAS se modelaron como elementos equivalentes trabajando a carga axial, considerando como parámetros el desplazamiento de fluencia y el esfuerzo para el que se produce la fluencia de los dispositivos.
- La pendiente de la zona de fluencia de los ADAS es del 7.5% de la pendiente en la zona elástica (Whittaker y col, 1991). Para las diagonales se utilizó una pendiente en el intervalo de fluencia del 1% de la correspondiente al intervalo elástico.

Para modelar los dispositivos ADAS el programa solicita de los elementos equivalentes área y esfuerzo de fluencia. Estos valores se obtienen a partir de la Ley de Hooke para los alargamientos absolutos, mediante la siguientes expresiones:

$$\Delta y = \frac{PL}{AE}$$

$$f_y = \frac{P}{A}$$

donde:

Δy = Desplazamiento de fluencia

P = Carga que ocasiona la fluencia

L = Longitud del elemento

A = Área de la sección transversal

E = Módulo de elasticidad

f_y = Esfuerzo de fluencia

despejando **A** de la primera expresión:

$$A = \frac{PL}{\Delta y E}$$

con lo cual se obtienen los datos necesarios para representar en el programa los elementos ADAS. Para la colocación de dichos elementos se realizó un proceso iterativo variando los valores de Δy y **P** en las expresiones anteriores, hasta lograr que la ductilidad en los elementos fuera igual a seis. Este valor es recomendado con base en pruebas experimentales en los dispositivos (Whittaker y col, 1991).

Los resultados del análisis inelástico con las secciones definitivas se organizaron en gráficas, cuyas abscisas son los diferentes niveles y las ordenadas los valores resultantes.

Las figs 3.4 a 3.9 muestran los resultados para los modelos de estructura de marco (línea continua) y modelos de marco con dispositivos (línea punteada), ante las excitaciones de SCT, Viveros y Tacubaya, respectivamente. A continuación se comentan los resultados para cada una de las excitaciones.

SCT. Los desplazamientos relativos y totales (fig 3.4) son menores en el modelo con disipadores con respecto al modelo original. Los cortantes de entrepiso son similares en los dos modelos (fig 3.5) y demandas de ductilidad son mucho

menores en el caso del modelo con disipadores. En los cortantes de entrepiso se incluyen los obtenidos en columnas, diagonales y dispositivos.

Viveros. Los desplazamientos relativos y totales (fig 3.6) se reducen alrededor de un 20% en el modelo con ADAS comparado con el modelo de estructura de marco. La máxima demanda de ductilidad en el modelo de estructura de marco fue nueve, reducida a seis en el modelo con dispositivos (fig 3.7). No ocurren cambios apreciables en los cortantes de entrepiso de los dos modelos.

Tacubaya. En la fig 3.8 observamos que se reducen notablemente los desplazamientos relativos y totales en el modelo con dispositivos. Existe poca variación en los cortantes de entrepiso y hay reducciones en las demandas de ductilidad (fig 3.9).

La inclusión de los dispositivos disipadores de energía en el modelo propuesto y ante las excitaciones utilizadas reduce los desplazamientos relativos y desplazamientos totales, sobre todo en el caso del acelerograma de Tacubaya. No se encontraron variaciones apreciables en los cortantes de entrepiso. Aunque la disipación de energía en la estructura no se elimina totalmente, la disminución en las demandas de ductilidad produce menores daños en las estructuras analizadas.

Las reducciones de las respuestas pueden deberse solamente al decremento por rigidización del periodo fundamental del edificio y, por lo tanto, a que éste sea sometido a ordenadas espectrales menores. Aunque también puede influir en éstas la disipación de energía desarrollada en la estructura. Para los periodos fundamentales del modelo antes y después de incluir los disipadores (0.84 s y 0.56 s, respectivamente) y para el cambio de rigidez a que éstos conducen no se observa con claridad el efecto que se produce.

Por lo dicho anteriormente, es necesario evaluar el comportamiento de estructuras con dispositivos disipadores de energía, considerando diferentes características dinámicas de las estructuras (tanto periodos fundamentales iniciales, como

incrementos de rigidez) para conocer el intervalo de aplicación. En el siguiente capítulo se realiza un análisis paramétrico para cumplir con este fin.

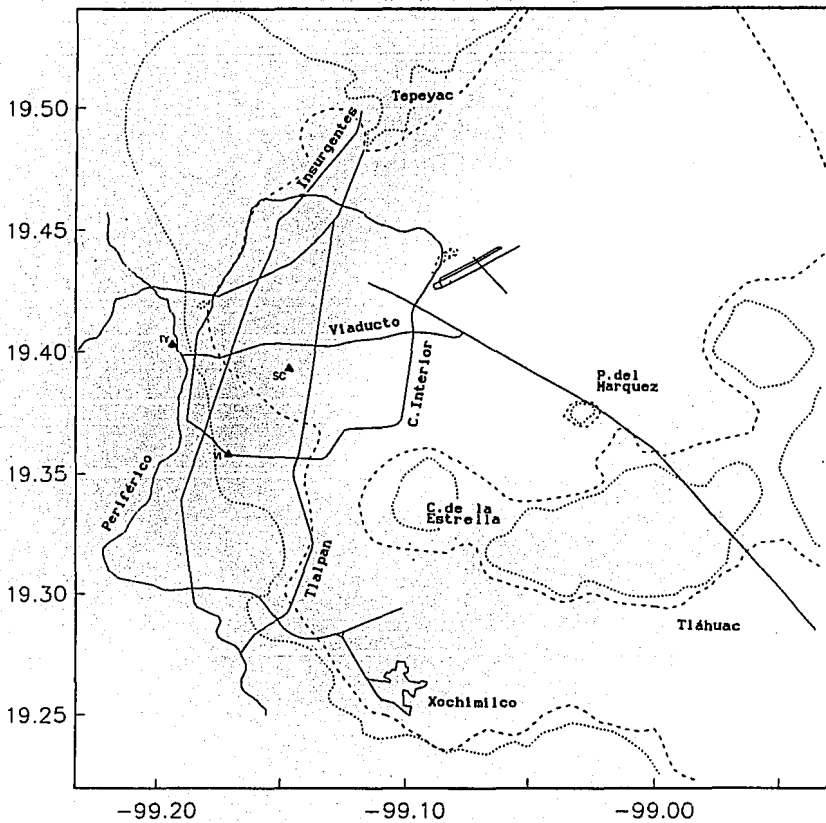
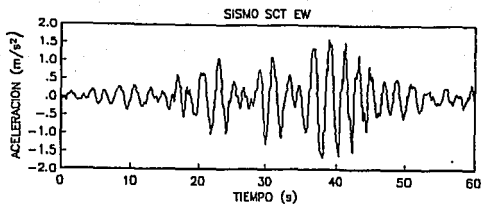
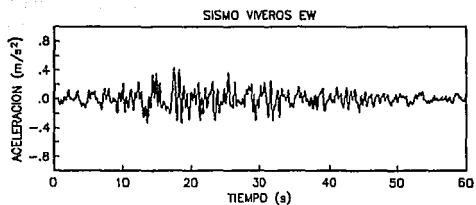
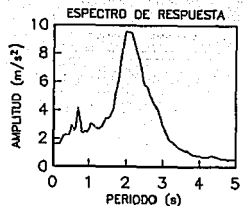


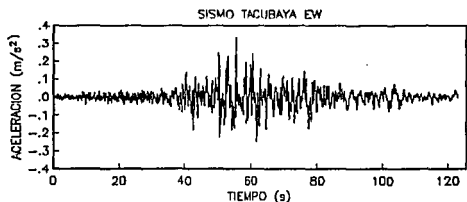
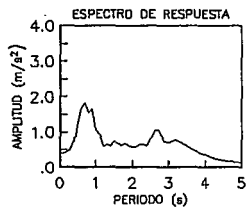
FIG 3.1 UBICACION DE LAS ESTACIONES SISMICAS



a) ESTACION SCT-EW (1985)



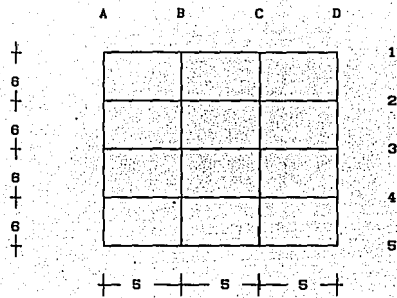
b) ESTACION VIVEROS-EW (1985)



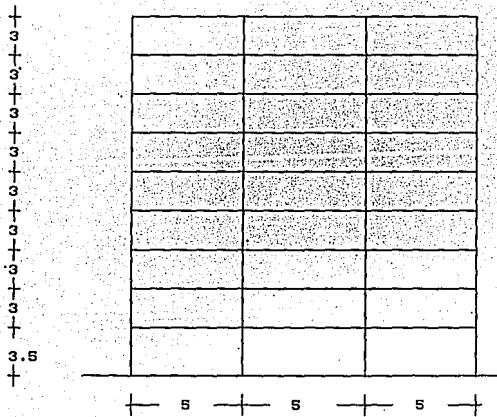
c) ESTACION TACUBAYA-EW (1985)



FIG 3.2 ACELEROGRAMAS Y ESPECTROS DE RESPUESTA



a) Planta



b) Marco del eje 1. Elevación

FIG 3.3 EDIFICIO DE CONCRETO (dimensiones en m)

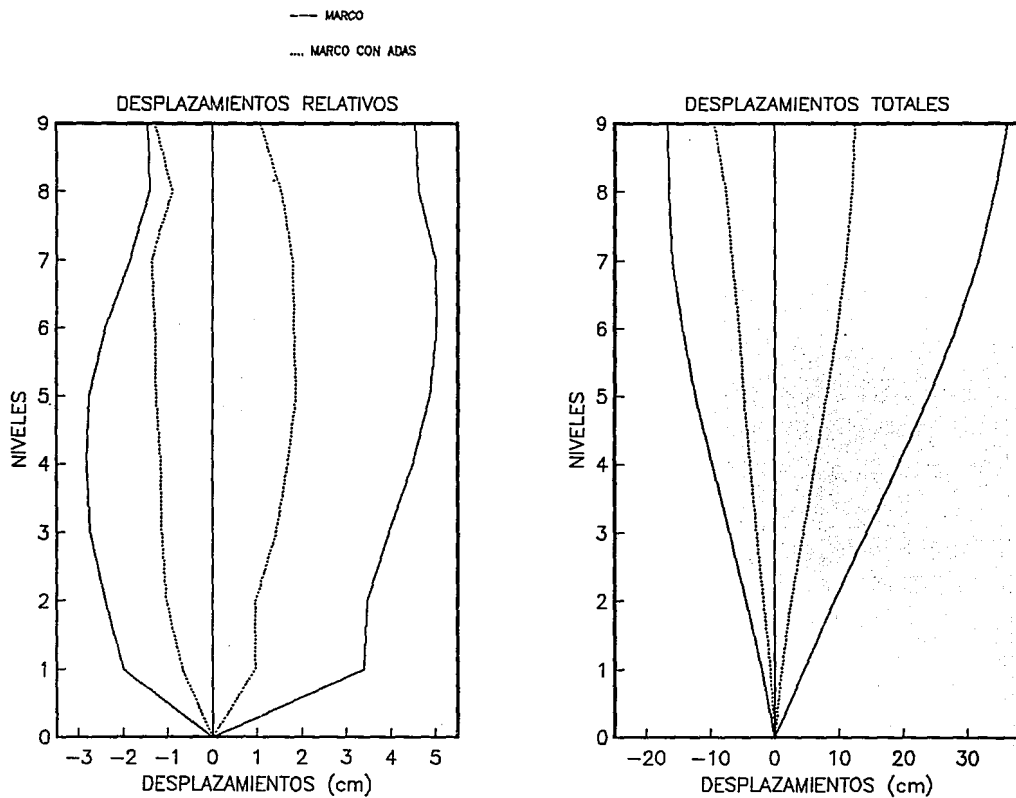


FIG 3.4 MARCO DE CONCRETO (SCTEW-85)

— MARCO
 MARCO CON ADAS

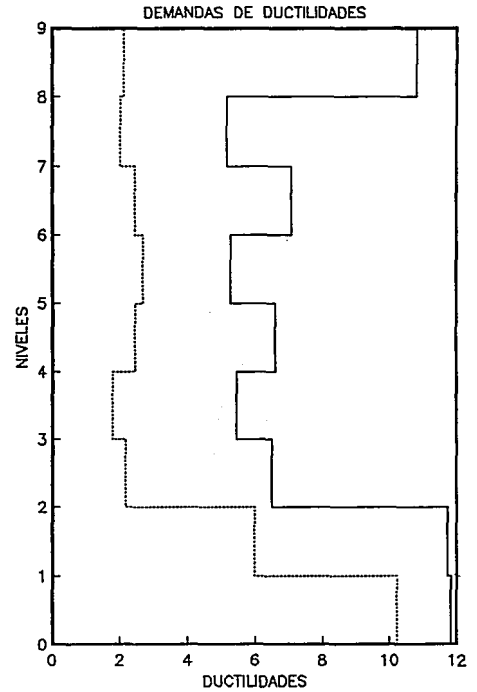
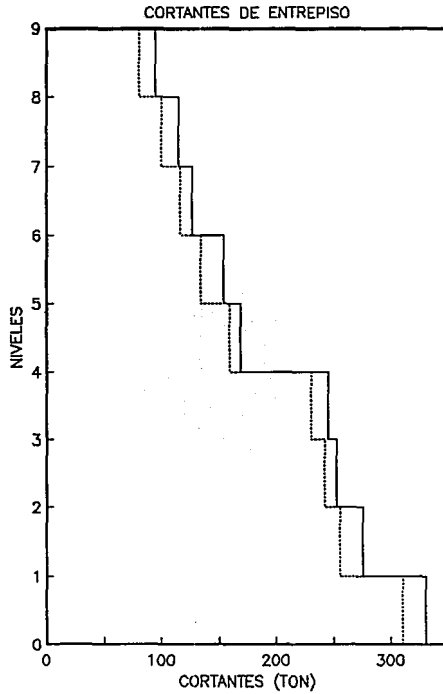


FIG 3.5 MARCO DE CONCRETO (SC7EW-85)

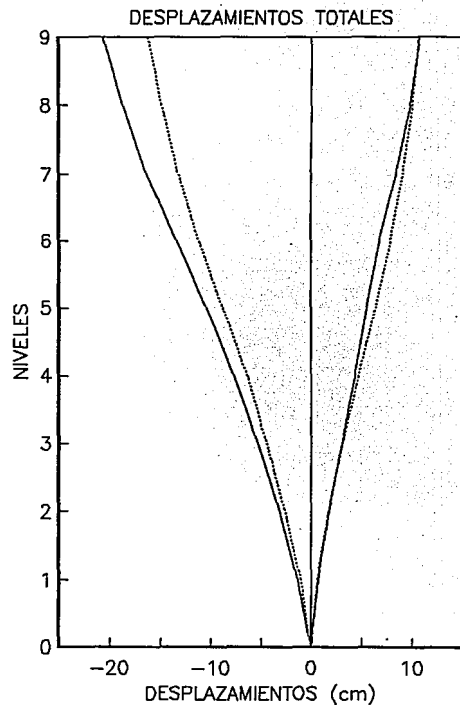
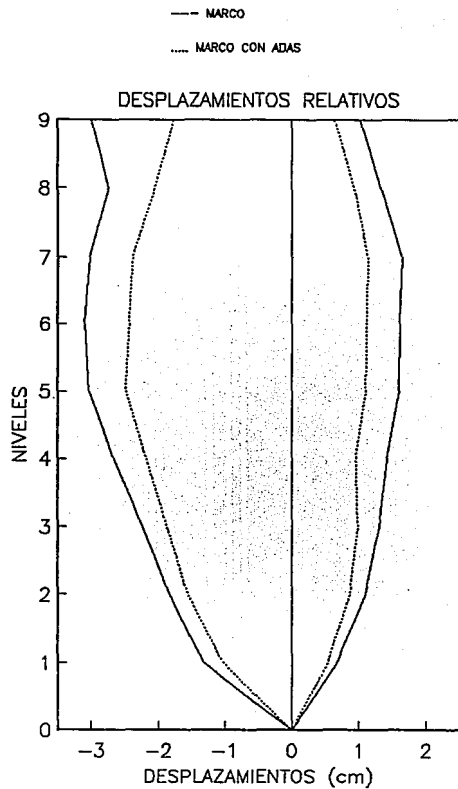


FIG 3.6 MARCO DE CONCRETO (VIV-85)

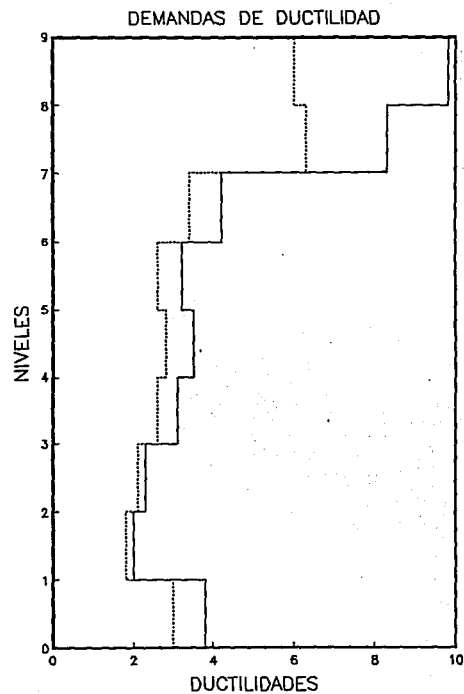
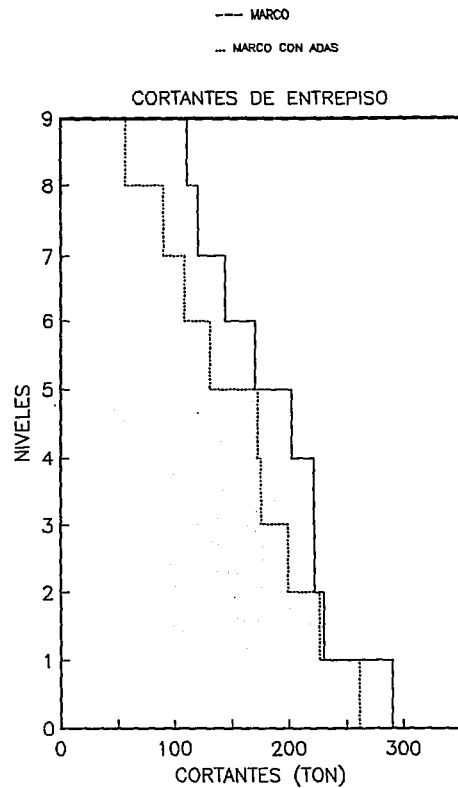


FIG 3.7 MARCO DE CONCRETO (VIVEW-85)

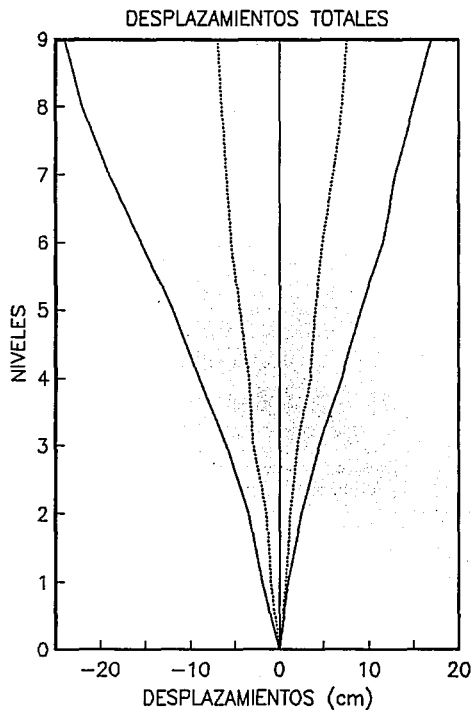
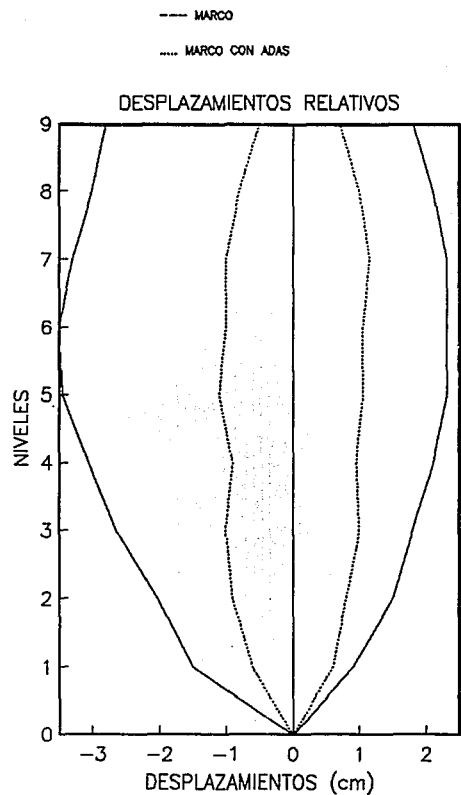


FIG 3.8 MARCO DE CONCRETO (TACEW-85)

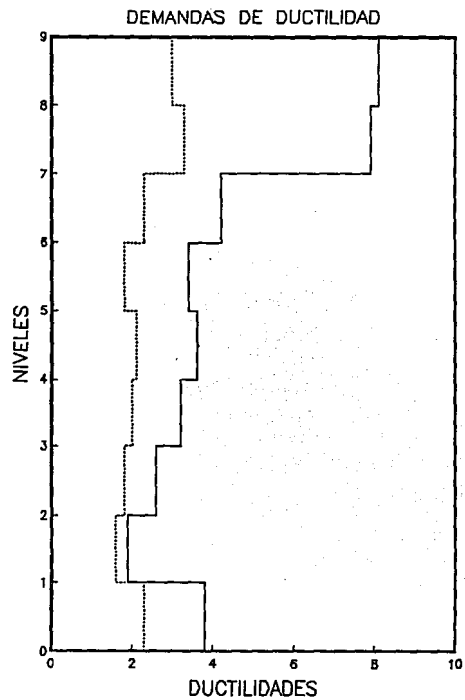
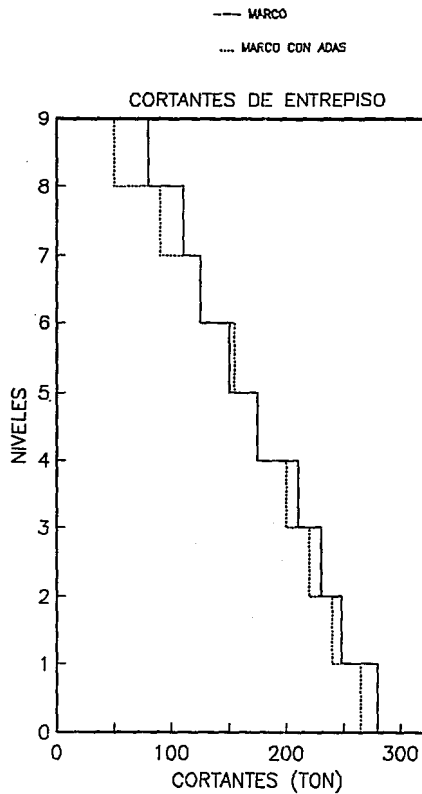


FIG 3.9 MARCO DE CONCRETO (TACEW-85)

CAPÍTULO IV ESTUDIO PARAMÉTRICO

El análisis de un modelo de un marco de acero de diez niveles con mecanismos disipadores de energía tipo ADAS mostró que la inclusión de éstos puede ser benéfica, al reducir las respuestas estructurales ante sollicitaciones sísmicas características del valle de México. También sugiere que la eficiencia de dichos mecanismos disipadores está directamente relacionada con el periodo fundamental de la estructura y con las características de los sismos del lugar de desplante de ésta.

Estas observaciones sugirieron la conveniencia de profundizar en el estudio de los principales parámetros que controlan la respuesta estructural con dispositivos disipadores de energía. Por ello se modelan aquí sistemas más sencillos que nos permiten comprender en qué forma y bajo qué condiciones se modifica la respuesta de una estructura debido a la inclusión de tales mecanismos.

En este capítulo se presenta un estudio paramétrico comparativo con los siguientes modelos:

- Modelo de marco
- Modelo de marco con disipadores
- Modelo de marco rigidizado con contravientos

Se eligió el modelo de marco como la estructura original. El modelo de marco con disipadores se estudia para conocer cómo varía la respuesta cuando se colocan éstos. Para comparar las respuestas estructurales de marcos con elementos disipadores y marcos rigidizados se incluyó el estudio de marcos contraventeados.

La adición de elementos disipadores de energía modifica las características dinámicas del marco. El incremento en rigidez reduce el periodo fundamental. En ciertas condiciones este efecto por sí solo puede mejorar el comportamiento de la estructura al alejar el periodo de la misma de la zona crítica del espectro de respuesta al que está sometida. A deformaciones grandes se logra que los dispositivos disipen parte de la energía que el temblor suministra a la estructura, con lo que se presenta una pérdida de rigidez del sistema, que en algunos casos puede regresar el modelo a la zona crítica del espectro.

Los parámetros a estudiar son: a) el desplazamiento de fluencia del disipador, para determinar su influencia en la respuesta global de la estructura y conocer los valores que producen mejor comportamiento estructural; b) el periodo fundamental estructural de los marcos, y c) el porcentaje de participación de los dispositivos en la rigidez del marco. Los modelos se sometieron a aceleraciones sísmicas registradas en el valle de México para considerar las características propias de las diferentes zonas del terreno en el Distrito Federal.

Para comparar las respuestas estructurales de los diferentes modelos se considerarán los siguientes conceptos: momentos máximos, fuerzas cortantes

máximas, desplazamiento lateral máximo, demandas de ductilidad y coeficiente de cortante basal.

4.1 Marco sin disipadores

El modelo seleccionado es un marco idealizado como un sistema de un grado de libertad, cuyas dimensiones se observan en la fig 4.1. El sistema tiene una rigidez $K = 8.85 \text{ ton/cm}$, proporcionada por dos columnas de sección rectangular con momento de inercia $I = 180\,000 \text{ cm}^4$ y una viga de inercia aproximadamente nula, con el propósito de concentrarse en la acción producida por el sismo en las columnas.

Como gran número de los edificios construidos en el valle de México tienen periodos comprendidos entre 0.5 y 3.0 s, se optó por estudiar seis periodos fundamentales del modelo, a cada 0.5 s, dentro de este intervalo.

Los modelos fueron excitados con tres registros obtenidos en la Ciudad de México durante el sismo de Michoacán en septiembre de 1985 (fig 3.2), mismos que se utilizaron en el caso del marco de concreto de nueve niveles descrito en el capítulo tres.

Como un medio de comparación entre los diferentes modelos se dispuso que todos los marcos tuvieran ductilidad aproximada de 2.0, por ser éste un valor de práctica común en el diseño estructural en el D F. Para alcanzar una demanda de ductilidad de ese orden se modificó la resistencia del marco ante cada excitación. Se estudiaron seis modelos de periodo fundamental dado con tres excitaciones cada uno, lo que da un total de 18 modelos de marco analizados. Todos los casos estudiados tienen la misma rigidez, por lo que para alcanzar los periodos objeto del estudio se variaron las masas de los modelos.

Se realizaron análisis inelásticos paso a paso, con la ayuda del programa DRAIN-2D. De estos se obtuvieron los elementos mecánicos máximos y los desplazamientos máximos en las columnas. Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resultados de los modelos de marco original

T (s)	dmax (cm)	V (ton)	M (ton-cm)
0.5	2.38	10.3	1551
1.0	8.63	38.2	5725
1.5	23.40	101.4	15208
2.0	37.57	162.2	24329
2.5	47.82	202.9	30433
3.0	53.27	226.4	33981

Acelerograma SCT-EW

T (s)	dmax (cm)	V (ton)	M (ton-cm)
0.5	0.45	2.00	304
1.0	1.64	6.96	1045
1.5	3.65	15.74	2360
2.0	4.57	26.36	3953
2.5	8.09	44.62	6693
3.0	10.12	43.94	6590

Acelerograma Tacubaya-EW

T (s)	d _{max} (cm)	V (ton)	M (ton-cm)
0.5	1.09	4.76	714
1.0	2.55	11.16	1673
1.5	5.01	21.96	3294
2.0	7.13	32.40	4838
2.5	12.08	52.06	7808
3.0	8.48	37.82	5673

Acelerograma Viveros-EW

T = Período d_{max} = desplazamiento máximo M = Momento máximo V = Fuerza cortante máxima

4.2 Marco con disipadores

Al marco rígido se adicionaron los mecanismos disipadores de energía; estos se dispusieron en la parte central de la viga conectados a la base del marco mediante contravientos de acero, como se ilustra en la fig 4.2 a). Los elementos disipadores se modelaron como elementos diagonales equivalentes (fig 4.2 b) conectados de los extremos de la viga a la parte central de la misma. Para fines ilustrativos, el nudo central en la figura 4.2 b se encuentra desplazado hacia abajo respecto al eje longitudinal de la viga, en el modelo éste se ubica sobre dicho eje.

En el modelo matemático los dispositivos ADAS y los contravientos se trataron como elementos tipo armadura, considerando un comportamiento elastoplástico con pendiente en la zona posterior a la fluencia del 7.5% de la rigidez elástica, análogamente a lo planteado en el capítulo anterior. La elección de las propiedades de los contravientos que soportan a los disipadores (área de la sección transversal y esfuerzo de fluencia) fue tal que su comportamiento estuviera siempre dentro del rango elástico.

Para determinar las propiedades de los disipadores, esto es, área y esfuerzo de fluencia, fue necesario conocer el desplazamiento de fluencia de los dispositivos. Se consideró

éste como un parámetro más y se seleccionaron cuatro desplazamientos de fluencia del disipador 0.15, 0.30, 0.50 y 0.85 cm, intervalo en que se ha encontrado un adecuado funcionamiento del disipador (Jara y col, 1991).

Para cada desplazamiento elegido se formaron sistemas marco-disipador que tuvieran rigideces múltiples de la rigidez del marco original (K_m). Así, se eligieron valores de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 veces K_m , resultando para cada uno de los 18 modelos de marco rígido 16 modelos de marco con disipadores: cuatro variaciones del desplazamiento de fluencia de los dispositivos y cuatro combinaciones de rigidez del sistema, lo que da un total de 288 modelos.

Todos estos modelos fueron nuevamente sometidos a las excitaciones seleccionadas empleando el mismo programa. De los análisis se obtuvieron coeficientes basales, elementos mecánicos máximos, fuerzas cortantes máximas y demandas de ductilidad de las columnas y áreas histeréticas de los disipadores. El área histerética se define como el área encerrada en la curva esfuerzo-deformación. En la tabla 4.2 se presentan los periodos fundamentales de los modelos antes y después de la rigidización por colocación de los dispositivos disipadores.

Los resultados obtenidos en los análisis inelásticos se organizaron en gráficas, cuyas ordenadas son las respuestas máximas, y las abscisas los seis periodos fundamentales del marco sin mecanismos disipadores. Para cada recuadro de las figuras se graficó uno de los desplazamientos de fluencia de los disipadores con los cuatro diferentes casos de rigidez. En las figuras de coeficiente basal, a diferencia de las demás, se muestran en las abscisas los periodos que por rigidización tienen los modelos.

Tabla 4.2 Periodos originales y modificados por rigidez				
T_o	T_m			
	$K = 1.0K_m$	$K = 1.5K_m$	$K = 2.0K_m$	$K = 2.5K_m$
0.50	0.50	0.41	0.35	0.32
1.00	1.00	0.82	0.71	0.63
1.50	1.50	1.22	1.06	0.95
2.00	2.00	1.63	1.41	1.26
2.50	2.50	2.04	1.77	1.58
3.00	3.00	2.45	2.12	1.90

T_o = Periodo original, T_m = Periodo modificado

En la figura 4.3 se muestran los desplazamientos máximos obtenidos para los modelos sujetos a la excitación de SCT-EW. Se aprecia que para periodos mayores a aproximadamente 1.8 s el desplazamiento máximo de los modelos marco-disipadores es mayor que para los modelos del marco original. Los dispositivos fluyen en todos los casos.

Como se observa en las figuras 4.3 a 4.7, existe poca diferencia en los resultados al variar el desplazamiento de fluencia del disipador, debido a que las respuestas comparadas son los valores máximos. La diferencia entre utilizar uno u otro desplazamiento de fluencia del disipador implica que habrá mayor o menor área histerética, como lo muestran las figuras respectivas.

Las figuras 4.4 a 4.8 muestran los momentos máximos, las fuerzas cortantes máximas en columnas, demandas de ductilidad en el marco, coeficientes basales y áreas histeréticas del disipador para todos los casos sujetos a la excitación SCT-EW. Para periodo original fundamental de 0.5 s las cortantes máximas en columnas de modelos con dispositivos disminuyen hasta en 49% del producido en el modelo de marco.

Con periodos originales de 1.0 y 1.5 s las cortantes máximas en columnas llegan a ser hasta 4.4% menores que las obtenidas en los modelos de marco. La colocación de los dispositivos produce un ligero incremento en cortantes máximas de columnas para periodos mayores o iguales a 2 s (hasta 0.4%). Los elementos mecánicos máximos son similares para todas las variaciones de los parámetros. La inclusión de los dispositivos provoca mayores demandas de ductilidad en periodos mayores que 1.5 s (fig 4.6).

En la fig 4.7 se observa que el coeficiente basal es mayor para los modelos con disipadores con periodos mayores que 1.5 s o menores que 0.8 s. Por su parte el área histerética es mayor conforme mayor es la rigidez del modelos marco-disipador y el desplazamiento de fluencia del dispositivo (fig 4.8).

El grupo de gráficas de las figs 4.9 a 4.14 y 4.15 a 4.20 presentan los resultados obtenidos para los modelos sujetos a las excitaciones de Viveros-EW y Tacubaya-EW, respectivamente. En estas figuras se observa que la colocación de los dispositivos disipadores reduce las respuestas en todos los casos estudiados, excepto en los modelos con periodo original de 3 s excitados por el registro de Viveros-EW. Para los registros de zona de transición y zona dura las cortantes máximas en columnas de modelos marco-disipador son menores a los del marco original. La reducción de estos para periodo de 0.5 s es hasta de 73%, y para los otros periodos de hasta 20%, salvo en modelos con periodo de 3 s sujetos a la excitación en zona de transición, en los que hay un pequeño incremento, de hasta 0.3%. Las demandas de ductilidad de todos los modelos con disipadores no son mayores que las obtenidas en los modelos sin disipadores, excepto para el caso de Viveros-EW. El coeficiente de cortante basal es generalmente menor en los modelos con dispositivos, comparados con los modelos originales.

En algunos casos la inclusión de los dispositivos limitó las deformaciones de las columnas del marco al intervalo elástico, como fue para los modelos sometidos al registro de terreno duro (Tacubaya-EW) con desplazamientos de fluencia del dispositivo de 0.50 y 0.85 cm. Las áreas histeréticas de estos modelos (figs 4.14 y 4.20) presentan un comportamiento similar a los obtenidos con la excitación SCT-EW.

Finalmente, se probaron todos los modelos utilizando el 2% de la rigidez elástica como pendiente de la zona posterior a la fluencia (Scholl, 1982), en el comportamiento elastoplástico del dispositivo disipador. Los resultados obtenidos presentaron pequeñas variaciones con respecto a los de los modelos con 7.5% de la rigidez elástica, por lo que no se presentan en este trabajo.

Respecto al edificio estudiado en el capítulo tres, el modelo original presentó un periodo fundamental de 0.836 s y al rigidizarlo con dispositivos uno de 0.56 s. Estos valores indican que el modelo con dispositivos tiene una rigidez inicial de 2.23 veces la rigidez en el modelo original. Si llevamos estos valores a las gráficas de los modelos estudiados en este capítulo observamos que existe buena correspondencia de los resultados.

4.3 Marco contraventeado

El siguiente paso fue comparar el comportamiento de los modelos marco-disipadores estudiados y el de los modelos rigidizados mediante contravientos de acero. Para ello se modelaron marcos contraventeados que presentaran algunos casos de rigidez estudiados para los dispositivos disipadores de energía ($K = 1.5$ y $K = 2.5$ veces K_m). Estos modelos también se sometieron a un análisis inelástico paso a paso. El área de la sección transversal de los contravientos se eligió tal que proporcionara la rigidez buscada y el esfuerzo de fluencia es el característico de una sección de acero. La combinación de estas propiedades puede conducir a elementos disipadores con otra área y esfuerzo de fluencia.

Las figuras muestran la comparación de los resultados obtenidos para los modelos (marco-disipador y contraventeados), para cada rigidez. Así, las figs 4.21 a 4.25, 4.26 a 4.30 y 4.31 a 4.35 presentan los desplazamientos máximos, momentos máximos, cortantes máximas, demandas de ductilidad y coeficientes basales para los marcos con rigidez $K = 1.5K_m$ sujetos a los registros de SCT-EW, Viveros-EW y Tacubaya-EW, respectivamente.

Los contravientos casi no disminuyen las fuerzas cortantes máximas en columnas de modelos sujetos a la excitación de SCT-EW; la máxima reducción es de 19% con respecto a los modelos marco-dispositivo. Para periodos menores a 1.5 s el marco con contravientos sufre desplazamientos menores y sus columnas se comportan elásticamente, para los tres periodos originales mayores las diagonales de los marcos contraventeados fluyen. Los coeficientes de cortante basal son directamente proporcionales a los cortantes totales, ya que el peso de ambas estructuras es el mismo. Se presentan coeficientes basales ligeramente mayores en los modelos con mecanismos disipadores para periodos de hasta 1.5 s, comparado con modelos contraventeados.

En las figuras de los marcos sujetos a las excitaciones de Viveros-EW y Tacubaya-EW (figs 4.26 a 4.30 y 4.31 a 4.36, respectivamente) se observan resultados similares para las dos estructuraciones. En marcos con diagonales de acero la cortante máxima en las columnas es similar a la obtenida en modelos con dispositivos, con variaciones hasta de un 3%. Los coeficientes basales de los modelos contraventeados y con dispositivos son similares en los dos tipos de estructuración.

Los resultados del caso de rigidez $K = 2.5K_m$ para los marcos contraventeados (línea continua) y con dispositivos (línea discontinua) se muestran en las figs 4.36 a 4.50 para los tres registros sísmicos.

Para la zona blanda (figs 4.36 a 4.40) los desplazamientos máximos, momentos máximos y demandas de ductilidad son menores en los modelos contraventeados, comparados con los modelos marco-disipador, pero fluyen las diagonales de los modelos contraventeados para periodos originales de 2.5 y 3.0 s. Las cortantes máximas en las columnas son comparables para un periodo original de 0.5 s. Para los periodos restantes en los modelos cotraventeados ocurren disminuciones hasta de 55% comparados con los modelos originales. Los modelos contraventeados presentan mayores reducciones en las respuestas.

Se observan resultados similares en los marcos contraventeados y en aquellos con disipadores cuando éstos se sujetan a registros de las zonas de transición y dura (figs 4.37 a 4.50). Se obtuvieron reducciones similares en cortantes máximas de columnas de marcos con dispositivos y contraventeados, siendo en estos últimos de hasta 72% para marcos con periodo original de 0.5 s y hasta 27% en los demás periodos, comparados con los obtenidos en modelos de marco originales.

Resumiendo, los modelos sujetos al registro de zona blanda (SCT-EW) y rigidizados con contravientos presentan comportamientos más adecuados en cuanto a reducción de la respuesta en comparación con los modelos que incluyen dispositivos disipadores de energía, salvo para periodos iguales o mayores a 2 s ($K = 1.5K_m$) y 2.5 s ($K = 2.5K_m$) que presentan la fluencia de sus elementos de refuerzo. Ante excitaciones de zona de transición y zona dura en el caso de rigidez $K = 1.5K_m$, los modelos con dispositivos logran reducciones en cortantes máximos de columnas de hasta 25% del original, comparados con una reducción de 23% en los modelos contraventeados. En el caso de rigidez $K = 2.5K_m$ los dos casos de estructuración muestran resultados similares, 73% menor cortante máxima en columnas para periodo fundamental de 0.5 s y de hasta 27% en los periodos fundamentales restantes.

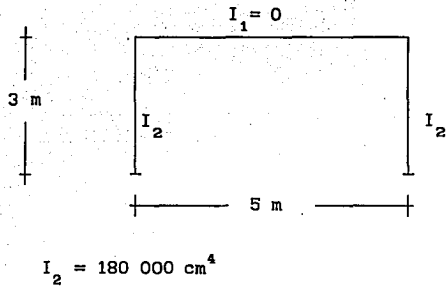


FIG 4.1 SISTEMA ANALIZADO

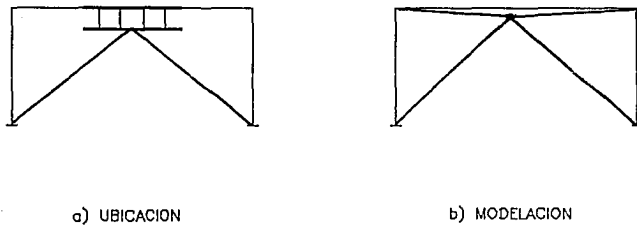


FIG 4.2 UBICACION Y MODELACION DE LOS DISPOSITIVOS EN EL MARCO

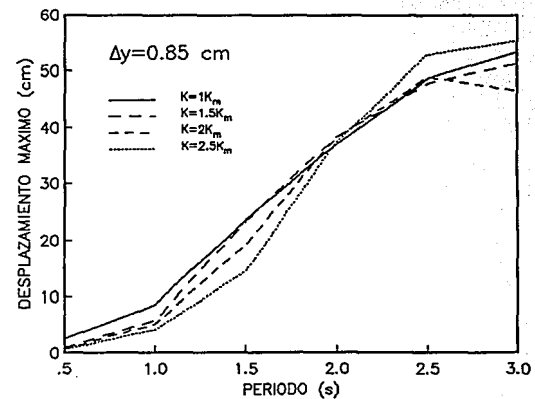
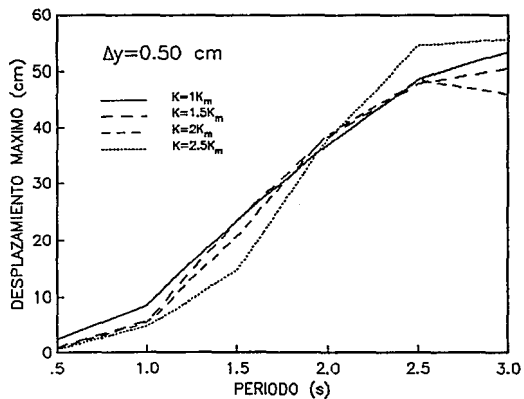
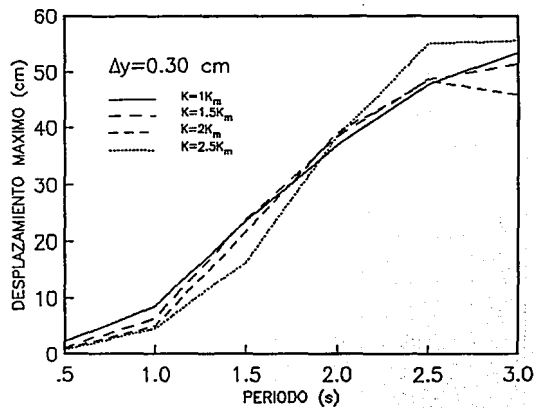
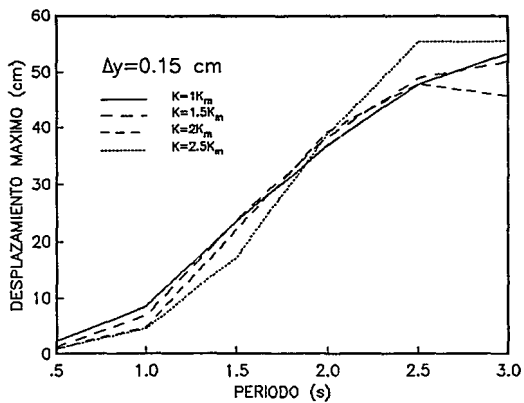


FIG 4.3 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

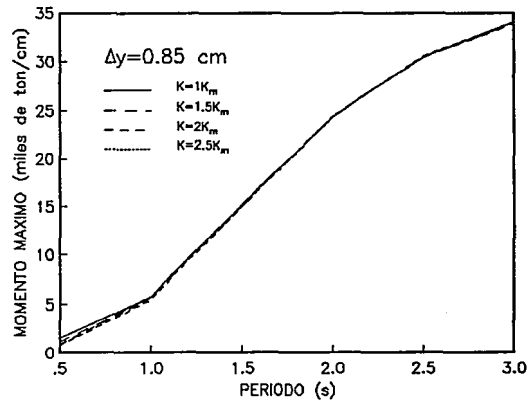
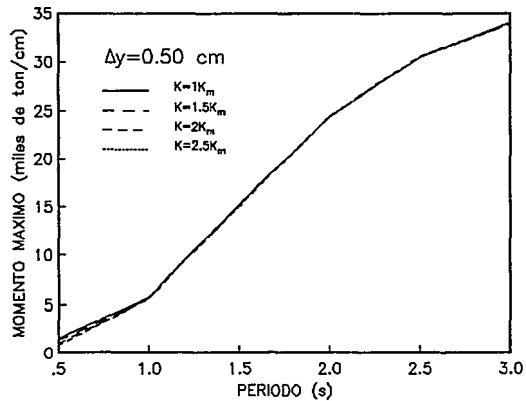
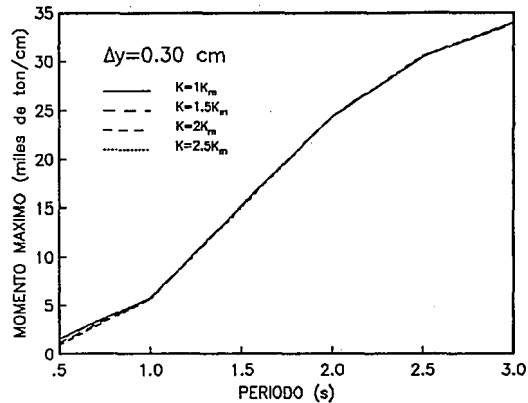
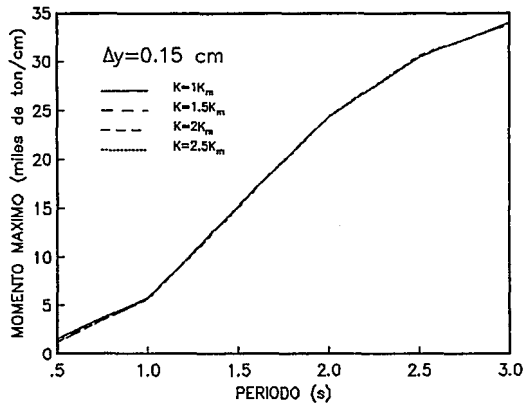


FIG 4.4 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

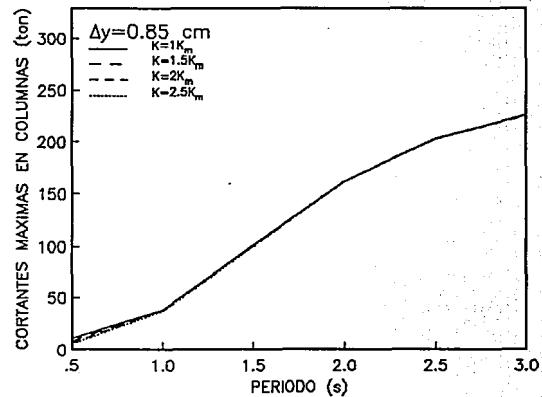
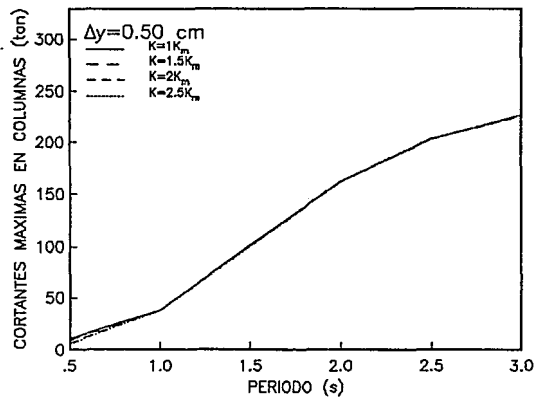
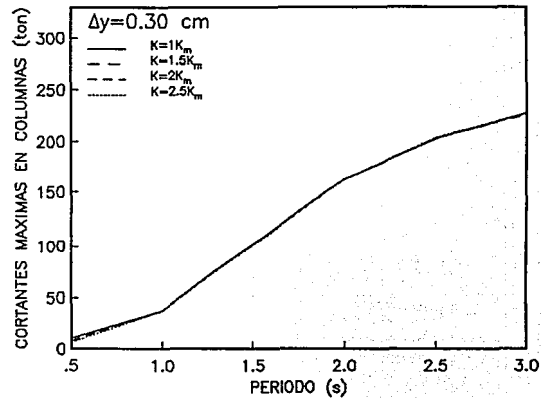
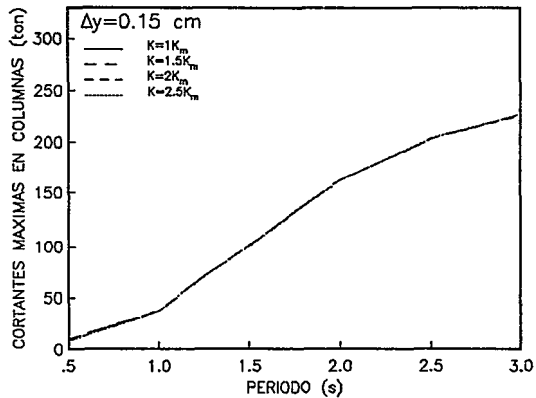


FIG 4.5 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

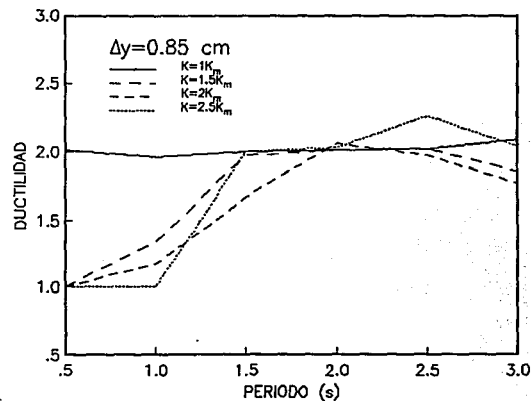
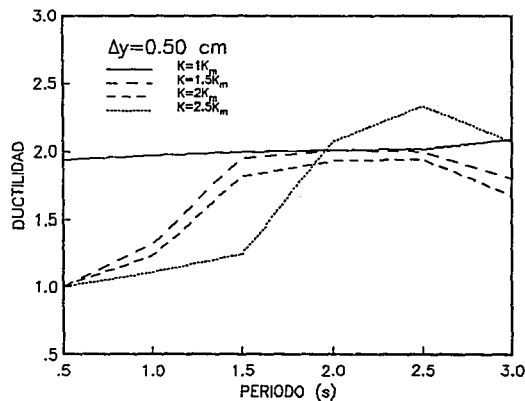
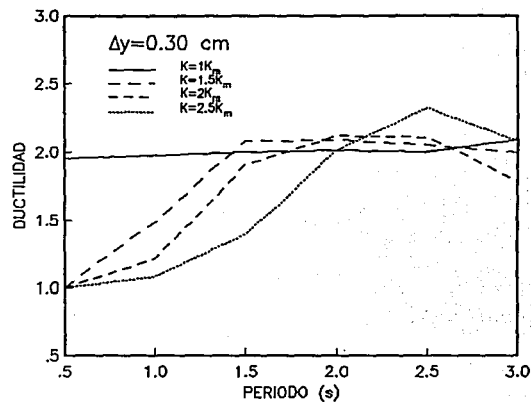
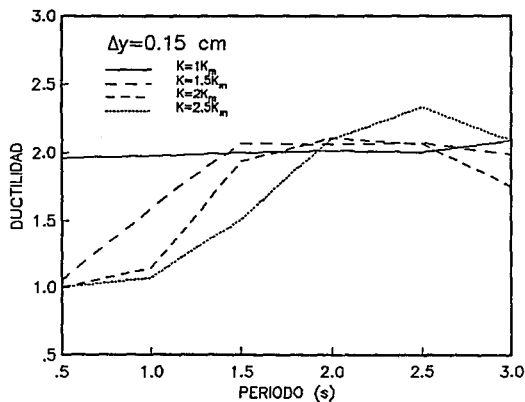


FIG 4.6 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

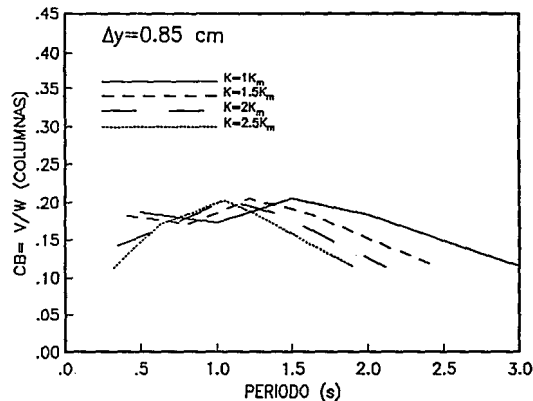
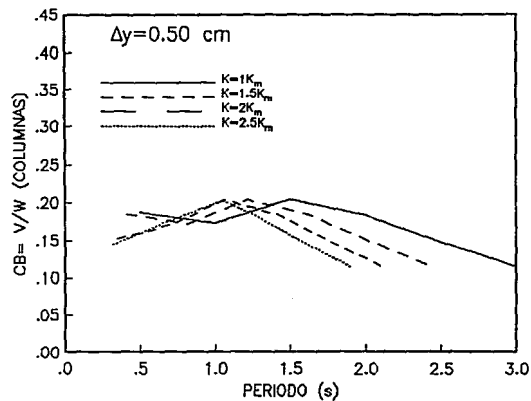
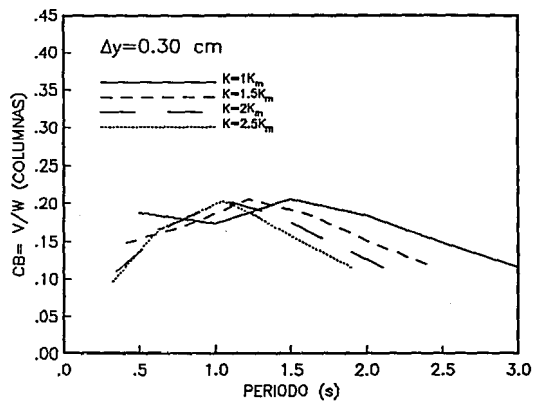
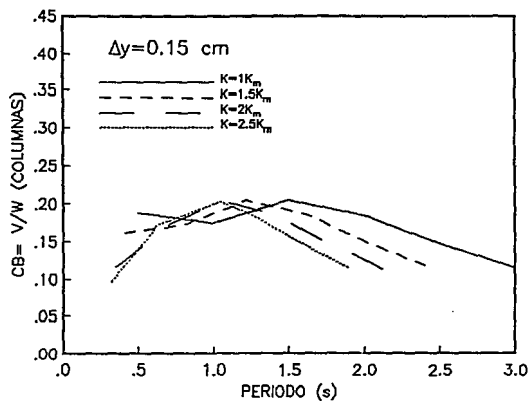


FIG 4.7 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

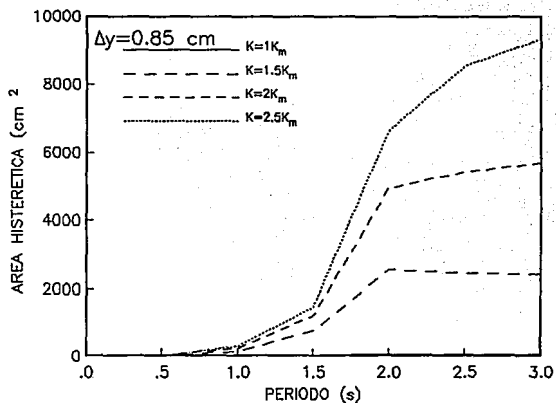
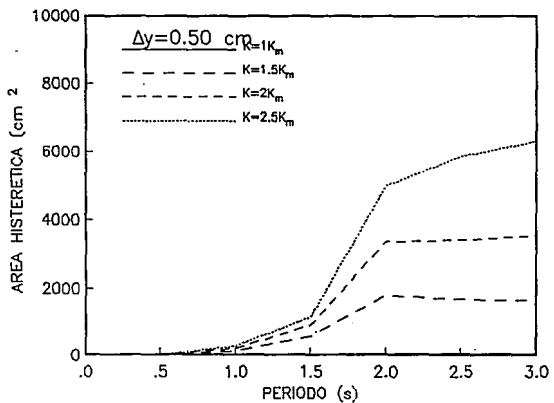
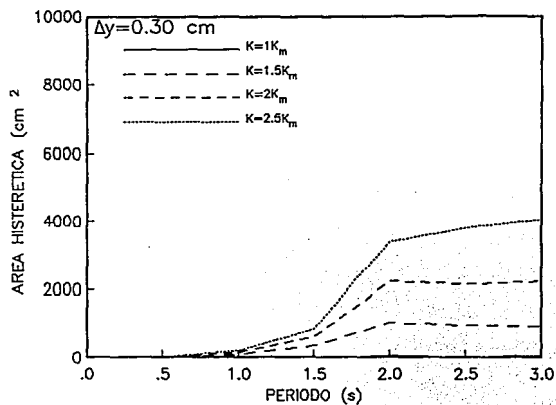
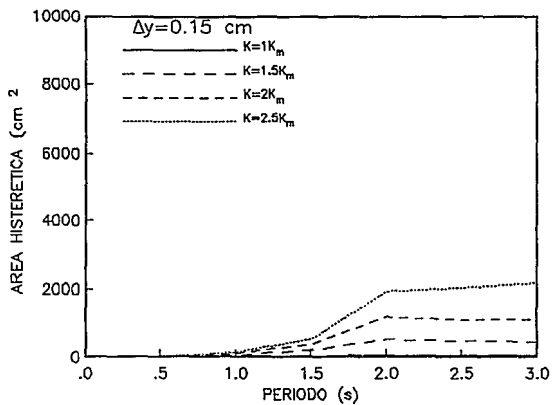


FIG 4.8 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85)

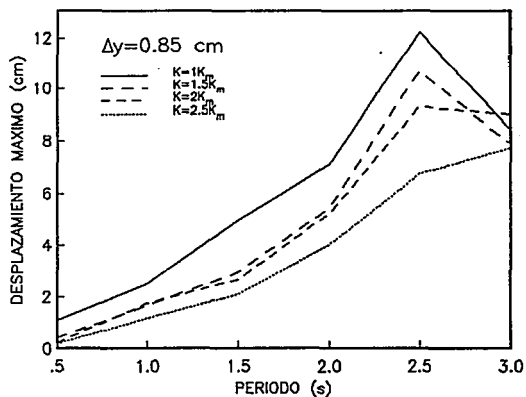
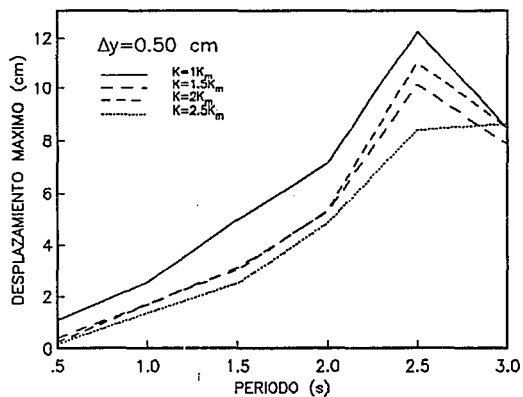
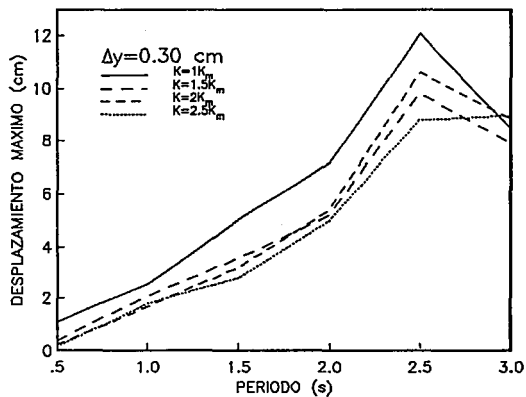
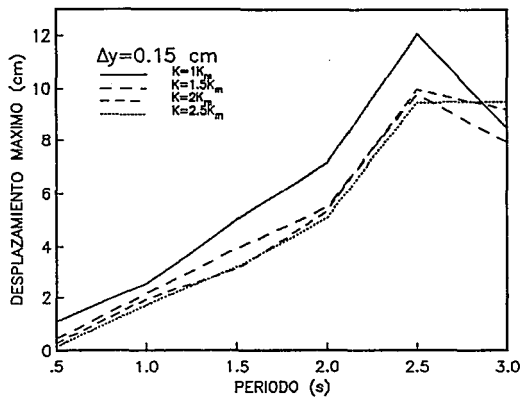


FIG 4.9 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85)

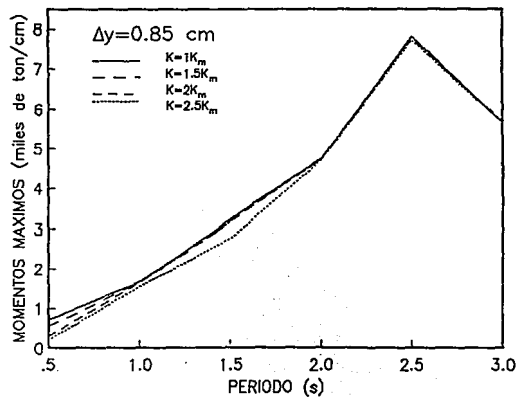
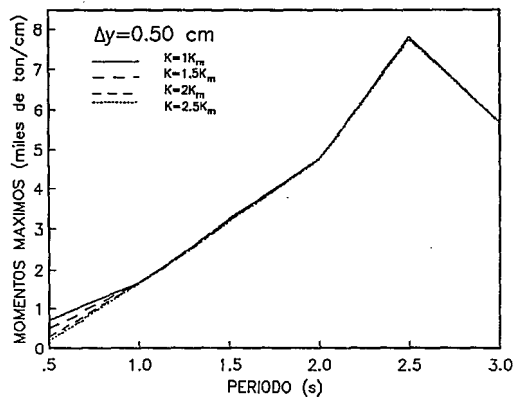
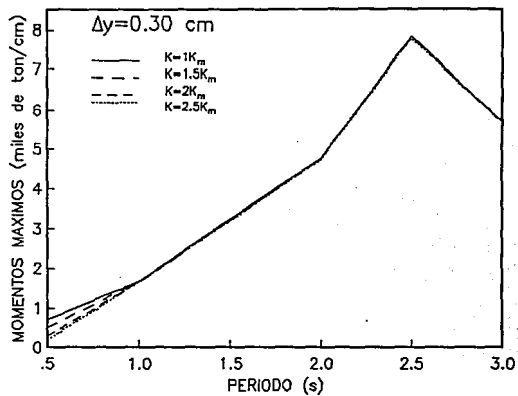
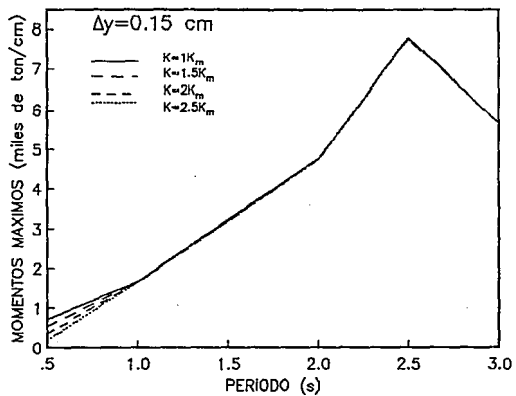


FIG 4.10 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85)

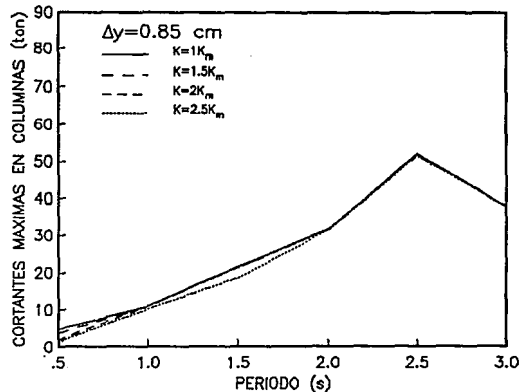
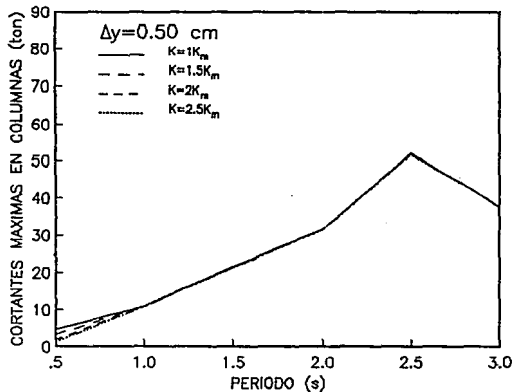
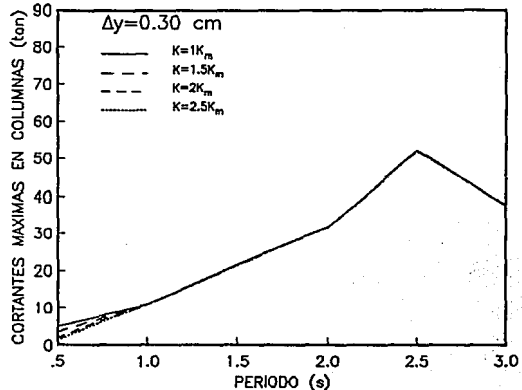
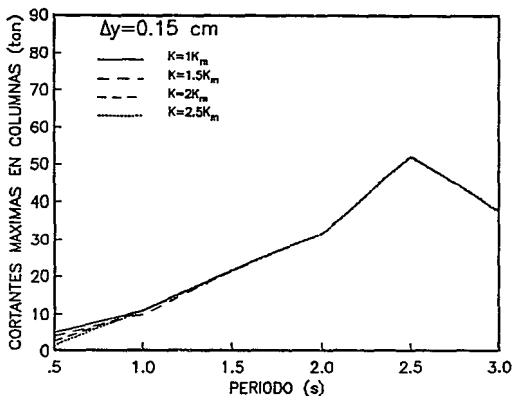


FIG 4.11 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85)

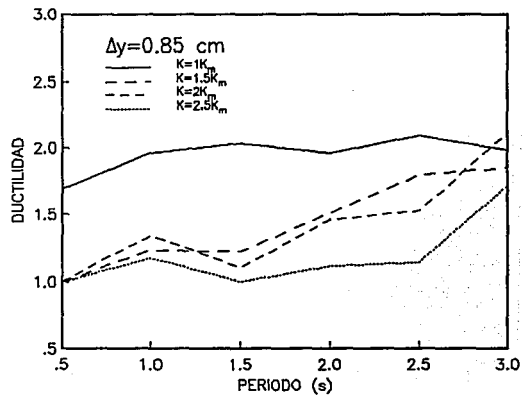
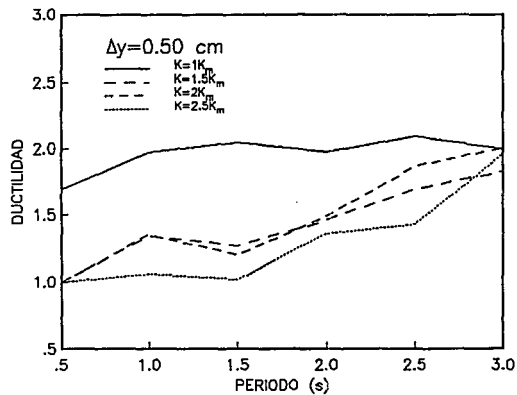
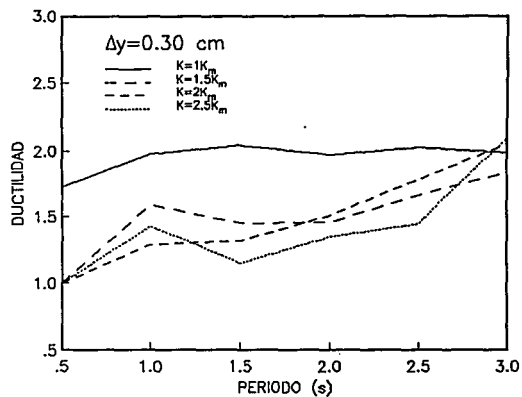
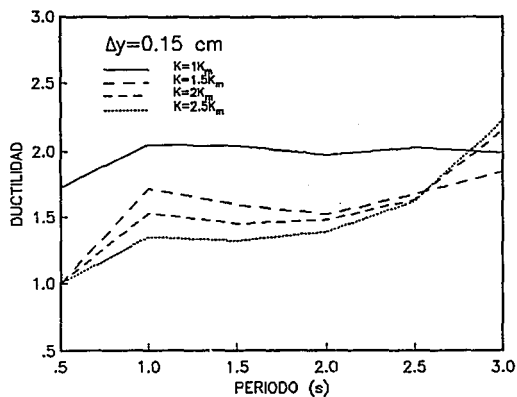


FIG 4.12 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VV-85)

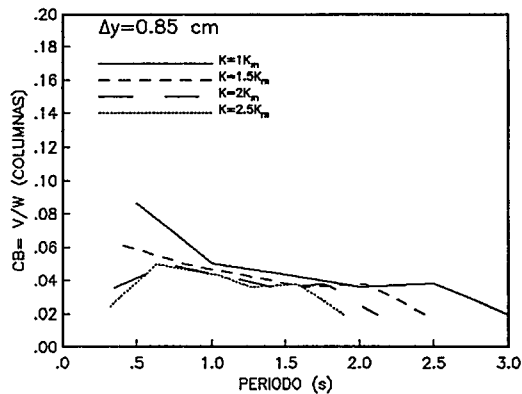
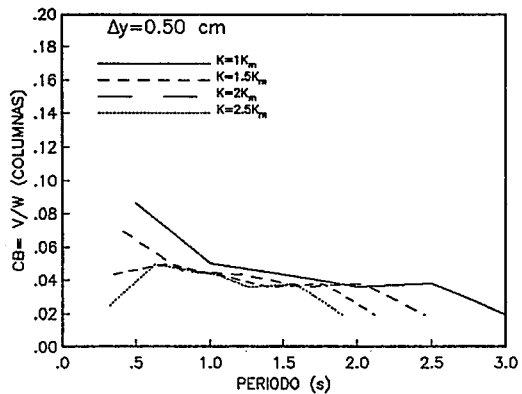
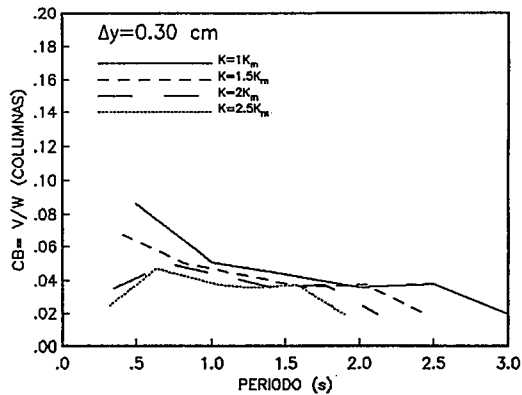
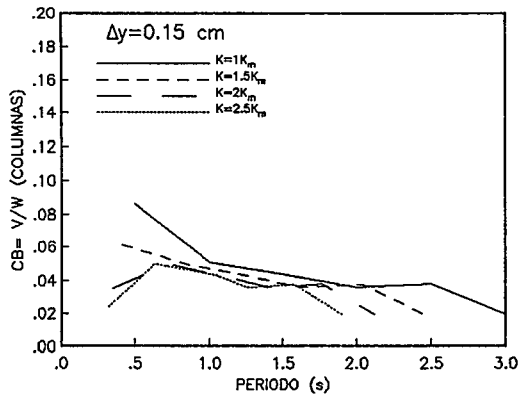


FIG 4.13 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85)

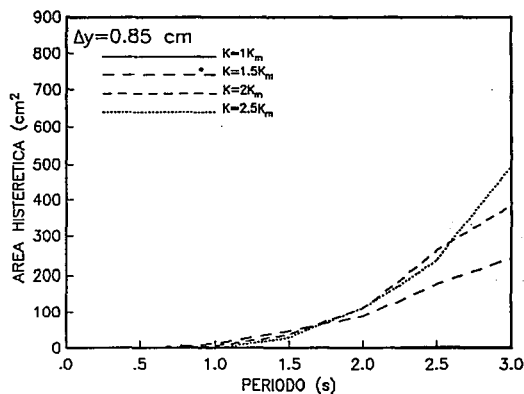
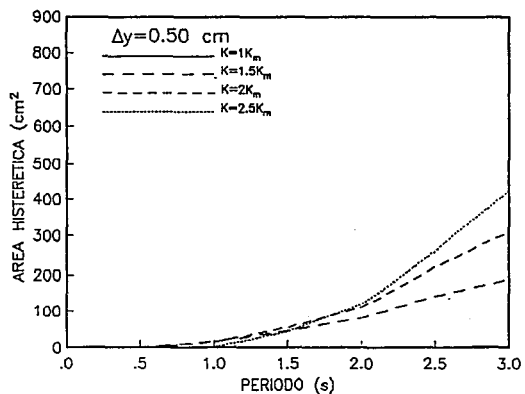
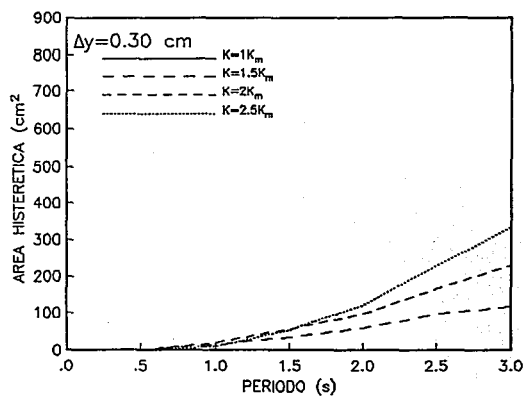
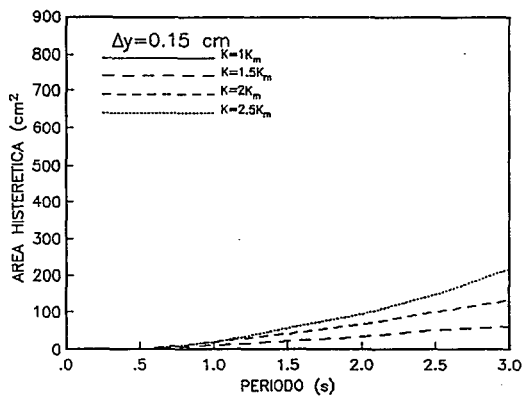


FIG 4.14 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

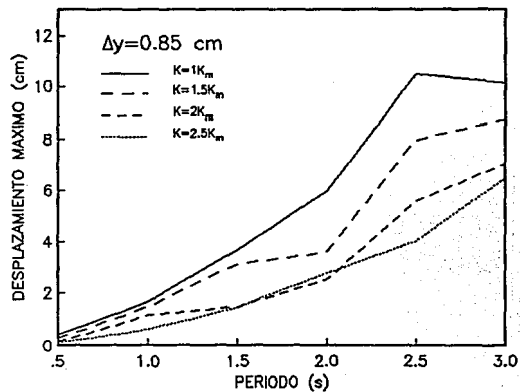
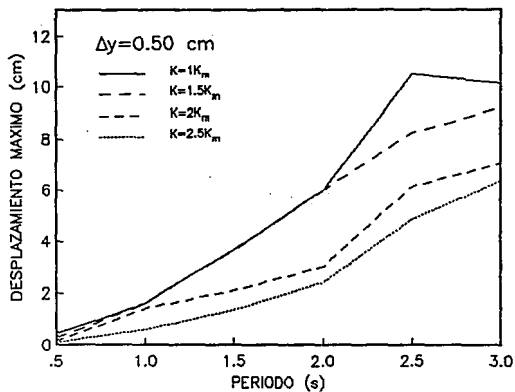
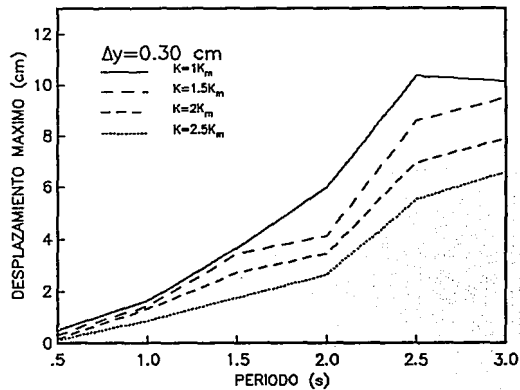
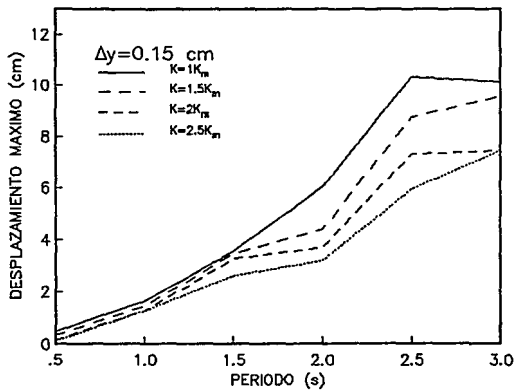


FIG 4.15 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

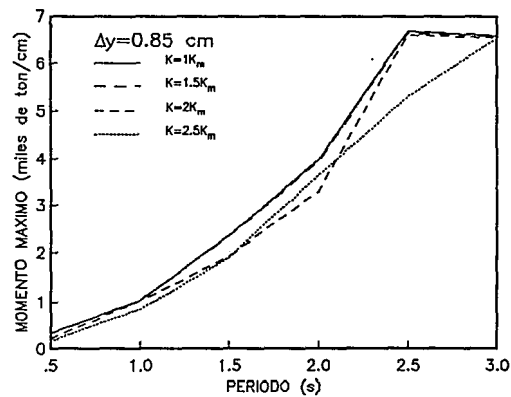
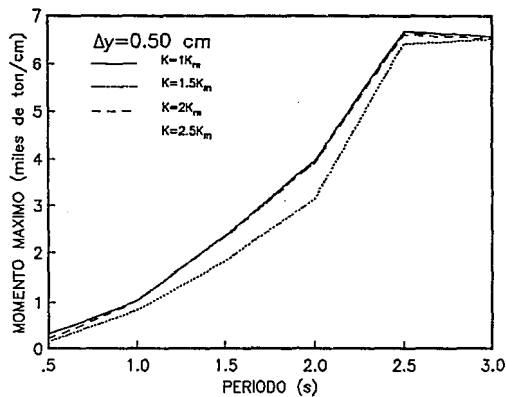
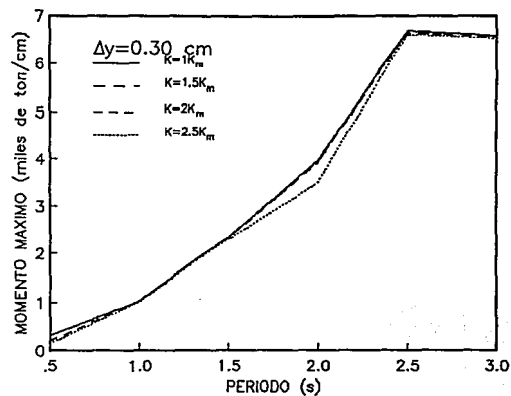
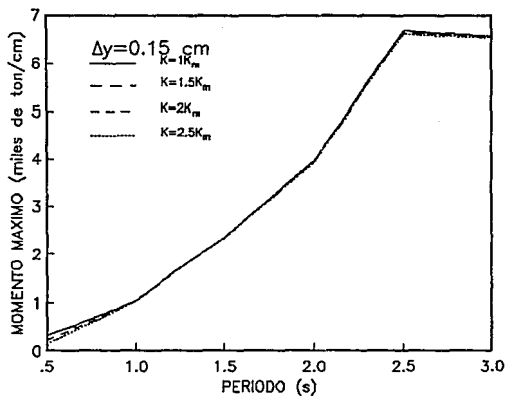


FIG 4.16 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

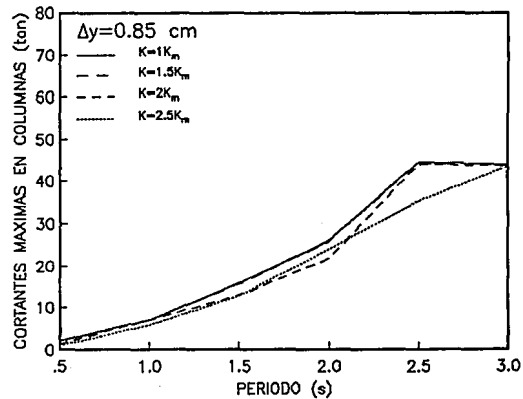
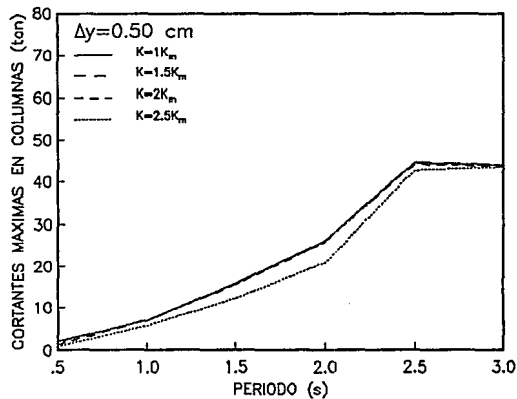
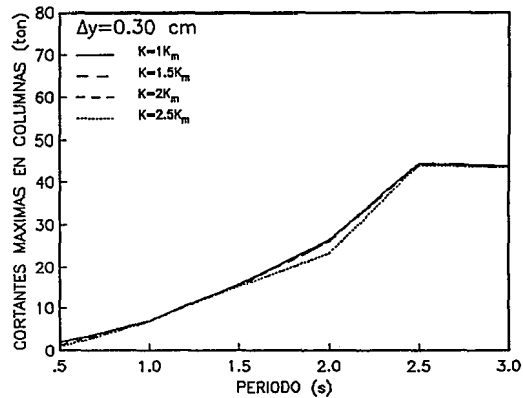
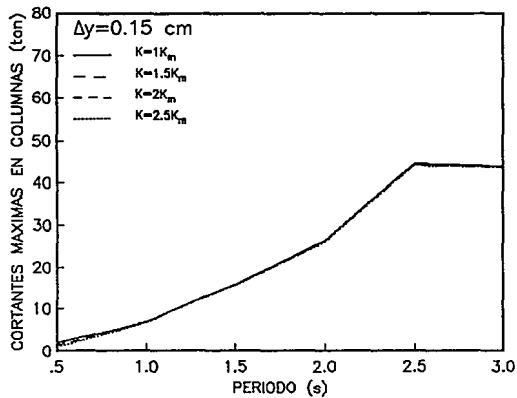


FIG 4.17 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

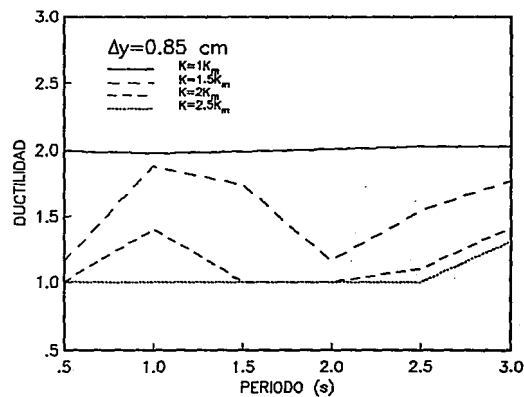
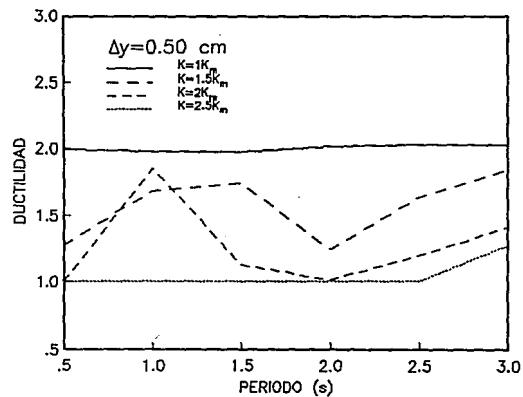
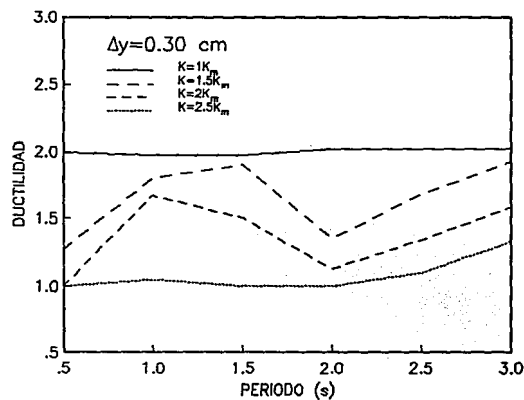
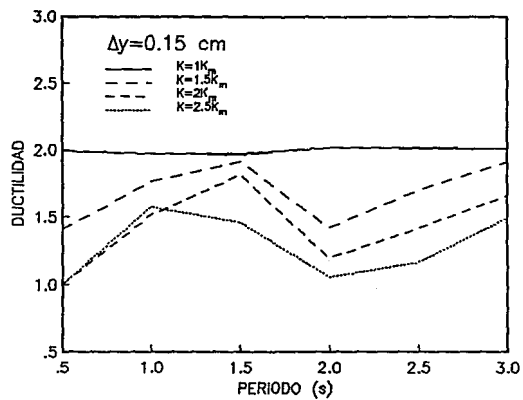


FIG 4.18 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

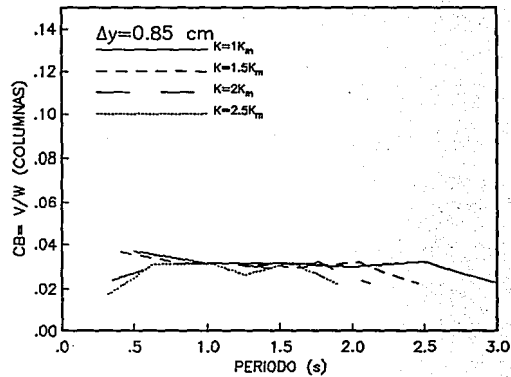
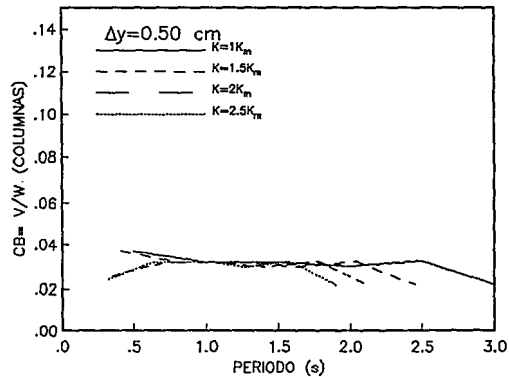
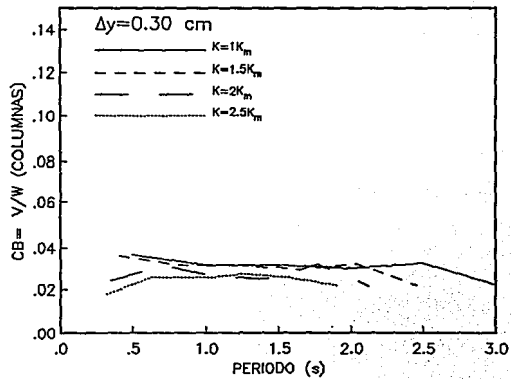
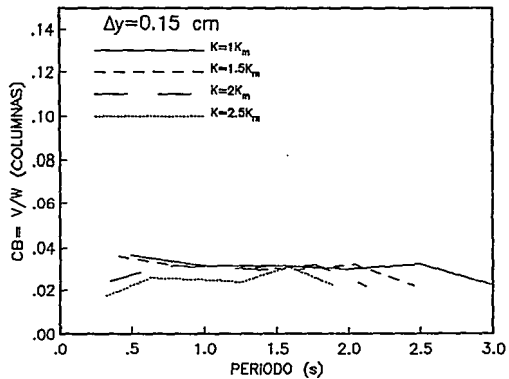


FIG 4.19 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85)

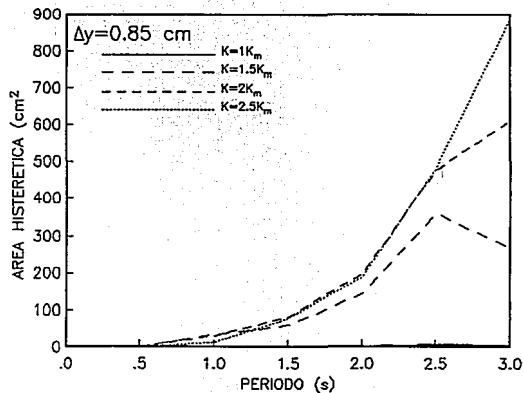
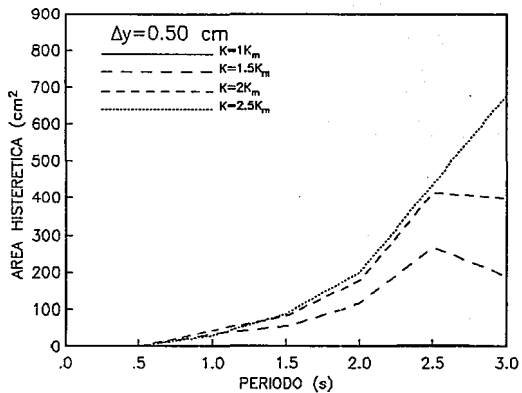
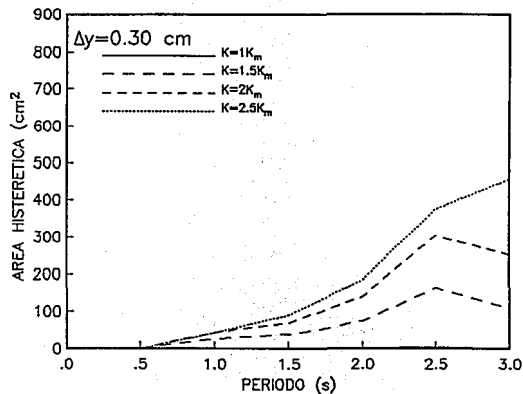
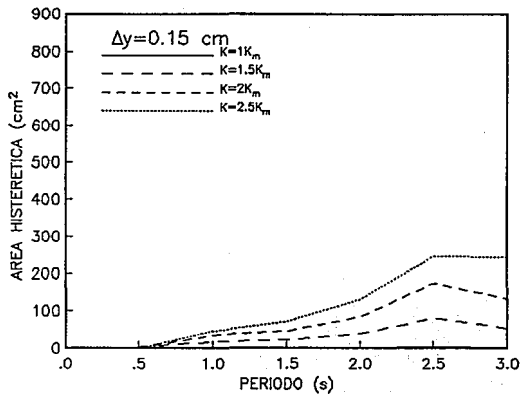


FIG 4.20 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85)

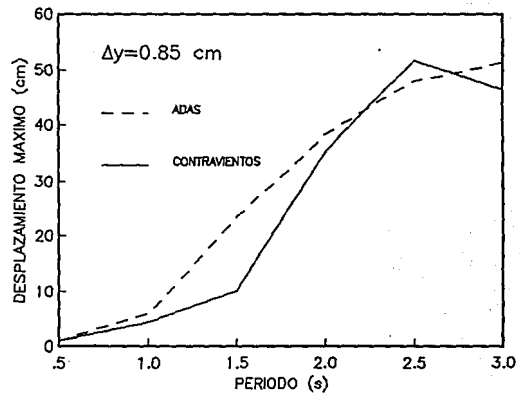
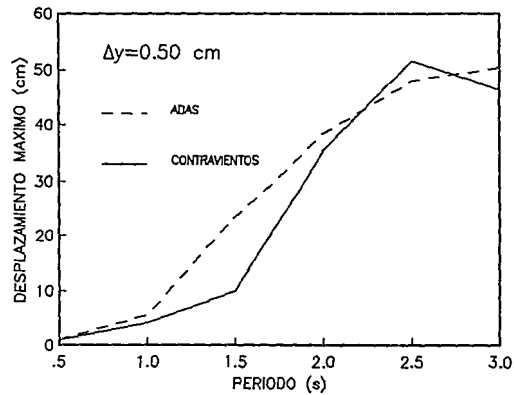
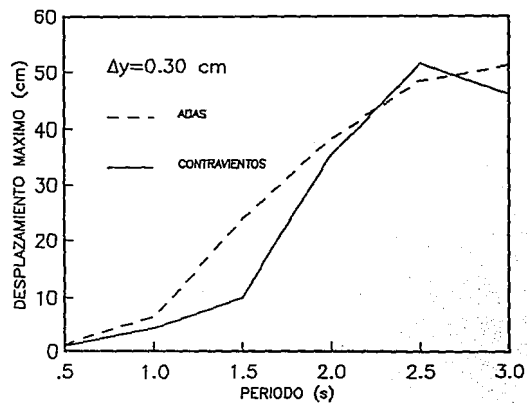
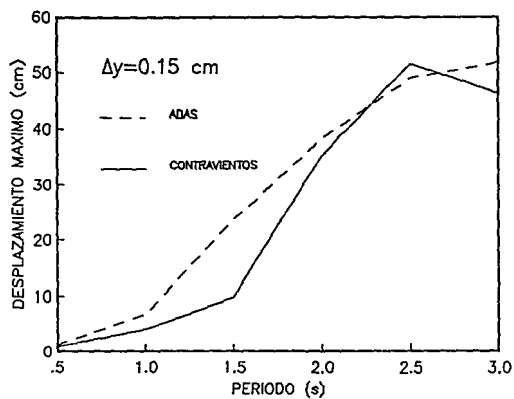


FIG 4.21 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=1.5K_m$

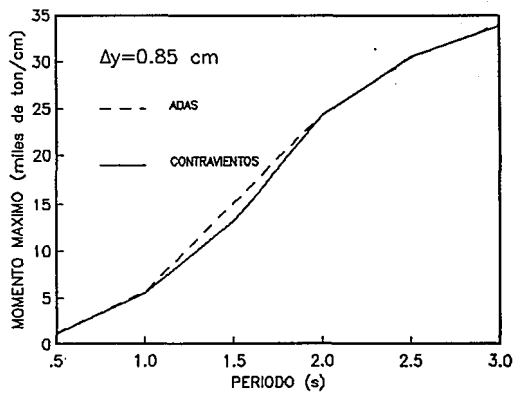
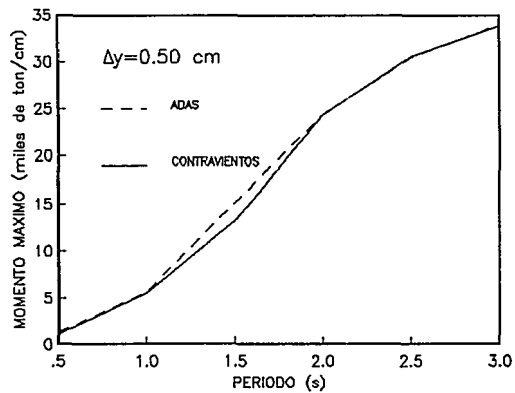
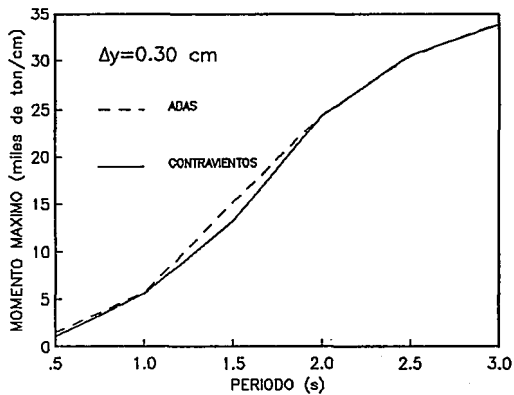
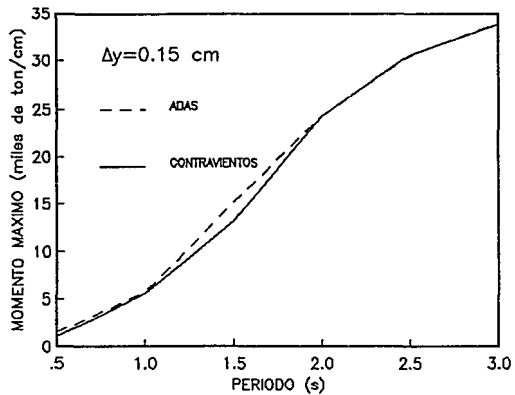


FIG 4.22 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=1.5K_m$

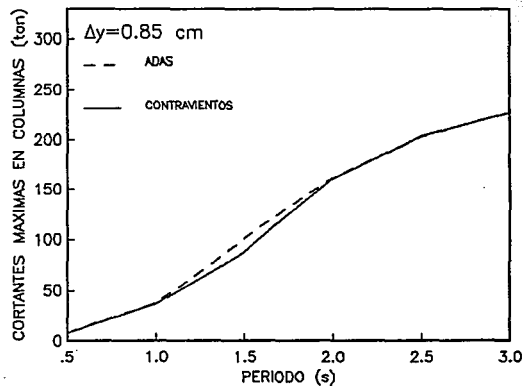
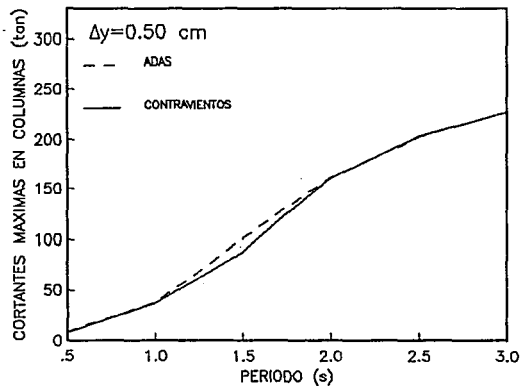
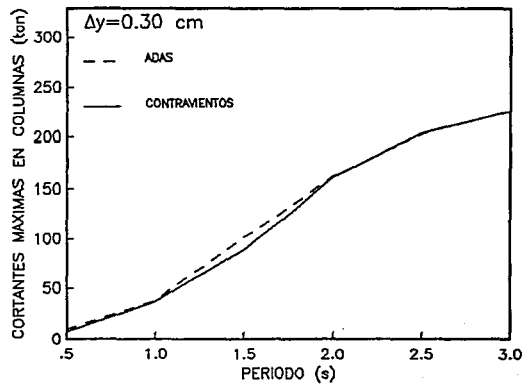
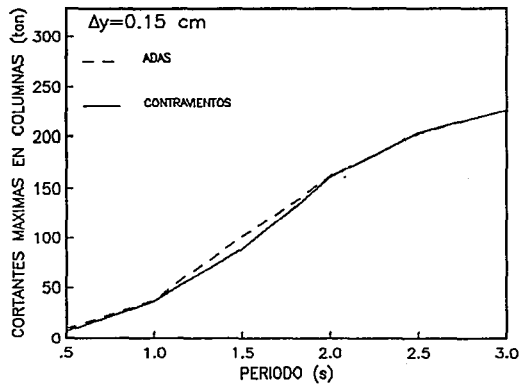


FIG 4.23 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=1.5K_m$

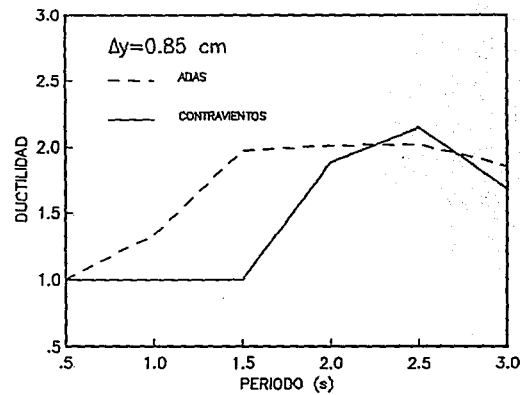
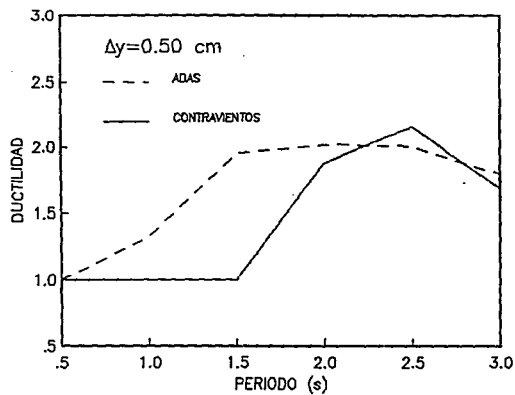
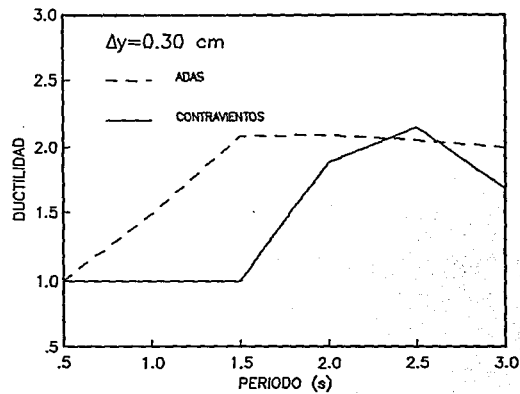
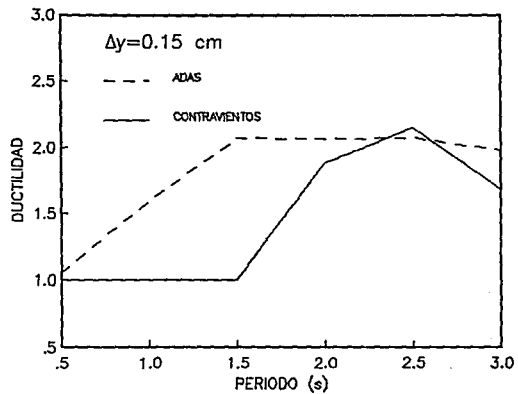


FIG 4.24 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=1.5K_m$

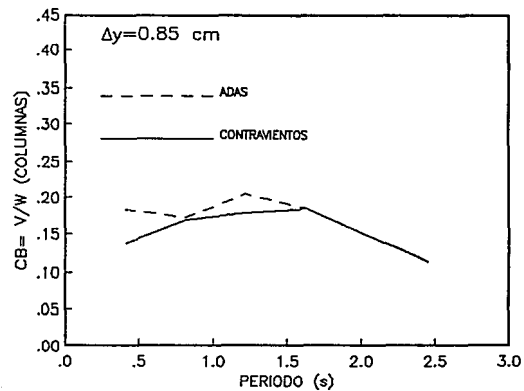
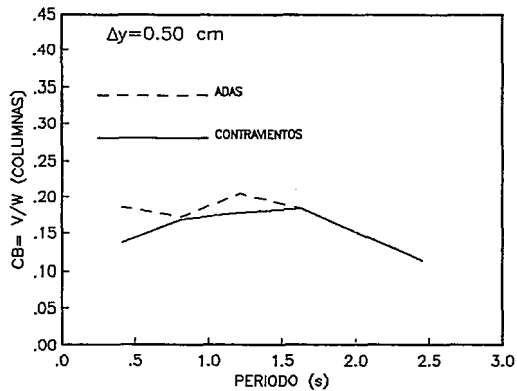
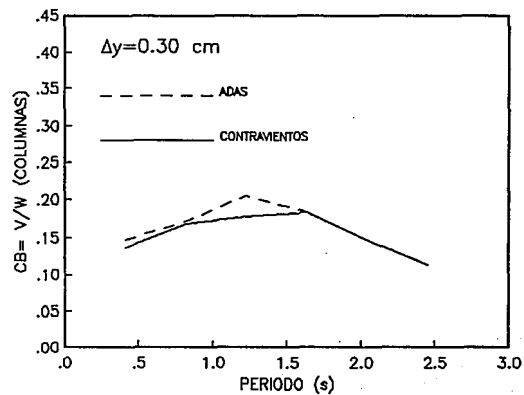
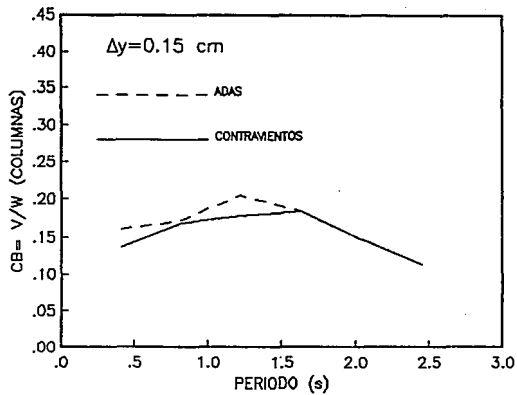


FIG 4.25 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=1.5K_m$

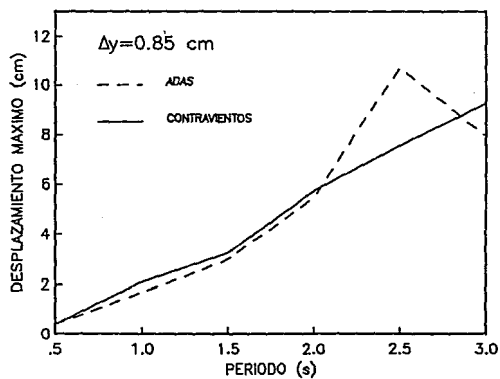
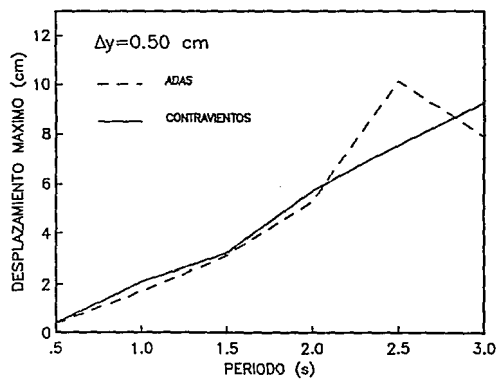
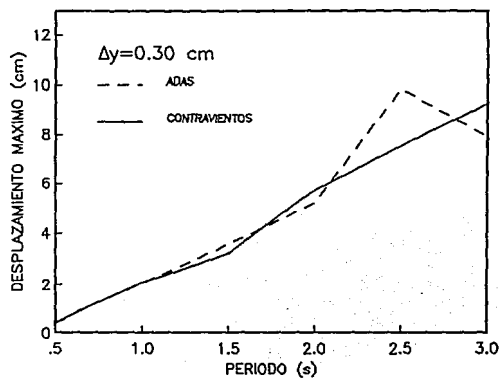
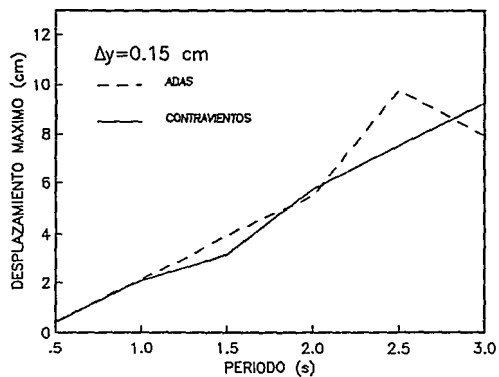


FIG 4.26 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=1.5K_m$

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

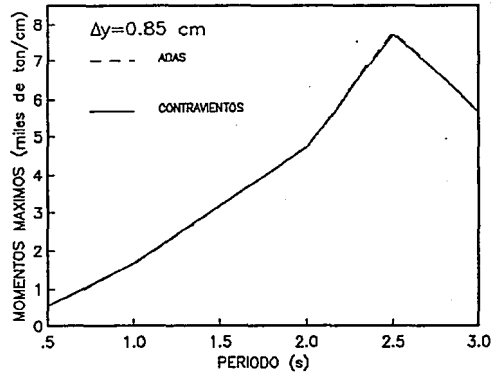
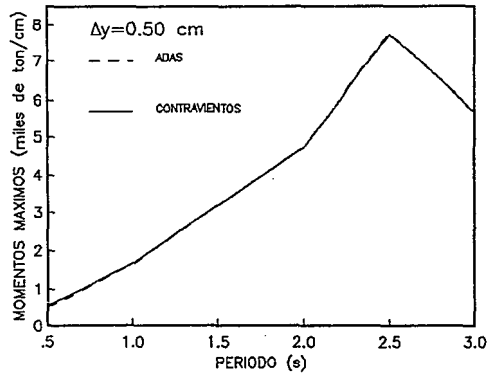
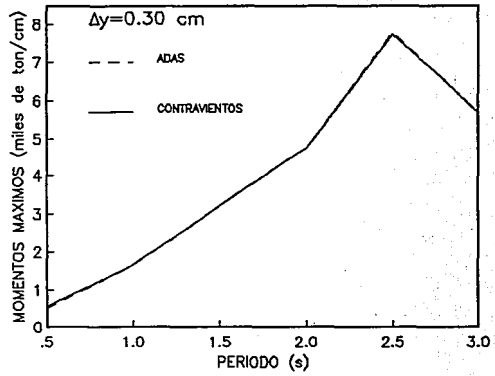
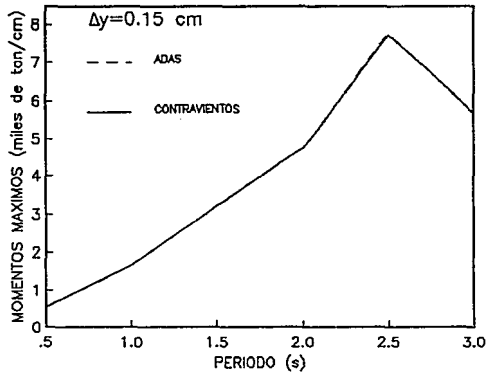


FIG 4.27 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=1.5K_m$

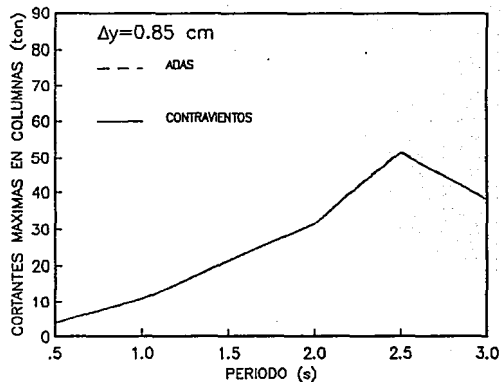
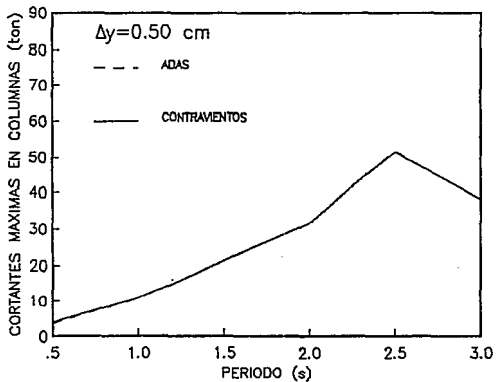
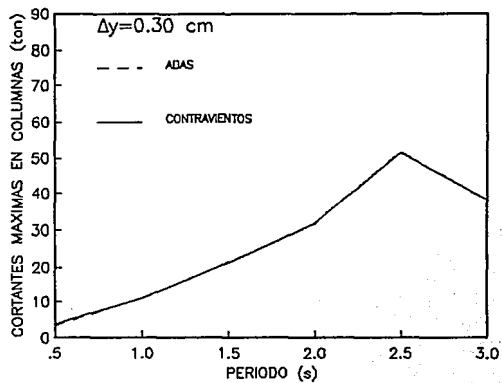
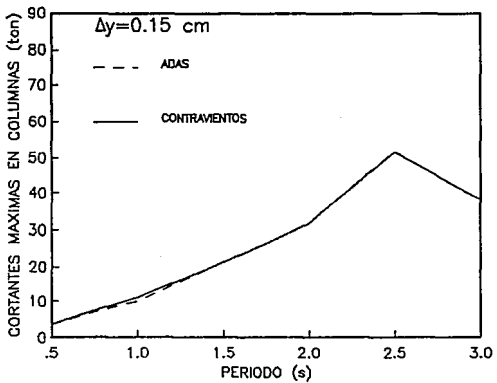


FIG 4.28 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=1.5K_m$

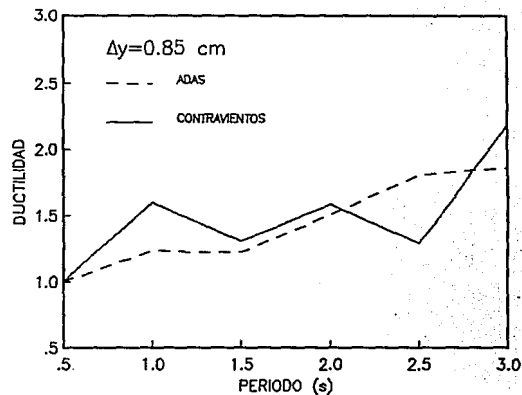
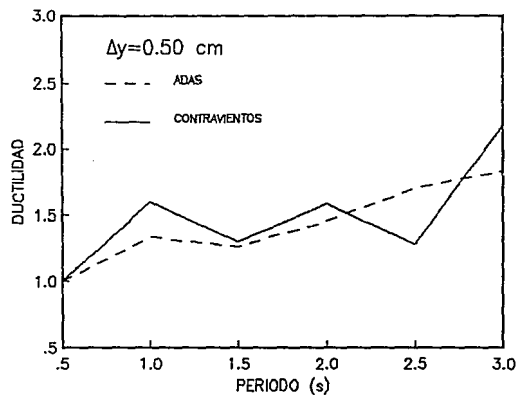
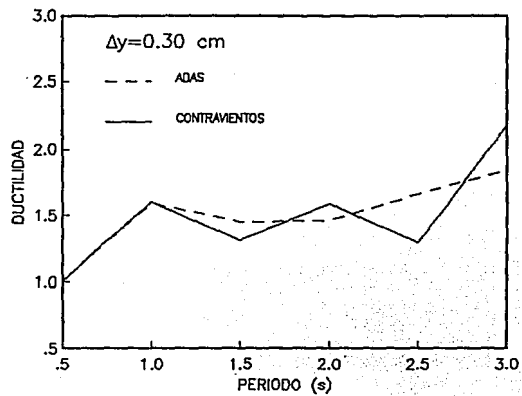
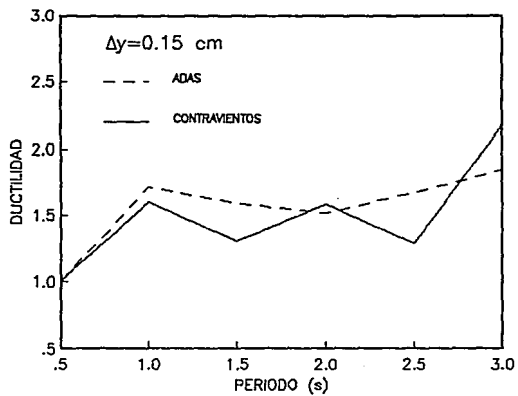


FIG 4.29 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=1.5K_m$

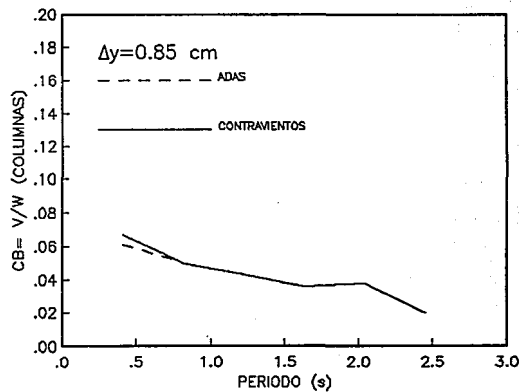
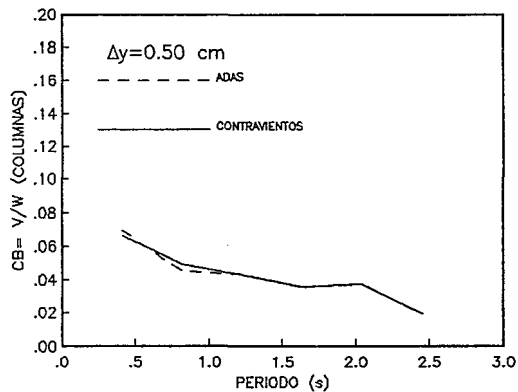
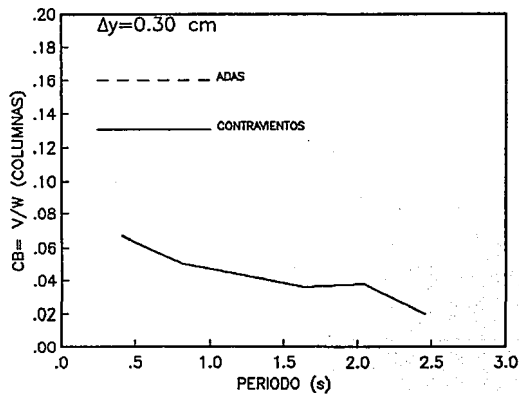
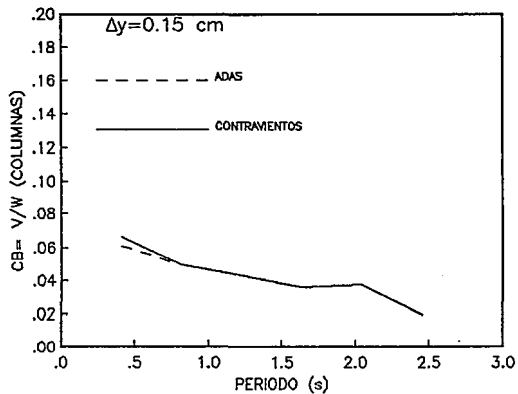


FIG 4.30 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=1.5K_m$

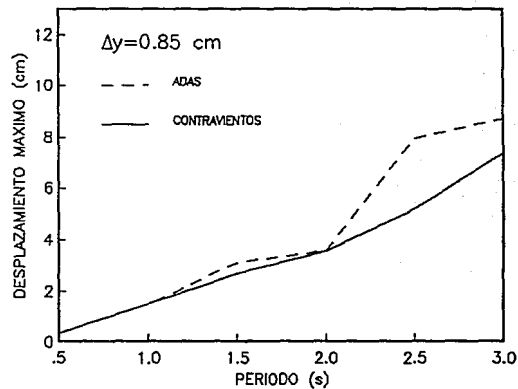
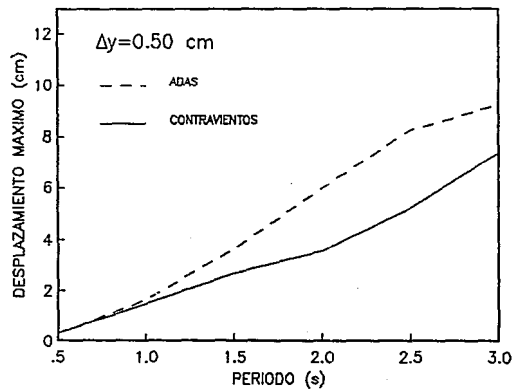
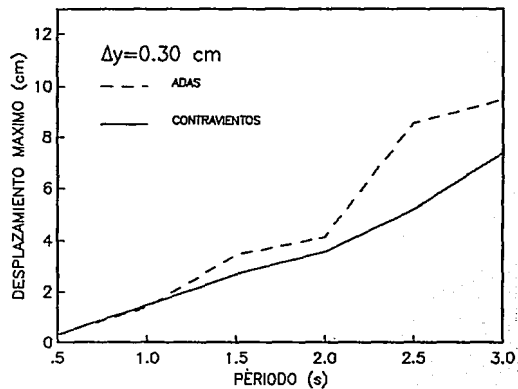
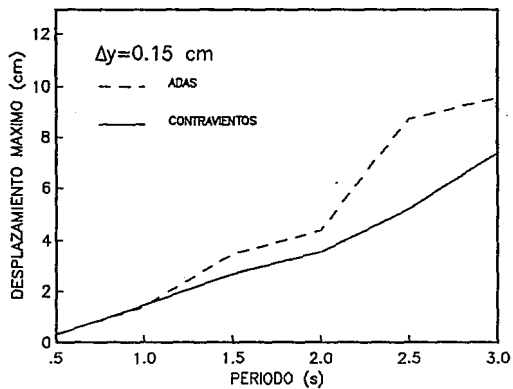


FIG 4.31 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=1.5K_m$

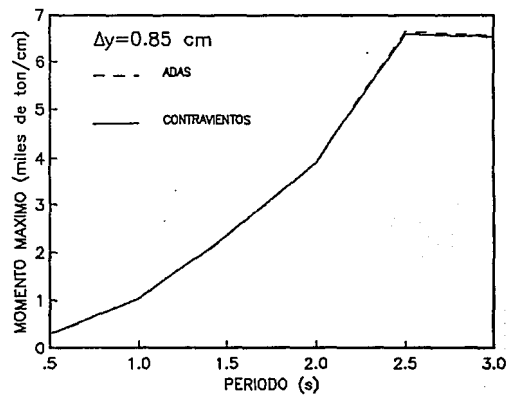
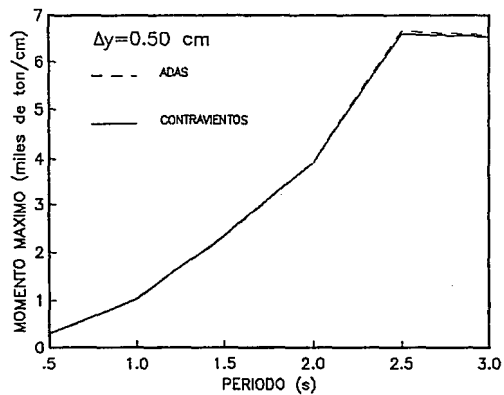
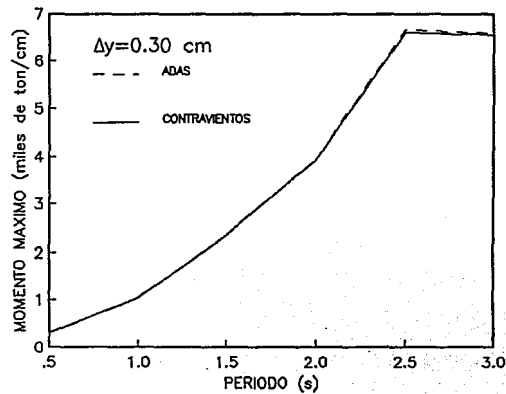
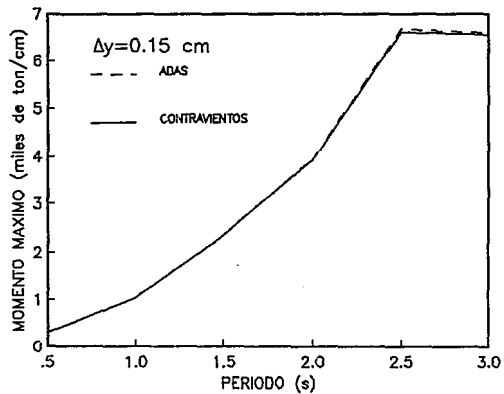


FIG 4.32 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=1.5K_m$

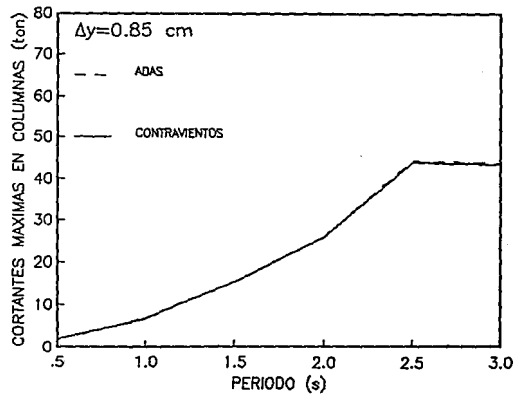
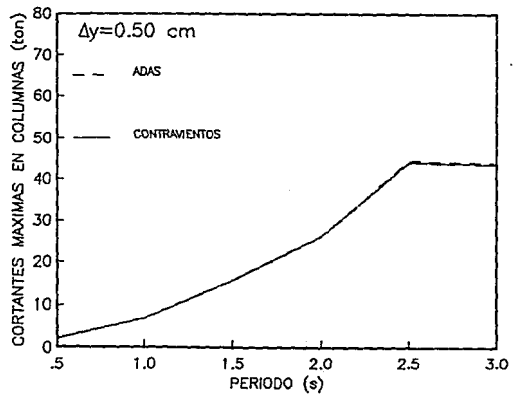
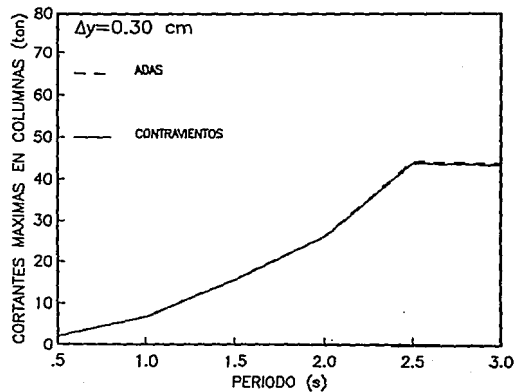
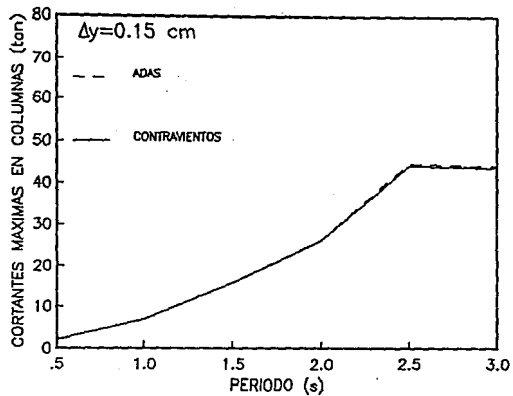


FIG 4.33 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=1.5K_m$

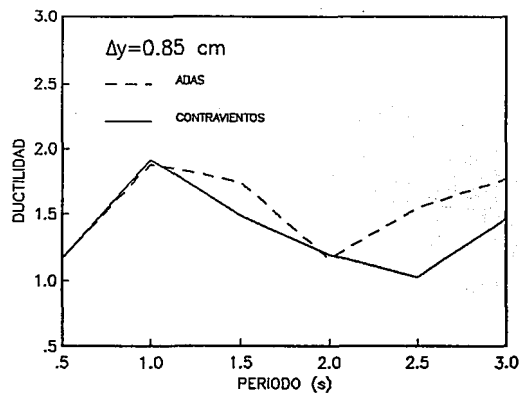
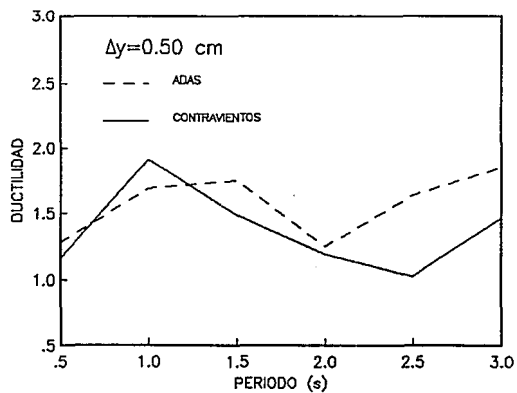
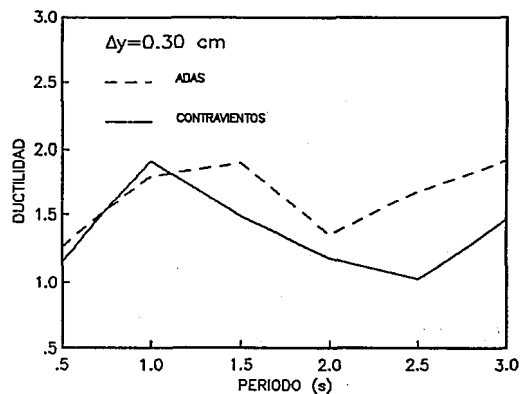
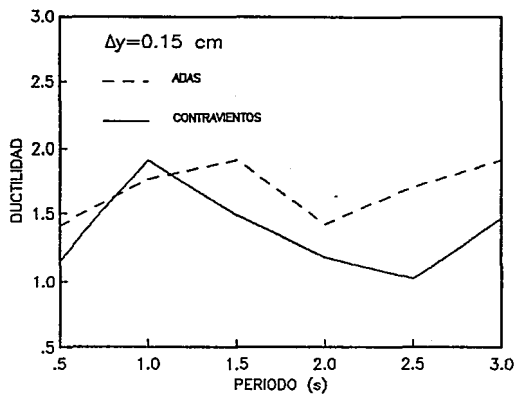


FIG 4.34 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=1.5K_m$

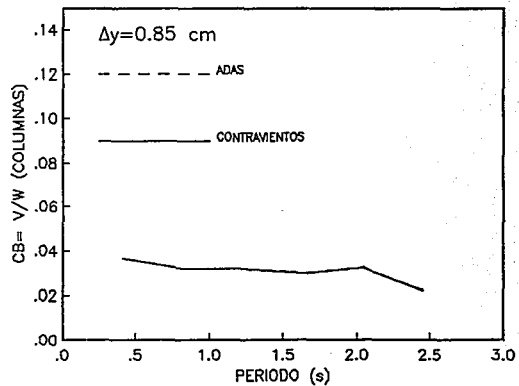
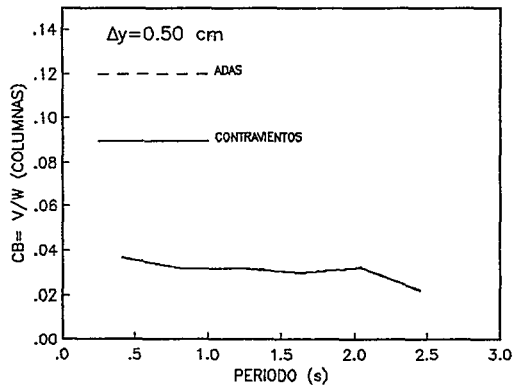
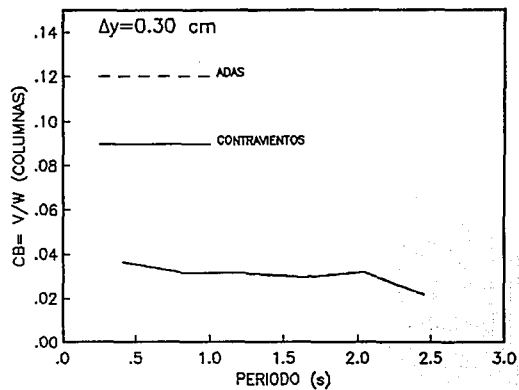
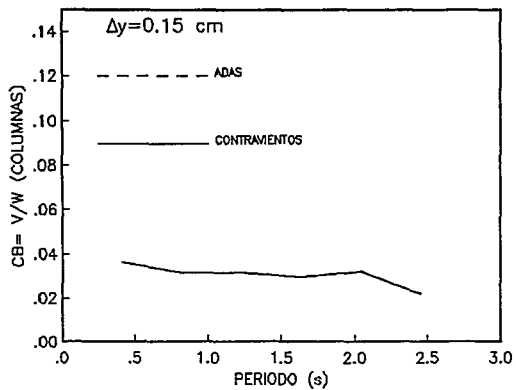


FIG 4.35 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=1.5K_m$

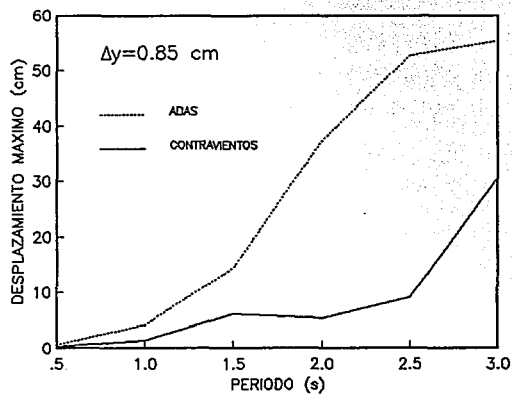
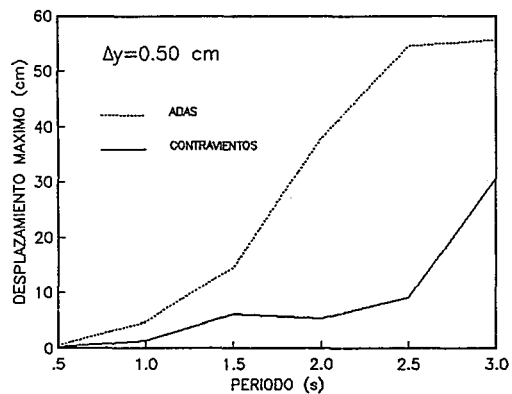
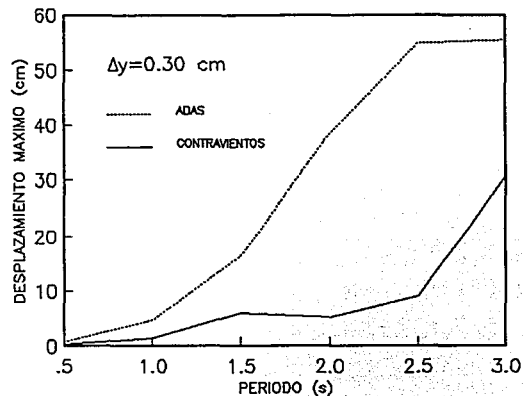
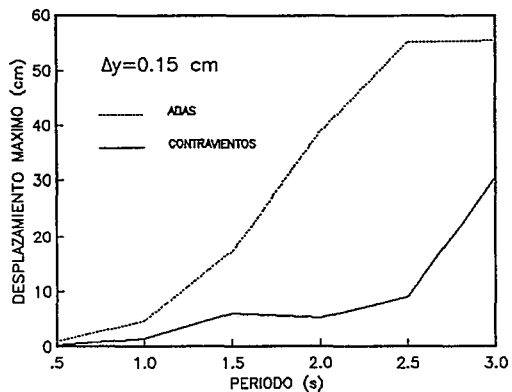


FIG 4.36 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=2.5K_m$

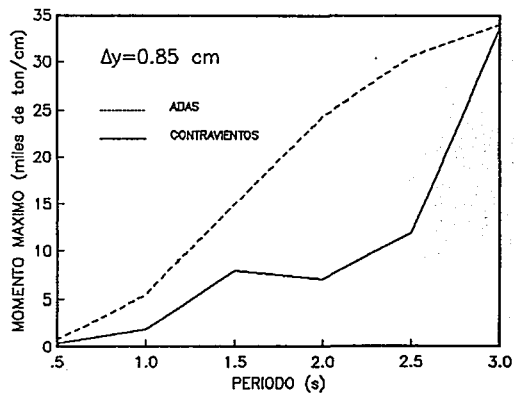
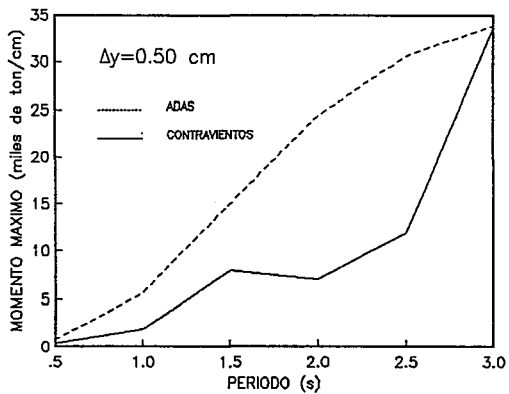
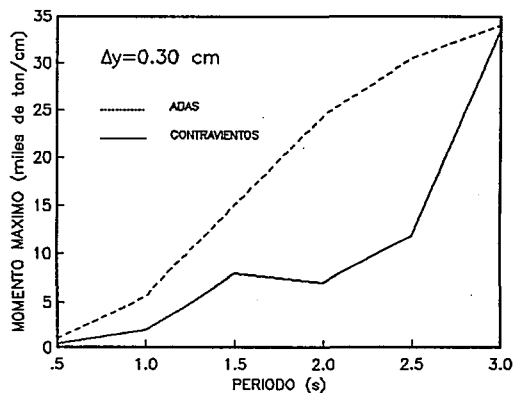
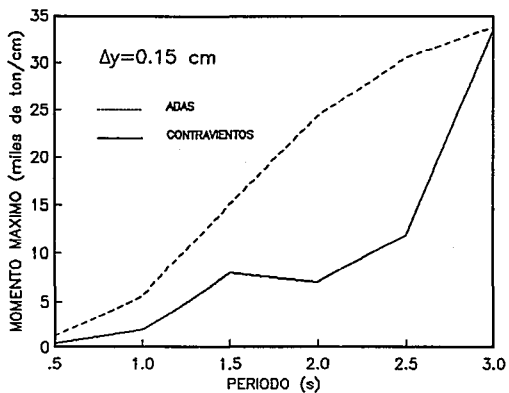


FIG 4.37 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=2.5K_m$

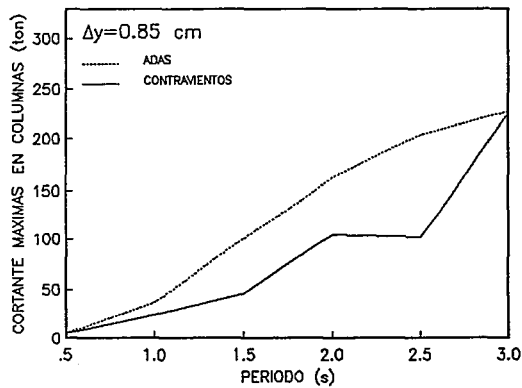
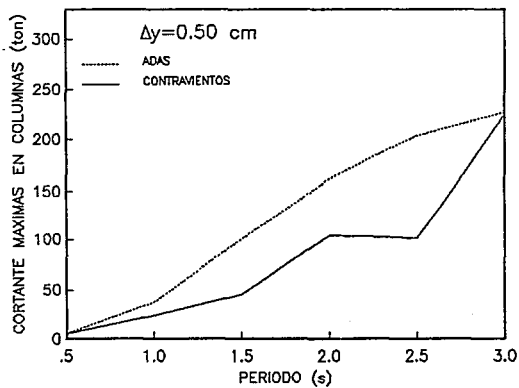
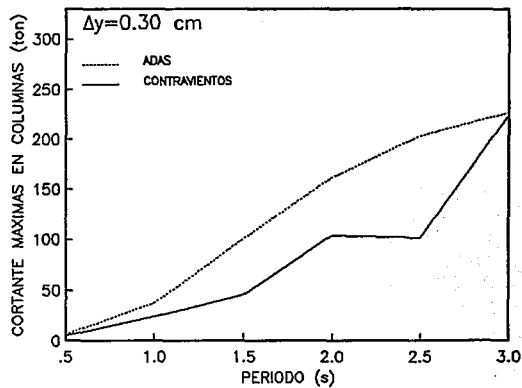
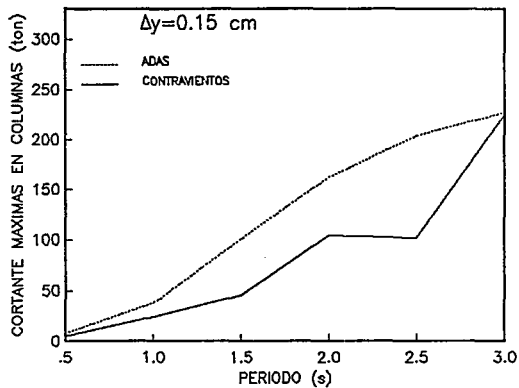


FIG 4.38 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=2.5K_m$

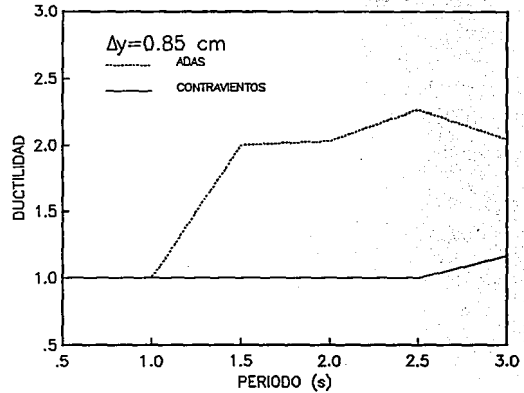
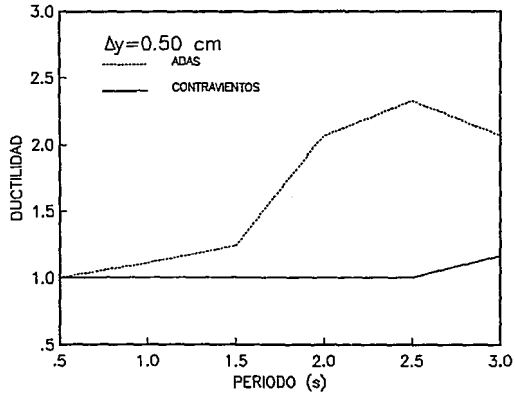
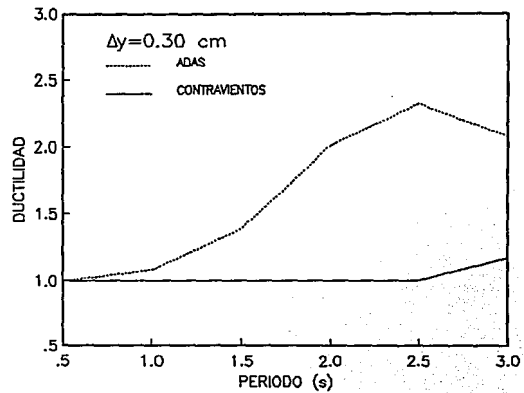
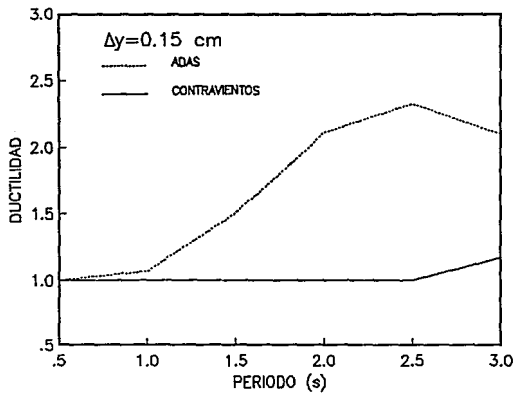


FIG 4.39 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=2.5K_m$

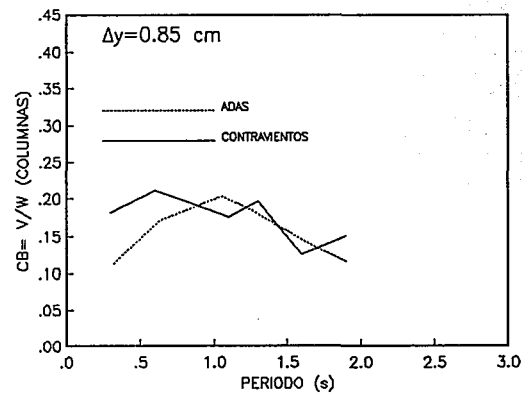
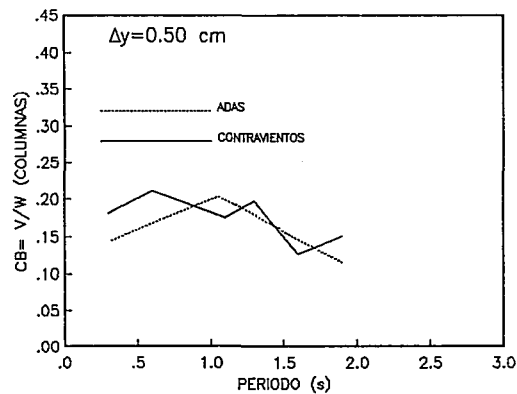
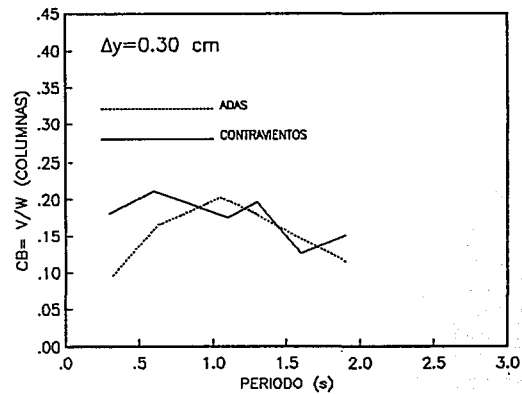
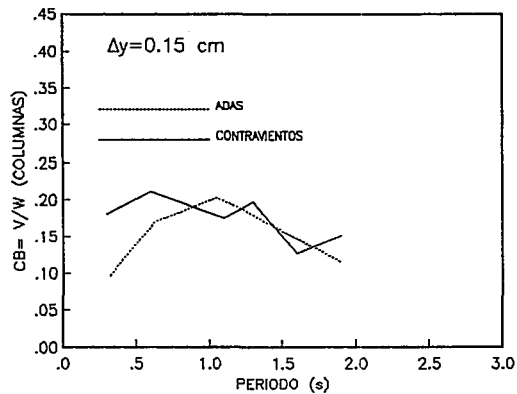


FIG 4.40 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (SCT-85), $K=2.5K_m$

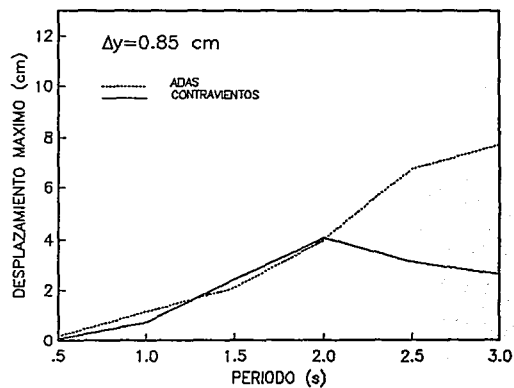
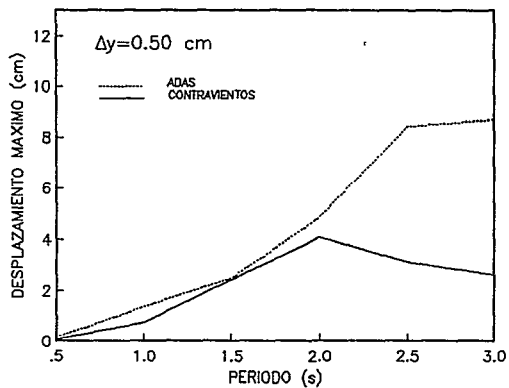
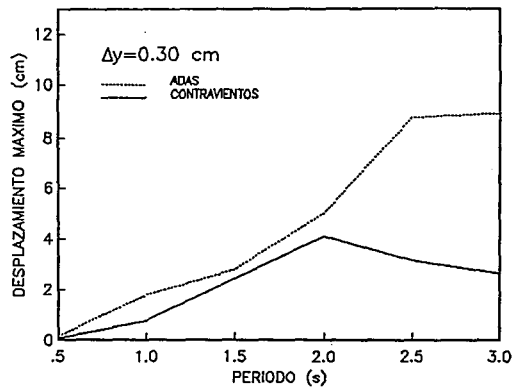
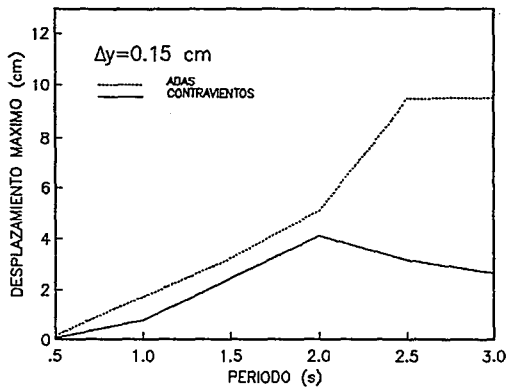


FIG 4.41 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=2.5K_m$

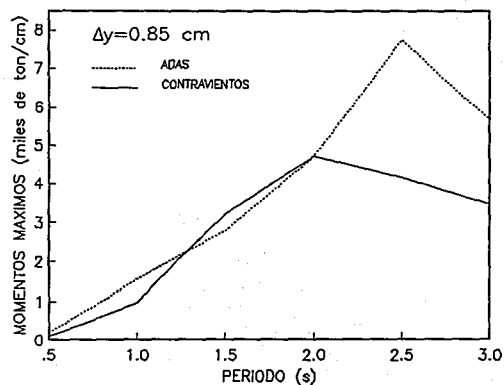
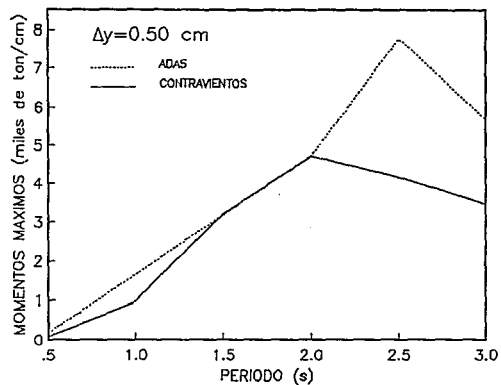
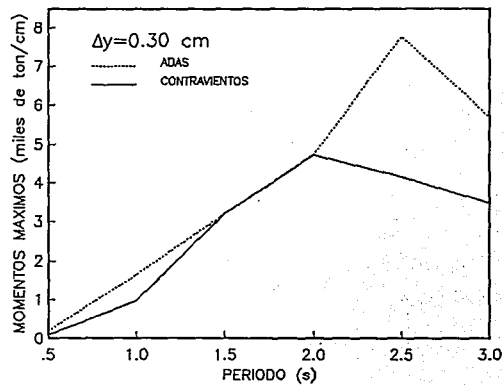
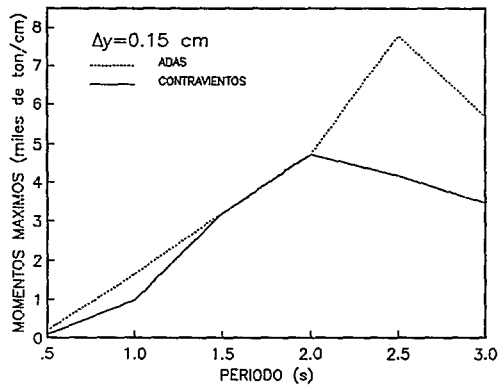


FIG 4.42 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=2.5K_m$

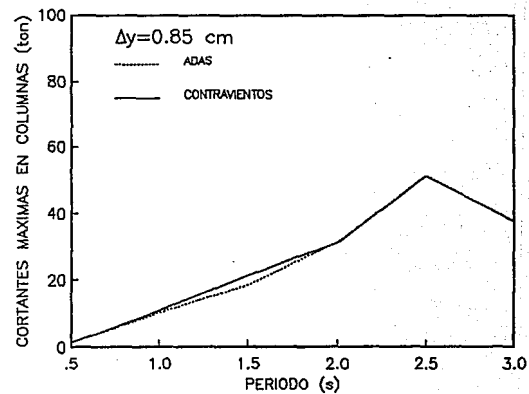
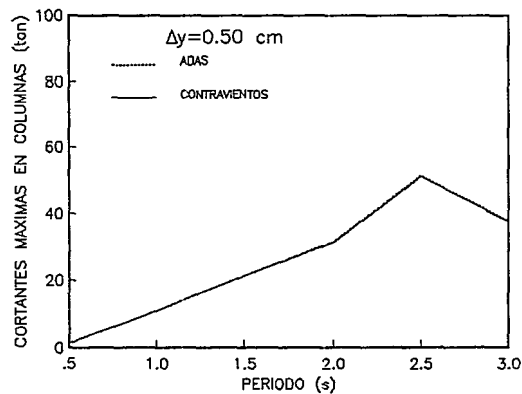
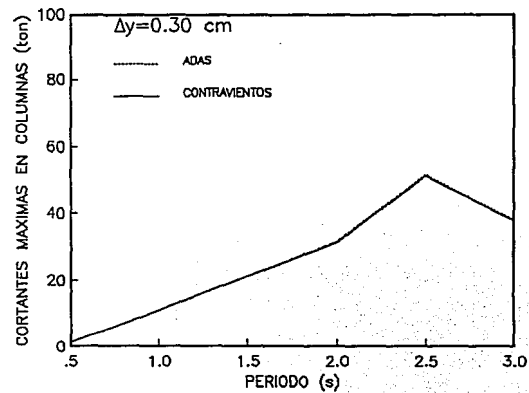
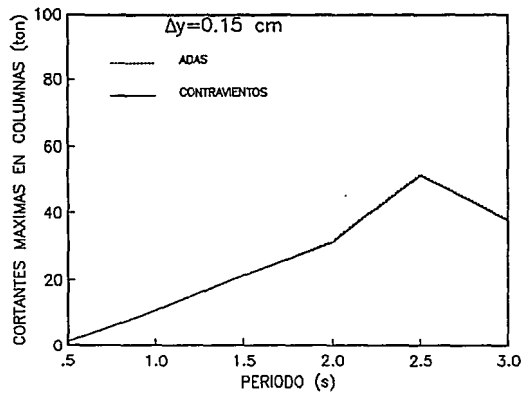


FIG 4.43 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=2.5K_m$

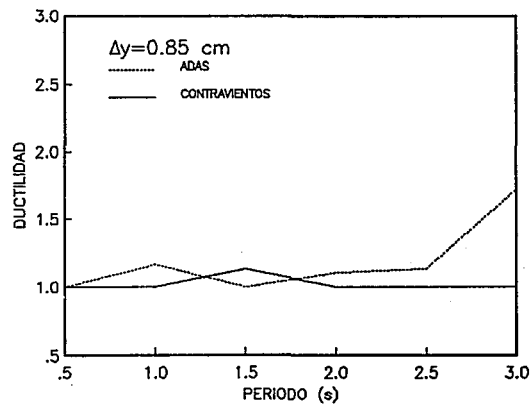
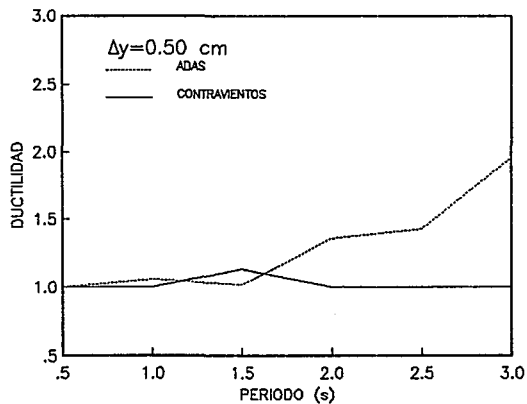
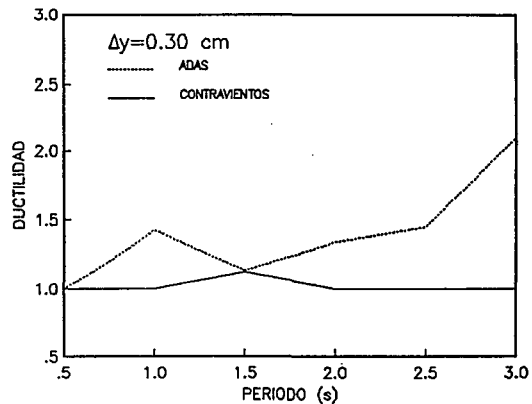
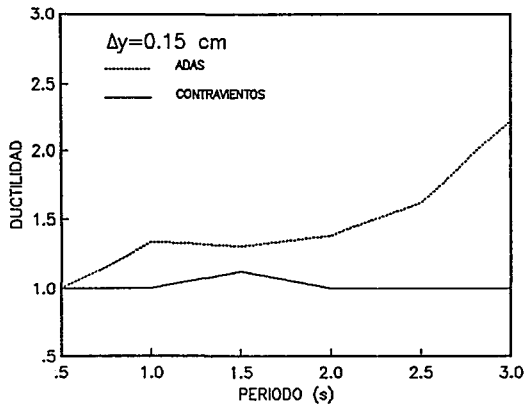


FIG 4.44 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=2.5K_m$

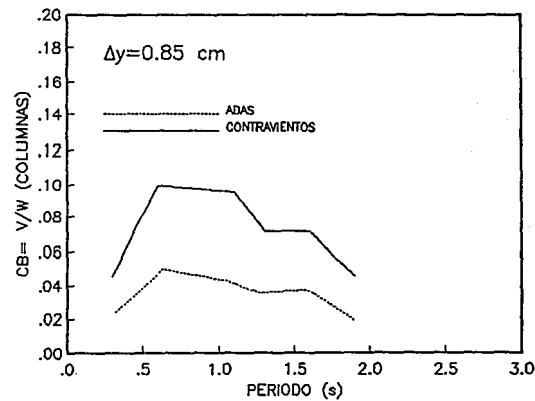
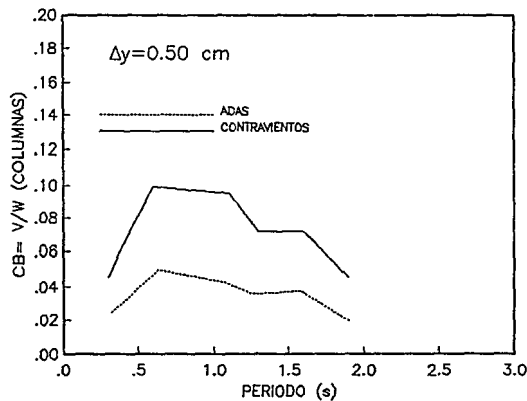
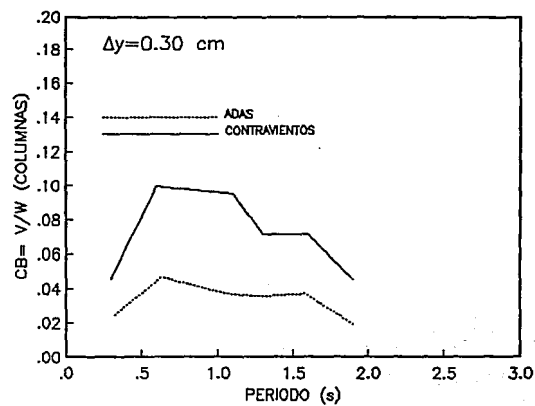
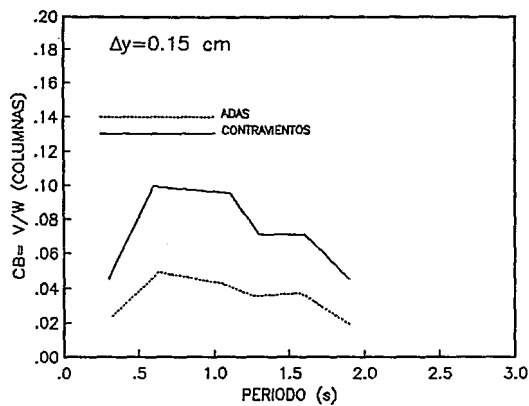


FIG 4.45 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (VIV-85), $K=2.5K_m$

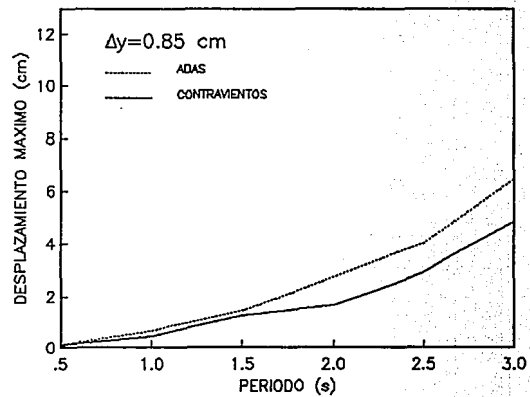
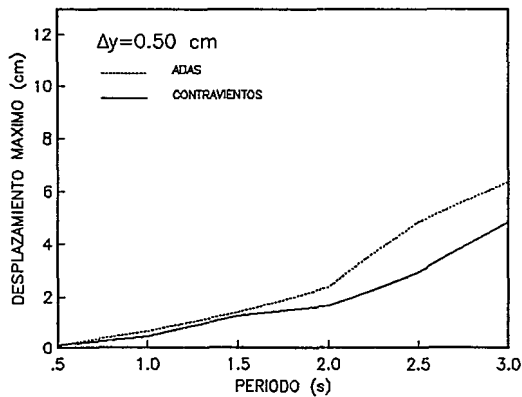
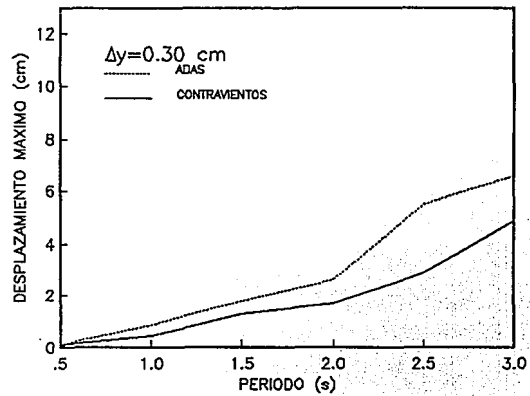
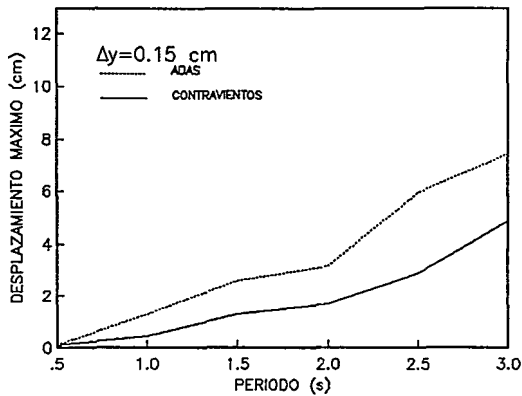


FIG 4.46 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=2.5K_m$

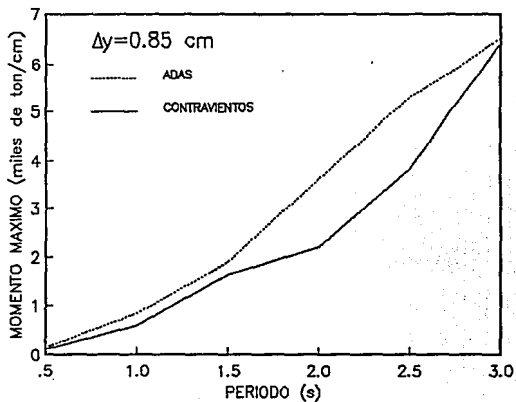
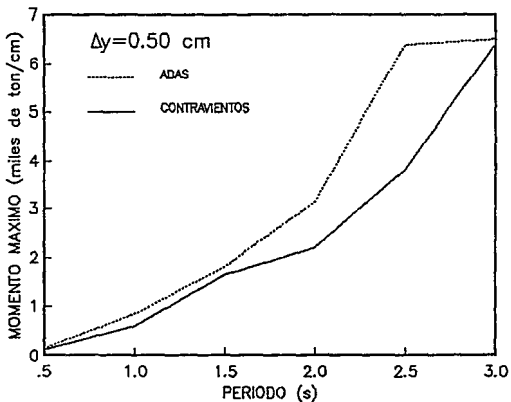
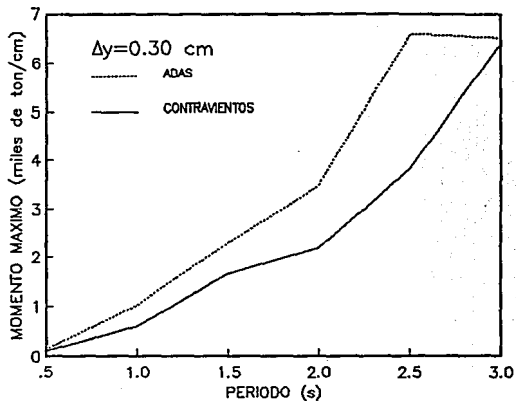
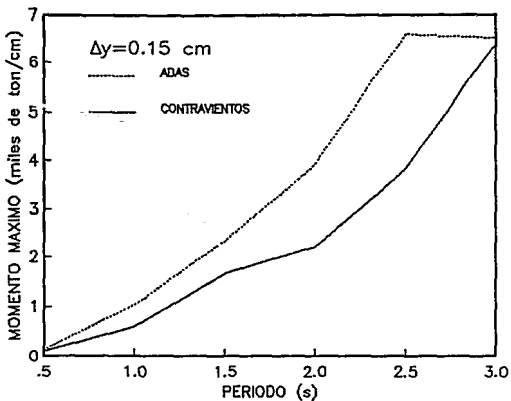


FIG 4.47 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=2.5K_m$

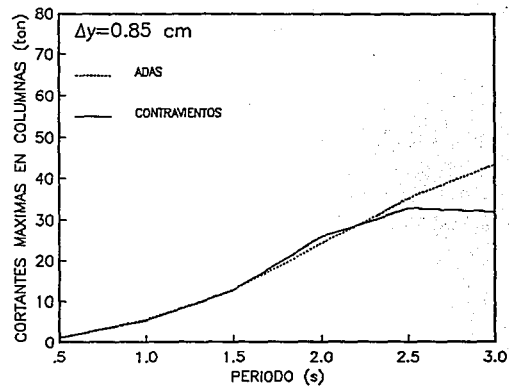
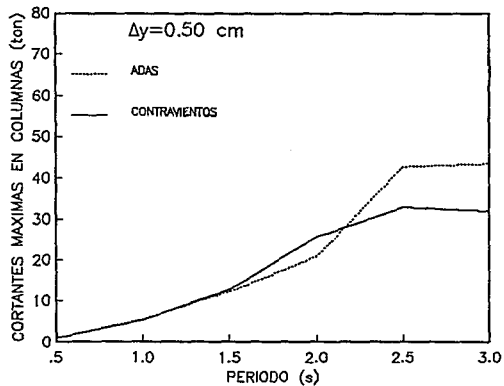
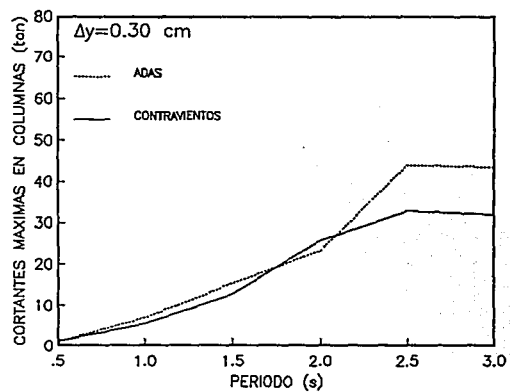
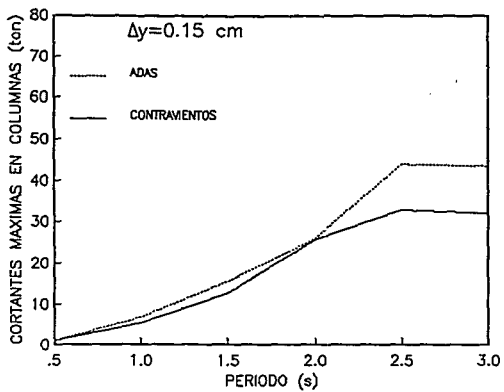


FIG 4.48 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=2.5K_m$

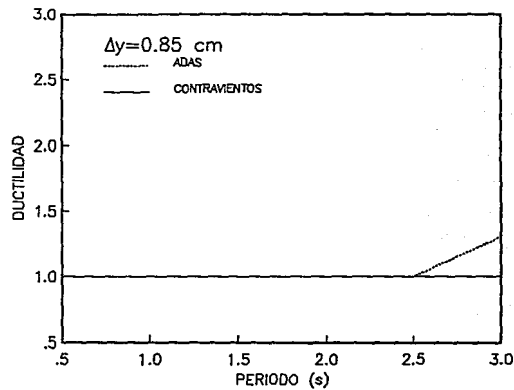
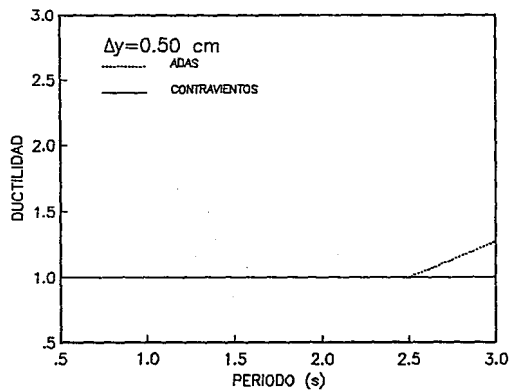
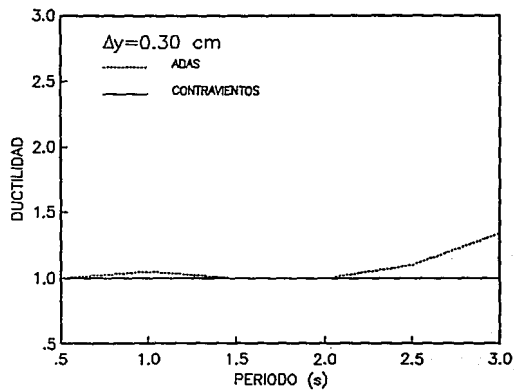
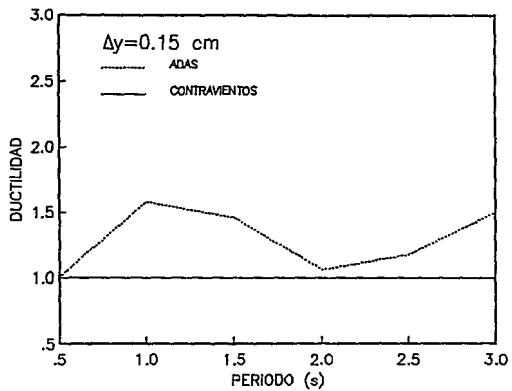


FIG 4.49 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=2.5K_m$

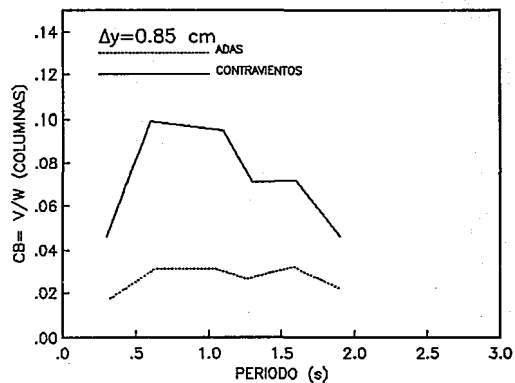
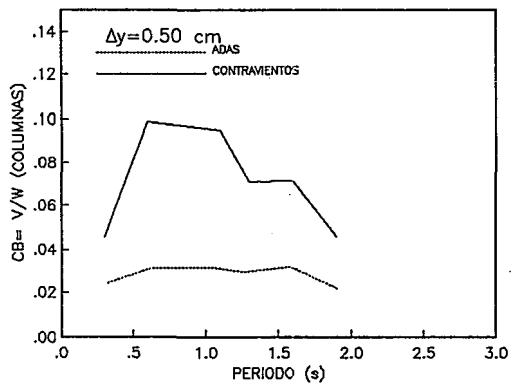
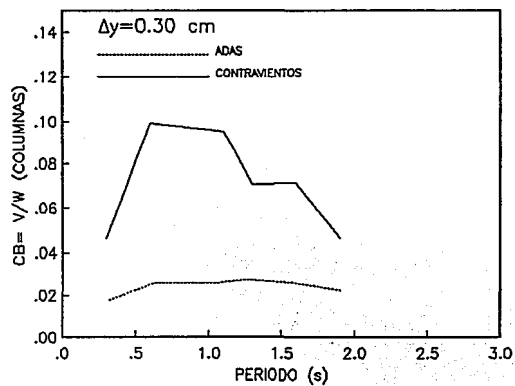
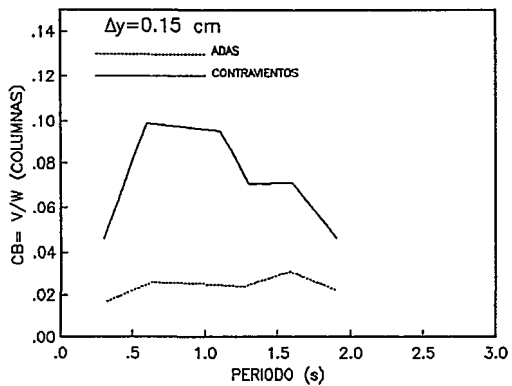


FIG 4.50 MARCO DE UN GRADO DE LIBERTAD (TAC-85), $K=2.5K_m$

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

Se comentó la importancia de conocer el comportamiento de sistemas estructurales con la adición de mecanismos disipadores de energía. La inclusión de éstos incrementa la rigidez del sistema y la capacidad de disipación de energía de la estructura.

Para analizar dicho comportamiento se modeló una estructura de nueve niveles, de geometría regular. Se añadieron al modelo dispositivos disipadores con desplazamientos de fluencia tales que los disipadores presentaran ductilidades cercanas a seis. Los resultados obtenidos para estos modelos muestran que la adición de dispositivos reduce significativamente la respuesta de estructuras sometidas a acelerogramas registrados en la Ciudad de México. También sugiere que su eficiencia está directamente relacionada con el periodo fundamental original y el lugar de desplante de la estructura.

Se llevó a cabo un estudio paramétrico de un marco de un nivel y una crujía para conocer la influencia de los parámetros que determinan la respuesta del sistema con disipadores. Se variaron el desplazamiento de fluencia del disipador, el porcentaje de participación en la rigidez total y el periodo fundamental del marco original.

Los resultados obtenidos sugieren que ante la excitación de SCT-EW, los modelos con disipadores presentan respuestas mayores que los modelos de marco original, para periodos fundamentales de vibración mayores a 1.8 s. Ante la excitación de SCT la colocación de disipadores disminuye las fuerzas cortantes máximas en columnas hasta en 49% cuando el periodo fundamental del marco original vale 0.5 s. Para periodos originales comprendidos entre 1.0 y 3.0 s tales fuerzas se encuentran entre 96 y 100.4% de las originales.

Para los modelos sometidos a los registros de las zonas de transición y dura, la colocación de los dispositivos sistemáticamente reduce la respuesta. Se logra una reducción en cortantes de columnas de 73% en modelos con periodo original de 0.5 s y hasta de 20%, con los demás periodos estudiados.

El cambiar la pendiente de la relación fuerza-deformación, de los disipadores, en el intervalo inelástico de 7.5% a 2.0% de la pendiente inicial no introduce diferencias significativas en las respuestas máximas.

Se comparó el comportamiento de modelos marco-disipadores y el de los modelos rigidizados con contravientos de acero, en dos de los casos de rigidez estudiados en los dispositivos (1.5 y 2.5 veces la rigidez original del marco). Para modelos contraventeados con rigidez $K = 1.5K_m$ las fuerzas cortantes máximas de las columnas resultan prácticamente las mismas, para las tres excitaciones. Cuando se rigidizan los modelos originales a $K = 2.5K_m$ los contravientos presentan mejores resultados, en comparación con los modelos que incluyen dispositivos, siempre que el periodo fundamental sea de 1.0 s a 2.0 s. Los modelos contraventeados presentan entonces reducciones hasta de 55% de la cortante original en columnas, mientras que en modelos con dispositivos las cortantes solo alcanzan una reducción del 20% de las cortantes originales. Para periodos iguales o mayores a

2.0 s (cuando $K = 1.5K_m$) y 2.5 s (cuando $K = 2.5K_m$) de modelos sujetos a la excitación de zona blanda fluyen las diagonales de marcos contraventeados. En estos casos la utilización de dispositivos disipadores puede ser de mayor utilidad pues su diseño se basa en la disipación de energía de sus elementos y en su fácil reposición.

El coeficiente de cortante basal para los modelos estudiados (dispositivos y contravientos) con $K = 1.5K_m$ es similar para los tres registros analizados; excepto para los modelos sometidos a la excitación de SCT con periodos pequeños, cuyo valor es menor cuando se utilizan contravientos. Cuando $K = 2.5K_m$ y los modelos se someten a excitaciones de terreno blando el coeficiente V/W es menor en los modelos con dispositivos para periodos menores a 1.0 s o mayores a aproximadamente 1.8 s. Dichos coeficientes son mayores en los modelos contraventeados, comparados con los modelos con dispositivos, cuando éstos se someten a las excitaciones de Viveros y Tacubaya.

El reforzar marcos con dispositivos disipadores o diagonales de acero reduce las respuestas estructurales. Este último tipo de rigidización conduce a respuestas similares o menores con respecto a las producidas en sistemas marco-disipador. Sin embargo, al incluir diagonales de acero se incrementan las fuerzas axiales en las columnas y puede aumentar el costo de la cimentación, por presentarse momentos de volteo mayores. También los marcos rigidizados con contravientos llevan a estructuras con menor capacidad de disipación de energía (menos dúctiles). Es necesario realizar estudios costo-beneficio para identificar las condiciones de aplicabilidad práctica de los dispositivos.

Las conclusiones aquí presentadas se limitan a las características dinámicas de los registros sísmicos utilizados y del factor de reducción adoptado.

AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente expreso mi agradecimiento a Emilio Rosenblueth por brindarme su dirección en el trabajo, por colaborar a conducir mi desarrollo profesional y por mostrar una infinita paciencia en mi; expresando con esto un sencillo homenaje a su recuerdo.

El autor quisiera agradecer a Ricardo González y Efraín Vargas sus comentarios durante la elaboración de este trabajo. Fueron de gran aprecio las sugerencias y participación de José Manuel Jara en el estudio realizado. Se agradece la revisión del texto a Arturo Tena.

Para mi desarrollo técnico fue importante contar con el apoyo del Instituto de Ingeniería de la UNAM y del Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, vaya para ellos mi gratitud.

El estudio fue elaborado parcialmente en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y parcialmente en el Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, A C, con apoyo económico del Departamento del Distrito Federal.

REFERENCIAS

Aguffiga, F y Jara, J M (1993), "Reducción de daños sísmicos mediante el uso de osciladores resonantes". X Cong Nac de Ing Sfs, octubre, Puerto Vallarta, pp 826-832.

Aguirre, M y Sánchez, R (1990), "Disipadores de energía sísmica". Construcción y Tecnología, Vol III, No. 27, pp 15-19

Constantinou, M C, Kartoum, A, Reinhorn, A M y Bradford, P (1992), "Sliding isolation system for bridges: experimental study". Earthq Spectra, Vol 8, No 3, pp 321-344.

Constantinou, M C y Symans, M D (1992), "Experimental and analytical investigation of response of structures with supplemental fluid viscous dampers". Technical Report NCEER-92-0032. State University of New York at Buffalo.

Chang, K, Soong, T, Oh, S y Lai, M (1992), "Effect of ambiente temperature on viscoelastically damped structure". Journal of Struct Eng, Vol 118, No 7, pp 1955-1973.

Chávez, J y González, R (1989), "Efecto de dos Tipos de amortiguadores externos en la respuesta de una estructura metálica de dos niveles". VIII Cong Nal Ing Sísm y VII Cong Nal Ing Estruc, Vol III , pp F341-F350.

Departamento del Distrito Federal (1987), "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", Diario Oficial de la Federeción, 3 de julio de 1987, México, D F.

Filiatrault, A y Cherry, S (1990), "A simplified seismic desing procedure for friction damped structures". Proc of Fourth Nat Conf on Earthq Eng, Palm Springs, California, Vol 3, pp 479-488.

Hanson, R D (1987), "Supplemental damping for improved elastic and inelastic response of buildings during earthquakes". II Int Symp and V Nat Symp on Steel Struct, Morelia, Michocán, pp 39-49.

Jara, J M, Vargas, E, González, R y Gómez, C (1990, 1991), "Estudio analítico de la respuesta sísmica de edificios con disipadores de energía". Informes técnicos finales al departamento del D F. CIS, Fundación Javier Barros Sierra, A C

Kanaan, A y Powell, G (1973), "DRAIN-2D: general purpose computer program for dynamic analysis of inelastic plane structures". Report UCB/EERC-73/06, Earthq Eng Research Cent, Universidad de California en Berkeley.

Kartoum, A, Constantinou, M C y Reinhorn, A M (1992), "Sliding isolation system for bridges: analytical study". Earthq Spectra, Vol 8, No 3, pp 345-372.

Kelly, J M y Skinner, M S (1979), "A review of current uses of energy-absorbing devices". Report No UCB/EERC-79/10 Earthq Eng Research Cent, Universidad de California en Berkeley.

Kelly, T E, Mayes, R L y Weissberg, S (1989), "Estimación de daño causado por sismos en estructuras convencionales y aisladas". VIII Cong Nac de Ing Sísm y VII Cong Nac de Ing Estruct. Acapulco, México, pp F149-F158.

Maison, B F y Neuss, C F (1983), SUPER-ETABS "An enhanced version of the ETABS program". Report to the Natl Science Foundation.

Martínez-Romero, E (1993), "Experiences on the use of supplementary energy dissipators on bilding structures". Earthq Spectra, Vol 9, No 3, pp 581-625.

Mostaghel, M, Kelly, J M y Clark, P W (1992), "Stability of R-FBI bearing: analysis and experiment". Earthq Spectra, Vol 8, No 2, pp 259-277.

Nagarajaiah, S, Reinhorn, A M y Constantinou, M C (1991), "Nonlinear dynamic analysis of 3-D base-isolated structures". Journal of Struc Eng, Vol 117, No 7, pp 2035-2054.

Saiidi, M y Sozen, M A (1979), "Simple and complex models for nonlinear seismic response of reinforced concrete structures". Structural Research Series, No. 465, University of Illinois at Urbana-Champing, agosto, pp 50-66.

School, R E (1990), "Improve the earthquake performance of structures with added damping and stiffness elements". Proc of Fourth US Natl Conf on Eathq Eng, Palm Springs, California, Vol 3, pp 489-498.

Soong, T y Mahmoodyi, P (1990), "Seismic behavior of structures with added viscoelastic dampers". Proc of Fourth Nat Conf on Earthq Eng, Palm Spring, California, Vol 3, pp 499-506.

Soong, T, Masri, S y Housner, G (1991), "An overview of active structural control under seismic loads". Earthq Spectra, Vol 7, No 3, pp 483-505.505.

Su, Y y Hanson, R (1990), "Comparison of effective supplemental damping equivalent viscous and hysteretic". Proc of Fourth US Nat Conf on Earthq Eng, Palm Springs, California, pp 507-516.516.

Suárez, R A y Ruiz, S E (1993), " Sobre la respuesta sísmica de sistemas estructurales con osciladores resonantes sujetos a sismos de banda angosta". X Cong Nac de Ing Sfs, octubre, Puerto Vallarta, pp 559-564.

Taylor, A, Lin, A y Martin, J W (1992), "Performance of elastomers in isolation bearings: a literature review". Earthq Spectra, Vol 8, No 2, pp 279-303.

Tyler, R C (1991), "Rubber bearings in base-isolated structures. A summary paper". Bull of the New Zealand Nat Soc for Earthq Eng, Vol 24, No 3, pp 251-274.

Whittaker, A, Bertero, V, Alonso, J y Thompson, C (1989), "Earthquake simulation testing of steel plate added damping and stiffness elements". Report No. UCB/EERC-89/02 Earthq Eng Research Cen, Universidad de California en Berkeley.

Xia, C y Hanson, R D (1992), "Influence of ADAS element parameters on building seismic response". Journal of Struct Eng, Vol 118, No 7, pp 1903-1918.918.