

300615



Universidad La Salle

6
2ej

ESCUELA DE INGENIERIA
Incorporada a la U.N.A.M.

"RESPUESTA DE UNA ESTRUCTURA PROVISTA DE
DISPOSITIVOS DE DISIPACION DE ENERGIA"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a

CARLOS ANTONIO GALINDO NOGUERAS

Director de Tesis: M. en I. Ricardo González Alcorta

México, D. F.

1992



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION

I.1 Antecedentes

I.2 Objetivos

1 MECANISMOS EXTERNOS DE DISIPACION DE ENERGIA

1.1 Generalidades

1.2 Dispositivos de control pasivo

1.3 Dispositivos de control activo

2 DESCRIPCION DE LOS MODELOS MATEMATICOS

2.1 Estructuraciones

2.2 Descripción de los dispositivos utilizados

2.3 Interaccion suelo-estructura

2.4 Periodos fundamentales

3 ANALISIS DE LA RESPUESTA NO LINEAL

3.1 Registro seleccionado

3.2 Análisis de la respuesta

CONCLUSIONES FINALES

REFERENCIAS

TABLAS Y FIGURAS

I N T R O D U C C I O N

I.1 Antecedentes

En la mayoría de los reglamentos de diseño sísmico del mundo se permite reducir las fuerzas de diseño tomando en cuenta la ductilidad que son capaces de desarrollar las estructuras, en función de los materiales y sistema estructural empleado, lo que involucra la posibilidad de daños estructurales de mayor o menor importancia. En el caso de sismos excepcionales como el que sufrió la ciudad de México el 19 de septiembre de 1985 en la zona de terreno blando, el aprovechamiento de la ductilidad implica deformaciones inelásticas importantes que pueden producir agrietamientos indeseables o aún colapso en el caso de que no haya reservas de ductilidad local suficientes o tengan fallas frágiles prematuras.

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

Por otra parte, en el diseño sísmico de edificios es práctica común suponer que el suelo que soporta la estructura es infinitamente rígido, por lo que la estructura se encuentra perfectamente empotrada en su base. Sin embargo, está bien establecido que la deformabilidad del suelo puede modificar significativamente la respuesta sísmica de las estructuras. Dadas las características singulares de la arcilla del valle de México, es necesario analizar la eficiencia de diversos sistemas de disipación de energía cuando estos forman parte de una estructura, estudiando fundamentalmente la influencia del efecto de la interacción suelo-estructura en la respuesta estructural.

I.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el de evaluar la eficiencia de diversos sistemas de disipación en el comportamiento de una torre de acero de 10 niveles, estudiando la influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta estructural. Los sistemas a estudiar son los siguientes: disipadores de solera de acero en forma de "U", disipadores ADAS, cables de presfuerzo y aisladores de base.

Dado que se pretende conocer la posibilidad de implantar estos sistemas en la ciudad de México, se analizará el comportamiento de los modelos al ser sometidos a un sismo característico de la zona con alta compresibilidad del suelo. Se utilizará el registro obtenido durante el del 19 de septiembre de 1985 en la estación de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT).

Capítulo 1

M E C A N I S M O S E X T E R N O S D E D I S I P A C I O N D E E N E R G I A

1.1 Generalidades

Los daños causados por los sismos en diversas partes del mundo han demostrado que aún existe gran incertidumbre en lo que concierne al comportamiento de las estructuras ante estos eventos. En la actualidad se pretende disipar la energía provocada por los temblores aprovechando la ductilidad que son capaces de desarrollar las estructuras, lo que implica deformaciones inelásticas importantes que pueden producir agrietamientos indeseables, fallas frágiles prematuras o aún el colapso total de la estructura.

Las investigaciones y resultados obtenidos en Japón y Estados Unidos de Norteamérica han demostrado la conveniencia de suministrar a las estructuras dispositivos externos de disipación de energía, los cuales disminuyen las demandas de ductilidad en los sistemas estructurales. Estos pueden clasificarse, según su funcionamiento, como mecanismos de control pasivo y de control activo.

1.2 Dispositivos de control pasivo

Este tipo de dispositivos responden al movimiento de la estructura de una forma prefijada por el diseñador. Se han desarrollado principalmente tres sistemas: disipadores de energía, aisladores de base y osciladores resonantes.

Disipadores de energía

Estos dispositivos basan su funcionamiento en el comportamiento histerético de sus elementos componentes. Son generalmente ubicados en

periodo tal que coincida con el periodo de vibrar del segundo nivel (oscilador resonante), la masa del primer nivel no se mueve y la del segundo se ve sometida a la fuerza de igual magnitud y sentido contrario a la fuerza de excitación. Al existir amortiguamiento en ambas masas, los desplazamientos de la primera pueden reducirse de manera importante al elegir adecuadamente las propiedades dinámicas de la segunda masa. En la URSS se han estudiado analítica y experimentalmente sistemas de varios grados de libertad con un piso adicional, obteniéndose reducciones en la respuesta de dichos sistemas [7].

La mayor dificultad de este sistema se encuentra en el análisis, ya que dado que la masa adicional suele ser mucho menor que la del resto de la estructura y su amortiguamiento difiere también considerablemente con la estructura resultante, se carece de modos de vibrar clásicos [8].

1.3 Dispositivos de control activo

Estos mecanismos se basan en el principio de eliminar las vibraciones de una estructura mediante la aplicación de fuerzas externas.

El movimiento de la estructura es detectado por dispositivos que miden las fuerzas externas aplicadas, localizadas en diferentes niveles de ella. Estos se conectan a una computadora que a su vez envía una señal a los sistemas que aplican fuerzas a la estructura con la finalidad de contrarrestar el mismo.

Los principales sistemas desarrollados en la actualidad son los de masa activa, tendones activos y dispositivos de fricción activos.

Masa activa

Es una extensión del sistema pasivo llamado osciladores resonantes, en el cual el movimiento de la masa sobre el último nivel de la estructura es controlado por una computadora ubicada también en ese nivel, que detecta el movimiento del edificio a través de sensores y envía a los actuadores el movimiento que se debe aplicar a las masas, como se puede

la tabla 1. Para el modelo EDA se obtuvieron considerando que las diagonales no tienen resistencia a la compresión. Para los modelos EAB, EDS, EDAD se presentan dos periodos limite, que se definen por la nula y completa cedencia de sus sistemas de disipación. Los periodos de los modelos estudiados fueron obtenidos con el programa SAP90 [17].

Se observa que los periodos de las estructuras con dispositivos en las diagonales, sin fluir, son prácticamente los mismos, lo que permite que las respuestas sean totalmente comparables.

Analizando los modelos que no consideran los efectos de la interacción suelo-estructura, es interesante observar la modificación que sufren sus periodos fundamentales de vibrar cuando los sistemas de disipación fluyen, ya que en todos los casos estos alcanzan valores muy cercanos a los propios del terreno compresible de la ciudad de México, lo que en primera instancia se podría calificar como un efecto desfavorable.

Por otra parte, en los modelos que consideran el efecto de interacción suelo-estructura se aprecian incrementos sustanciales en los periodos de vibrar con respecto a los obtenidos con base empotrada, aún antes de que los sistemas de disipación fluyan.

Este doble efecto mencionado, es decir, la modificación del periodo por la fluencia de los sistemas de disipación y por el efecto de interacción suelo-estructura es el que se estudiará mediante el análisis de la respuesta sísmica de los modelos.

Capítulo 2

DESCRIPCION DE MODELOS MATEMATICOS

2.1 Estructuraciones

El modelo consiste en una estructura de acero de 10 niveles con una sola cruzía, el cual se encuentra estructurado como se muestra en la fig. 13. Una elevación de los modelos considerados se presenta en la fig. 14, y comprenden:

1. Estructura de marco rígido (EE).
2. Estructura con diagonales de acero (EDA).
3. Estructura con diagonales de acero y aisladores de base (EAB).
4. Estructura con diagonales de acero y disipadores de solera en forma de "U" (EDS).
5. Estructura con diagonales de acero y disipadores ADAS (EDAD).
6. Estructura con cables de presfuerzo (EPRE).

Los primeros dos modelos (EE y EDA) fueron diseñados por Hanson y Fan [10], teniendo como fin estudiar la reducción de los requerimientos de ductilidad de entrepiso y la capacidad de absorción de energía al colocar diagonales de refuerzo en el marco rígido. Posteriormente, Filiatrault estudió estos mismos sistemas con el objeto de analizar su funcionamiento en dos sitios de la ciudad de México [11].

En este trabajo, se analizará el comportamiento de esta estructura cuando se le adicionan sistemas de disipación de energía, estudiando asimismo el efecto que tiene la interacción suelo-estructura en la eficiencia de los mismos.

2.2 Descripción de los dispositivos utilizados

Los dispositivos que se estudiaron en los modelos matemáticos son los siguientes:

- a) Aisladores de base
- b) Dispositivos de solera en forma de "U"
- c) Dispositivos ADAS
- d) Cables de presfuerzo

Se considerarán aisladores de base con corazón de plomo y con comportamiento histerético bilineal. Las expresiones para evaluar la rigidez lateral (K_r) y la carga de cedencia (F_y) de los aisladores se han obtenido de resultados experimentales [12], donde los valores K_r y F_y quedan definidos por las siguientes expresiones:

$$K_r = (1 \text{ a } 2) W \quad (1)$$

$$F_y = (0.05 \text{ a } 0.10) W \quad (2)$$

donde W es el peso total de la estructura, K_r es la rigidez al cortante del aislador y F_y la carga de cedencia. En este trabajo se supondrán valores de $K_r = 1.5 W$ y $F_y = 0.05 W$.

Los dispositivos de solera en forma de "U" han sido estudiados ampliamente en México con resultados muy promisorios [13]. Estos dispositivos están fabricados con acero comercial, cuya configuración se muestra en la fig. 15.

La fig. 16 muestra un marco de carga para probar los disipadores de energía en forma de U. Dicho marco consta de un miembro estructural central conectado a una celda de carga que a su vez está unida a la viga transversal de la máquina. Para probar un conjunto de elementos U, el procedimiento consiste en montarlo en el marco de carga e iniciar la prueba cíclica, donde se aplica un desplazamiento controlado con un movimiento de tipo armónico. La prueba finaliza cuando uno de los elementos tiene rotura parcial o total.

En la fig. 17 se presenta una gráfica que relaciona la amplitud de deformación del elemento con el número de ciclos a la falla por fatiga del material. En ella podemos apreciar que el número de ciclos para alcanzar la falla con un desplazamiento de ± 2.5 cm es de aproximadamente 100, mientras que para un desplazamiento de ± 1.0 cm el número de ciclos crece notablemente hasta alcanzar un valor aproximado de 1000.

En la fig. 18 se muestra como evoluciona el comportamiento histerético de un sistema compuesto por 2 soleras en forma de U. Este sistema fué sometido a diferentes amplitudes de desplazamiento y se observó que a partir de un valor 0.367 cm se empieza a disipar energía; a este desplazamiento se le denominará en lo sucesivo *desplazamiento de cedencia*.

El dispositivo ADAS tiene por objeto incrementar la rigidez y capacidad de disipación de energía de la estructura. La forma de su sección transversal tiene ventajas sobre la rectangular, como se muestra en las distribuciones de esfuerzos de la fig. 19. Cuando el esfuerzo de fluencia se alcanza en los extremos de una sección rectangular, el resto de la sección se mantiene elástica. A diferencia de lo anterior, en la distribución de esfuerzos con la sección ADAS se alcanzan los esfuerzos de fluencia prácticamente en toda la sección transversal al mismo tiempo, lo que ocasiona una mayor disipación de energía.

Mediante estudios experimentales se encontró que el principal parámetro que influye en el comportamiento de las placas es el grado de restricción que proporcionan los apoyos, llegándose a variaciones de

resistencia de hasta 350 por ciento e incrementos de desplazamiento de fluencia de 18 por ciento al no garantizar un empotramiento completo [14].

2.3 Interacción suelo-estructura

Para tomar en cuenta el efecto de interacción suelo-estructura (ISE) se consideraron apoyos elásticos en la base de los modelos, los cuales tienen una rigidez equivalente a las del suelo para los desplazamientos de traslación horizontal y vertical (K_x y K_v), así como el cabeceo de la cimentación (K_ϕ). Se consideraron las siguientes expresiones, [15]:

$$K_x = \frac{32 \rho V^2 R(1 - \nu)}{(7 - 8\nu)} \quad (3)$$

$$K_v = \frac{4 \rho V^2 R}{(1 - \nu)} \quad (4)$$

$$K_\phi = \frac{8 \rho V^2 R^3}{3(1 - \nu)} \quad (5)$$

donde, ρ es la densidad de masa del suelo; V es la velocidad de las ondas de cortante; ν la relación de Poisson y R el radio de una cimentación circular equivalente. En este trabajo se consideraron las características mecánicas del suelo asociadas a los sitios SCT (zona blanda). Para las propiedades de los suelos de esta zona se consideraron los siguientes valores $\rho = 0.13 \text{ ton m}^2/\text{m}^4$, $v = 75 \text{ m/s}$ y $\nu = 0.4$ [16].

El radio, R , de la cimentación circular equivalente utilizado corresponde a la mitad del ancho de la estructura.

2.4 Periodos fundamentales

Los periodos de vibración calculados con y sin el efecto de interacción suelo-estructura para los modelos en estudio se presentan en

la tabla 1. Para el modelo EDA se obtuvieron considerando que las diagonales no tienen resistencia a la compresión. Para los modelos EAB, EDS, EDAD se presentan dos periodos limite, que se definen por la nula y completa cedencia de sus sistemas de disipación. Los periodos de los modelos estudiados fueron obtenidos con el programa SAP90 [17].

Se observa que los periodos de las estructuras con dispositivos en las diagonales, sin fluir, son prácticamente los mismos, lo que permite que las respuestas sean totalmente comparables.

Analizando los modelos que no consideran los efectos de la interacción suelo-estructura, es interesante observar la modificación que sufren sus periodos fundamentales de vibrar cuando los sistemas de disipación fluyen, ya que en todos los casos estos alcanzan valores muy cercanos a los propios del terreno compresible de la ciudad de México, lo que en primera instancia se podría calificar como un efecto desfavorable.

Por otra parte, en los modelos que consideran el efecto de interacción suelo-estructura se aprecian incrementos sustanciales en los periodos de vibrar con respecto a los obtenidos con base empotrada, aún antes de que los sistemas de disipación fluyan.

Este doble efecto mencionado, es decir, la modificación del periodo por la fluencia de los sistemas de disipación y por el efecto de interacción suelo-estructura es el que se estudiará mediante el análisis de la respuesta sísmica de los modelos.

Capítulo 3

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA NO LINEAL

3.1 Registro seleccionado

En esta investigación se trabajó con el acelerograma del sismo del 19 de septiembre de 1985 (sismo de magnitud 8.1 (Ms)) registrado en la zona de alta compresibilidad de la ciudad de México. El acelerograma corresponde a la componente E-W del registro del sismo en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con aceleración, velocidad y desplazamiento máximo de 167.92 cm/s^2 , 60.50 cm/s y 21.94 cm , respectivamente.

La fig. 20 muestra la ubicación de la estación de registro. El acelerograma registrado, el espectro de Fourier y el espectro de respuesta de el acelerograma para un amortiguamiento del 5 por ciento se muestran en la fig. 21.

3.2 Analisis de la respuesta

Para determinar la respuesta de los modelos se utilizó el programa DRAIN-2D [18], el cual lleva a cabo análisis paso a paso inelástico de estructuras planas. Debido a las limitaciones del programa no se consideró el aspecto tridimensional de la estructura, por lo que no existen efectos de torsión en el sistema estructural.

Las principales hipótesis consideradas en el análisis son las siguientes:

- 1) La masa de la estructura se concentra en los diferentes niveles de piso.

- 2) Las columnas, vigas y diagonales tienen un comportamiento bilineal. La pendiente de la segunda rama es de un 1 por ciento respecto a la pendiente de la rama inicial.
- 3) Todos los nudos de un mismo nivel tienen el mismo desplazamiento horizontal, con desplazamientos verticales y giros independientes entre sí.
- 4) Se incluyen los efectos P- Δ en el análisis.
- 5) No se consideró la componente vertical ni rotacional del movimiento sísmico.
- 6) Se despreció la disipación de energía del suelo por radiación y por amortiguamiento del propio material.

Se estudiaron básicamente cinco aspectos de la respuesta de los modelos:

- 1) Formación de articulaciones plásticas.
- 2) Desplazamientos totales y relativos.
- 3) Ductilidades de entrepiso.
- 4) Cortantes de entrepiso
- 5) Energía histerética.

Formación de articulaciones plásticas

El análisis de los patrones de formación de articulaciones plásticas permitió conocer el daño potencial que se puede presentar en la estructura. Como primer índice de daño se consideró el número de articulaciones plásticas que se generaron en los diferentes modelos durante la excitación sísmica.

En la fig. 22 se muestra el patrón de articulaciones plásticas formadas en los elementos de los siete modelos estudiados, con y sin el efecto de ISE. Se calculó el factor de daño estructural (FD) mediante la siguiente expresión:

$$FD = \frac{\text{Número de elementos dañados}}{\text{Número total de elementos}}$$

Comparando los resultados obtenidos se observa lo siguiente:

1. El modelo EE presenta formación de articulaciones plásticas prácticamente en todas sus vigas, sin llegar a formarse un mecanismo de colapso. Al colocar las diagonales en el modelo EDA se reduce considerablemente el daño estructural, lo que se explica por la modificación de su periodo fundamental, ya que el periodo predominante del movimiento registrado es de aproximadamente dos segundos.
2. El modelo EDA permanece elástico si no se considera el efecto de ISE, de lo contrario se presentan daños en algunos elementos estructurales.
3. Al no considerarse el efecto de interacción suelo-estructura, los dispositivos utilizados en los modelos EDS y EDAD alcanzan a fluir en algunos de sus componentes, sin presentar daño estructural en ninguno de los modelos. Sin embargo, cuando se considera la flexibilidad del suelo, en ambos modelos se presentan formaciones plásticas en vigas, a pesar de que algunos de los dispositivos alcanzan a fluir, de aquí la importancia de la correcta evaluación del efecto de interacción suelo-estructura para lograr un buen comportamiento de los sistemas.

4. Los modelos EPRE1 y EPRE2 tienen un buen comportamiento se considere o no el efecto de interacción suelo-estructura, ya que solo se presentan dos articulaciones en el modelo EPRE2 si se toma en cuenta el efecto ISE.

Desplazamientos y ductilidades de entrepiso

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

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

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_e} \geq 1.0$$

En la fig. 23 se presentan los resultados encontrados en el modelo EE, con y sin el efecto de interacción suelo-estructura, en donde se aprecia que la zona que presentan los desplazamientos relativos de entrepiso máximos se localiza entre los niveles 2 a 5, con valores cercanos a los 9 cm, disminuyendo significativamente fuera de esta zona. Es precisamente en el intervalo del nivel 2 a 5 donde se encuentran los máximos requerimientos de ductilidad de entrepiso, con valores cercanos a 3. En la fig. 24 y 25 se aprecian los comportamientos histeréticos de entrepiso de este modelo, donde se detecta que los niveles que presentan cualitativamente mayor disipación de energía se ubican en la zona mencionada de la estructura.

Al analizar la respuesta del modelo EDA (figs.26 a 28), se logra apreciar que tanto los desplazamientos como los requerimientos de ductilidad se reducen drásticamente con respecto al modelo EE si no se considera el efecto de interacción suelo-estructura, eliminándose el daño estructural. Esto nos indica la importancia de evitar la concordancia entre el periodo de vibrar de la estructura con respecto al periodo dominante del movimiento sísmico. Sin embargo, al incluir el efecto ISE en el modelo EDA se detectan incrementos significativos en los desplazamientos de entrepiso y en las demandas de ductilidad. En la fig. 27 se aprecia que en ninguno de los niveles alcanza a tener un comportamiento inelástico, pero al incluir la flexibilidad del suelo (fig. 28) se aprecia que ya existe un comportamiento inelástico en los primeros 5 niveles de la estructura. La energía histerética disipada por este modelo es cualitativamente menor que la disipada por el modelo EE, con un número mucho menor de incursiones inelásticas.

En las figs. 29 a 31 se muestran los resultados encontrados en el modelo EAB, en donde se aprecia que el aislamiento en la base provoca prácticamente un movimiento de cuerpo rígido del sistema, con el inconveniente de presentar un desplazamiento grande en la base, cercano a los 40 cm si no se considera el efecto ISE y de alrededor de 25 cm si se toma en cuenta la flexibilidad del suelo. En este modelo prácticamente no existe un comportamiento inelástico de la estructura.

Los resultados encontrados en los modelos EDS y EDAD muestran que si no se considera el efecto ISE no existen requerimientos de ductilidad en ninguno de los modelos de la torre (fig. 32 y 35), pero al considerar la flexibilidad del suelo se presentan requerimientos de ductilidad significativos.

En las figs. 38 a 43 se presentan las respuestas de los modelos EPRE1 y EPRE2, en donde se aprecian que se eliminan prácticamente los requerimientos de ductilidad en todos los niveles de las torres para los casos en que se considere o no el efecto de ISE.

Cortantes de entrepiso

En la fig. 44 se presentan las envolventes de cortantes que se encontraron con las diferentes alternativas de análisis sin considerar el efecto interacción suelo-estructura. En la figura se aprecia que en la base de los modelos (nivel 1) se presentaron los mayores cortantes de entrepiso, lo que nos sugiere que la respuesta de los modelos estuvo asociada al modo fundamental de vibrar de los mismos.

El modelo EPRE1 es el que tiene mayor fuerza cortante en la base, dada la prácticamente nula disipación de energía histerética de este sistema. Se aprecia que el menor cortante de entrepiso es el que tiene el modelo EE, lo que indica que la disipación de energía de este sistema es significativa, por lo que el concepto de formación de articulaciones plásticas en vigas y no en columnas se antoja válido, aunque se presenta la desventaja de un posible daño en elementos estructurales.

En todos los niveles de los sistemas EDS y EDAD presentan prácticamente el mismo valor de cortante entre sí, con una reducción del 10 por ciento con respecto al modelo EDA. Esto nos muestra que al menos en este aspecto, no existe una reducción significativa en la respuesta de los sistemas provistos de dispositivos.

En la fig. 45 se muestran las envolventes de cortantes de los modelos al considerar los efectos de interacción suelo-estructura, donde se aprecia que los cortantes de los modelos tienen un incremento significativo con respecto a los que se presentan con base empotrada, con excepción del modelo EE, que incluso tiene una reducción del cortante del 6 por ciento.

Indices de energía histerética

Con el fin de tener una evaluación cuantitativa de la energía histerética en cada uno de los niveles de las torres se calculó el área acumulada dentro de los ciclos histeréticos para cada uno de los modelos

analizados. Al area acumulada dentro de los ciclos histeréticos "(IEH)", cuyos valores se resumen en la tabla 2.

Al analizar los IEH que se calcularon para el modelo EE se aprecia que el intervalo con mayor energía disipada se encuentra entre los niveles 2 a 5, lo cual se relaciona con las ductilidades demandadas en esos niveles. Sin embargo, donde si existe una diferencia notable es cuando se comparan los indices con base empotrada con respecto a los de base flexible, sobre todo en el nivel 3, ya que existe prácticamente el doble de energía histerética disipada si no se considerara la flexibilidad del suelo, a pesar de que los requerimientos de ductilidad son prácticamente iguales en este nivel.

En la tabla 2 se aprecia que, con excepción del modelo EE, el efecto de interacción suelo-estructura incrementa notablemente los IEH en todos los modelos analizados, encontrándose una buena correlación entre estos indices y la formación de articulaciones plásticas, máximos desplazamientos de entrepiso y demandas de ductilidad.

CONCLUSIONES FINALES

La importancia del efecto de la interacción suelo-estructura queda de manifiesto en los modelos estudiados, siendo particularmente importante en aquellos cuyas características dinámicas se encuentran cercanas a la condición de resonancia, causando un incremento en su respuesta y mayor número de articulaciones plásticas y demandas de ductilidad en sus elementos estructurales.

En el diseño de estructuras con disipadores de energía, se debe poner especial atención en considerar la flexibilidad del suelo, de lo contrario la respuesta esperada puede sufrir serias alteraciones. Para acotar los periodos estructurales en los que se puede presentar este efecto desfavorable se requiere analizar un estudio con mayor énfasis en este problema.

Los índices de energía histerética permitieron evaluar cuantitativamente la energía disipada por los diversos sistemas analizados por lo que puede ser un buen indicador de las zonas potenciales de daño en una estructura, aunque sería necesario estudiar índices que consideren la degradación de rigidez y resistencia de los diferentes elementos de la estructura.

REFERENCIAS

- [1] Skinner, R I, Kelly, J M and Heine, A J (1975-b), "Hysteretic Dampers for Earthquake Resistant Structures", *Earth Eng Struct Dyn*, Vol 3, pp 287-296.
- [2] Aguirre, M y Sánchez, R, "Pruebas de Elementos Disipadores de Energía Sísmica", *IMCYC*, marzo 1989.
- [3] Martínez, E (1990), "Mejoramiento de la Respuesta Sísmica de Edificios Dañados, Mediante la Acción de Disipadores de Energía", *Memorias del Seminario sobre Instrumentación Sísmica y Uso de Elementos Disipadores de Energía en el Comportamiento Estructural*, México, D.F., pp 211-248.
- [4] Robinson, W H and Greenbank, L R (1975), "Properties of an Extrusion Energy Absorber", *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, Vol. 8, No. 3, pp 187-191.
- [5] Lin, B C and Tadjbakhsh, I (1986), "Effect of Vertical Motion of Friction-Driven Isolation System", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 14, pp 609-622.
- [6] Megget, L M (1978), "Analysis and Design of a Base-Isolated Reinforced Concrete Frame Building", *Bull New Zealand Nat Soc Earth Eng*, Vol 2, No 4, pp 245-254.
- [7] Korenev, B G and Reznikov, L M (1988), "Vibration Dynamic Dampers Theory and Technical Additions", *Physical and Mathematical Literature*, Moscow.
- [8] Warburton, G B and Soni, S R (1977), "Errors in Response Calculation of Non-Classically Damped Structural Dynamics", *J*

Earth Eng Struct Dyn, Vol 5, pp 363-375.

- [9] Akbay, Z and Aktan, H M (1990), "Intelligent Energy Dissipation Devices", *Proceedings of Fourth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Palm Springs, California, pp 427-435.

- [10] Hanson R. D. and Fan R. S. W. "The effectt of minimum cross bracig on the inelastic response of multi-story buildigs", *Proceedings of Fourth World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago ,Chile 1969.

- [11] Filiatrault, A, Cherry, M and Byrne, P M (1990), "The Influence of México City Soils on the Seismic Performance of Friction Damped and Base Isolated Structures", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 2, pp 335-352.

- [12] Lee, D M and Medland, I C (1978-b), "Estimation of Base Isolated Structure Response", *Bull N Z Nat Soc Earth Eng*, Vol 11, No 4, pp 234-244.

- [13] Aguirre, M y Sánchez, R, "Disipadores de Energía Sismica", *Construcción y Tecnología*, Vol. III, No. 27, pp 15-19, 1990.

- [14] Alonso, J L (1989), "Mechanical Characteristics of X-Plate Energy Dissipators", *CE 299 Report*, University of California at Berkeley.

- [15] Das B. M. "Fundamentals of soil dynamics", Elsevier, NewYork, Amsterdam and Oxford, 1983.

- [16] Reséndiz, D., Spingall, G., Rodríguez, J.M. and Esquivel, R. Recent Information About Subsoil Characteristics and Foundation Engineering Practice in Mexico City, V Reunion Nactional de Mecanica de Suelos, Mexico, 1970.

- [17] Wilson E. Habibullah A. "SAP-90: Structural analysis programs. A series of computer programs of computer programs for the static and dynamic finite element analysis of structures", Computers and Structures Inc. en Berkeley, California, agosto 1984.
- [18] Kanaan A. y Powell G. "Drain-2D: General purpose plane structures". Informe UBC/EERC-73/6, Universidad de California en Berkeley, USA, abril 1973.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco en forma especial el tener como Director de Tesis y amigo a Ricardo Gonzalez Alcorta que me ayudó, dirigió y aconsejó para la realización y culminación de este trabajo.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM por el apoyo que se me ofreció para poder realizar este trabajo.

A mis compañeros Jose Manuel Jara y Efraín Vargas por sus comentarios a este trabajo.

A todas las personas que confiaron en mí para realizar con mi mayor esfuerzo este trabajo.

Se agradece al Centro de Investigación Sísmica y a al Ing. Luis Vietez la oportunidad brindada para la realización de este trabajo.

TABLAS Y FIGURAS

MODELO	PERIODOS (s)									
	EE	EDA	EDS		EDAD		EAB		EPRE1	EPRE2
			T_o	T_f	T_o	T_f	T_o	T_f		
SIN EFECTO ISE	1.88	1.01	1.01	1.56	1.03	1.57	1.12	1.93	1.48	1.06
CON EFECTO ISE	2.27	1.63	1.63	2.07	1.64	2.02	1.73	2.27	1.95	1.66

T_o = Periodo antes de la cedencia de los sistemas de disipacion

T_f = Periodo despues de la cedencia de los sistemas de disipacion

TABLA 1. PERIODOS DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

MODELOS	EE		EAB		EDA		EDS		EDAD		EPRE1		EPRE2	
ENTREPISO	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.	B.E.	B.F.
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.185	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.286	0.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.513	0.486	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.844	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.656	0.331	2.186	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1.609	1.689	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	3.672	0.565	3.463	0.000	0.000	0.000	0.000
5	7.326	6.250	0.068	0.000	0.000	0.000	0.293	6.655	0.773	5.896	0.000	0.000	0.000	0.000
4	17.852	12.907	0.106	0.140	0.000	0.963	0.685	10.235	0.518	8.691	0.000	0.000	0.000	0.000
3	22.979	12.934	0.069	0.356	0.024	1.992	1.120	13.954	0.670	11.792	0.000	0.302	0.000	0.363
2	15.069	8.281	0.086	0.513	0.018	2.501	1.261	11.876	0.979	11.837	0.000	0.383	0.000	0.630
1	3.869	3.085	0.035	0.825	0.029	1.468	0.497	6.504	0.427	5.845	0.000	1.100	0.000	0.950

B.E. = Base espartada
B.F. = Base flexible

Unidades Ton/a

TABLA 2 INDICES DE ENERGIA

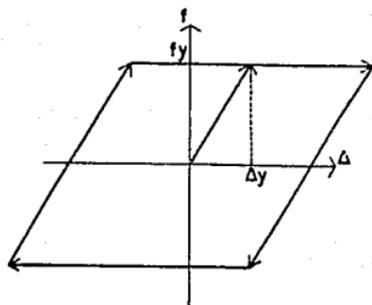


FIG. 1 COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO

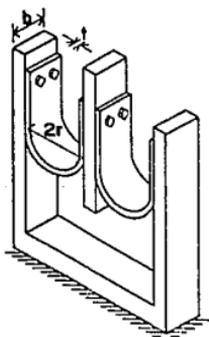
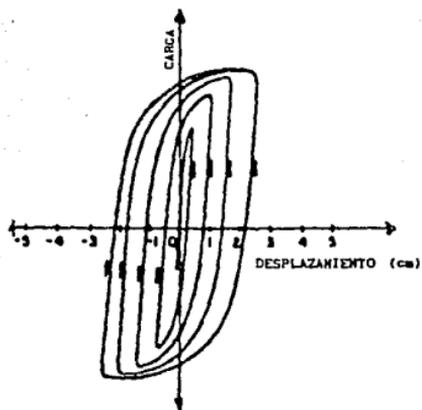


FIG. 2 DISPOSITIVOS EN FORMA DE "U"



EVOLUCION DEL CICLO HISTERETICO DEL DISPOSITIVO

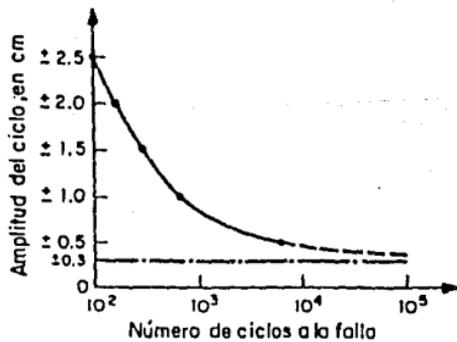
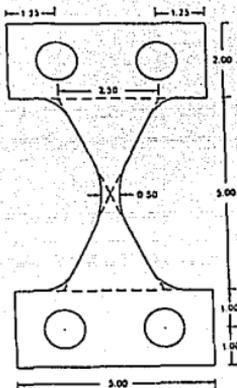
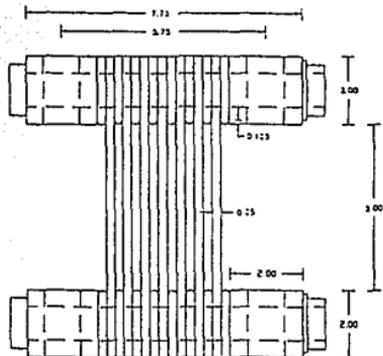


FIG. 3 CURVA DE FATIGA DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA



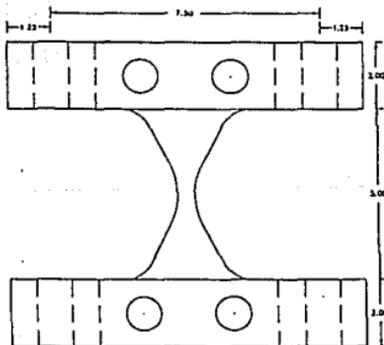
Dimensiones en pulgadas

Placa X - elevación



Dimensiones en pulgadas

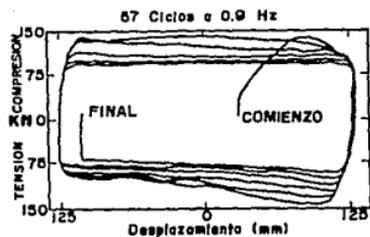
Elementos ADAS - vista lateral



Dimensiones en pulgadas

Elemento ADAS - vista frontal

FIG. 4 DISPOSITIVO ADAS



COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR
POR ESTRUSION



FIG. 5 DISIPADOR POR ESTRUSION

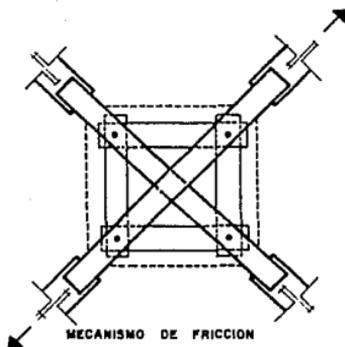
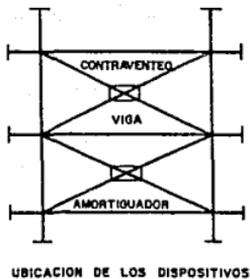


FIG. 6 DISIPADOR DE ENERGIA DE FRICCION

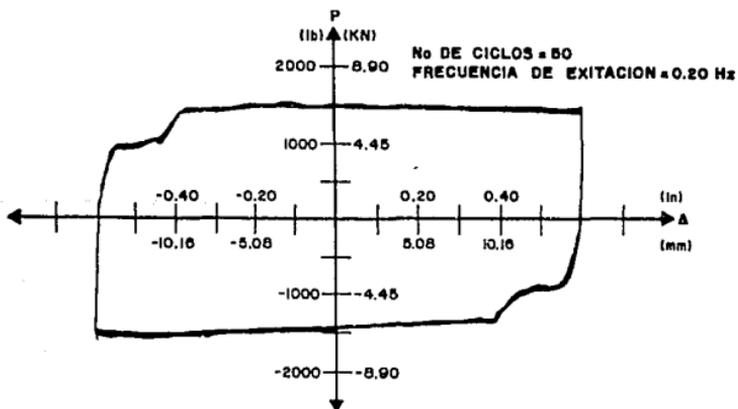
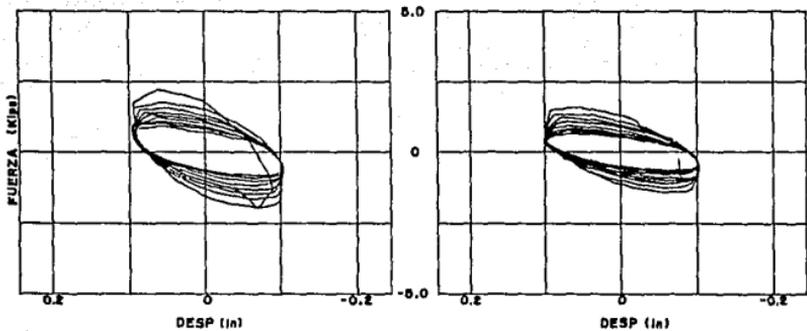


FIG. 7 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISPOSITIVO DE FRICCION



(i) T = 22.9°C

(ii) T = 25.5°C

COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISPOSITIVO VISCOELASTICO

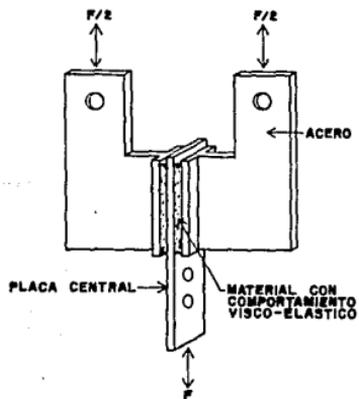


FIG. 8 DISIPADOR CON COMPORTAMIENTO VISCOELASTICO

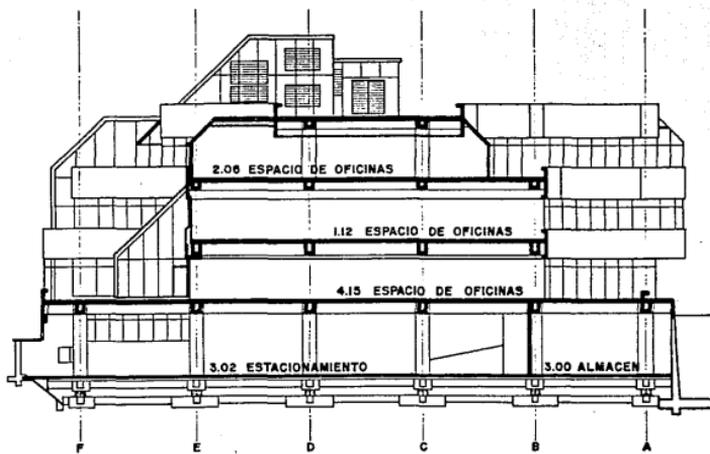


FIG. 9 SECCION TRANSVERSAL DE UN EDIFICIO CON AISLADORES DE
BASE DE CORAZON DE PLOMO

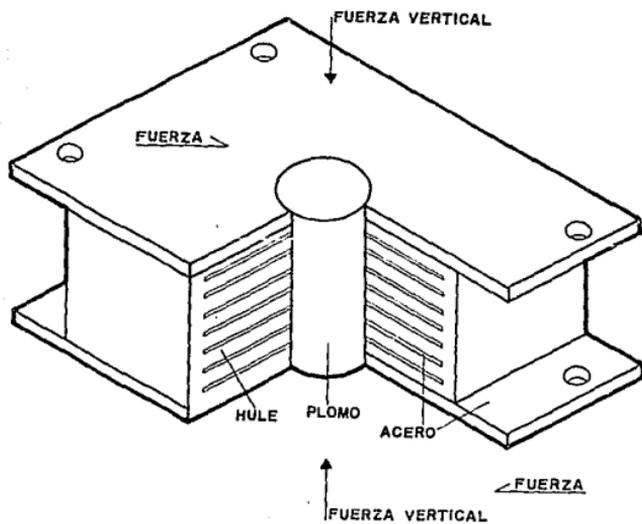
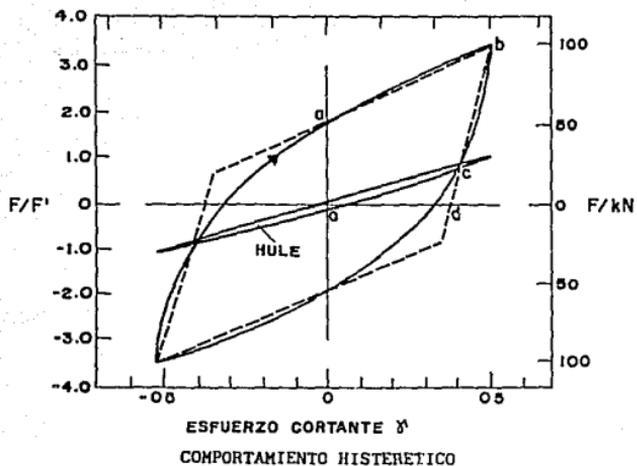


FIG. 10 AISLADOR DE BASE CON CORAZON DE PLOMO

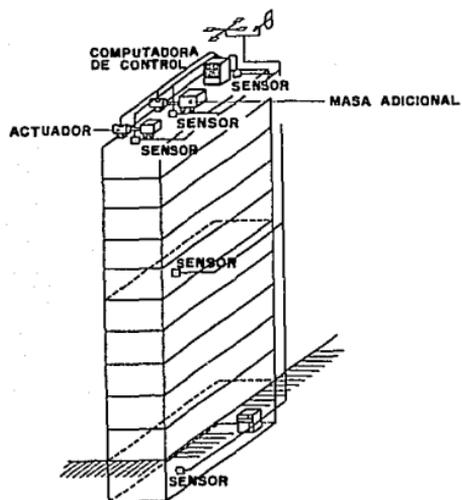


FIG. 11 SISTEMA MASA ACTIVA

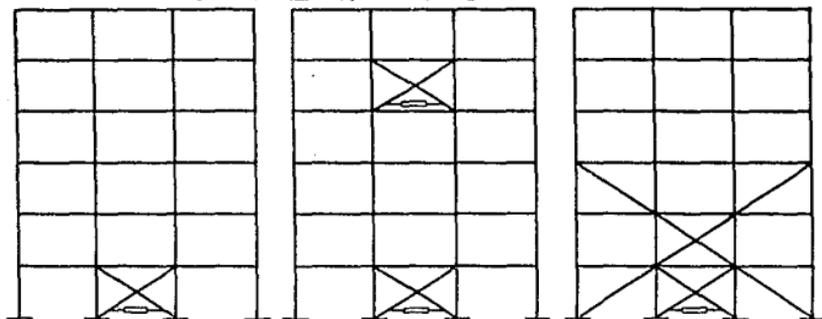
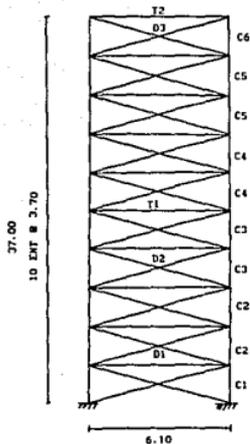


FIG. 12 SISTEMA DE TENDONES ACTIVOS EN UN MODELO ESTRUCTURAL DE SEIS NIVELES



$$M_{10} = 1.039 \frac{\text{ton}\cdot\text{m}^2}{\text{m}}$$

$$M_{1-9} = 2.0782 \frac{\text{ton}\cdot\text{m}^2}{\text{m}}$$

acotación: m

COLUMNAS	Tipo	A(m ²)	A _c (m ²)	I(m ⁴)	S _x (m ³)
C1	W14x136	0.0258	0.0215	0.000662	0.003540
C2	W14x119	0.0226	0.0188	0.000570	0.003097
C3	W14x103	0.0195	0.0163	0.000487	0.002697
C4	W14x78	0.0148	0.0123	0.000354	0.001983
C5	W14x53	0.0101	0.0084	0.000226	0.001275
C6	W14x34	0.0065	0.0054	0.000142	0.000796

TRABES

T1	W18x60	0.0114	0.0095	0.000410	0.001770
T2	W18x50	0.009484	0.0079	0.000334	0.001460

DIAGONALES

Tipo	A(cm ²)
D1	21.81
D2	18.97
D3	18.58

FIG. 13 CARACTERISTICAS DEL MODELO

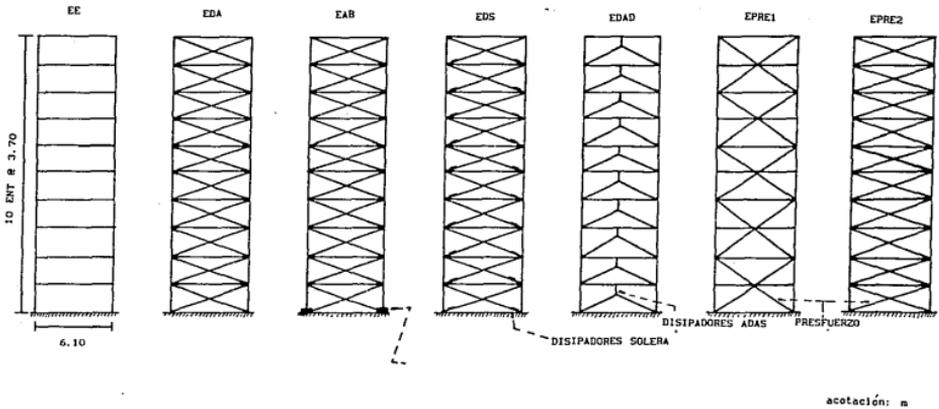
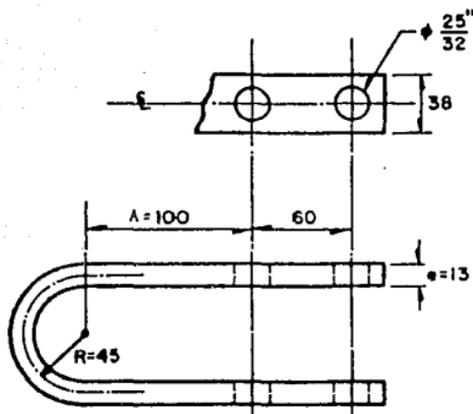


FIG. 14 DESCRIPCION DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES



Acotaciones en mm

FIG. 15 CONFIGURACION DEL DISPOSITIVO EN "U"

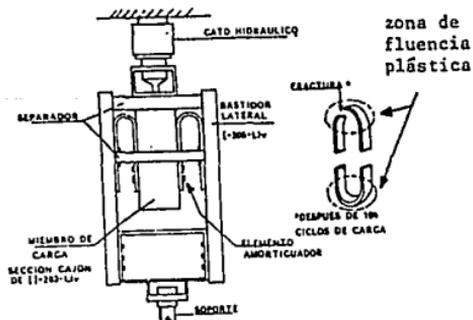


FIG. 16 MARCO DE CARGA PARA PROBAR LAS SOLERAS DE ACERO

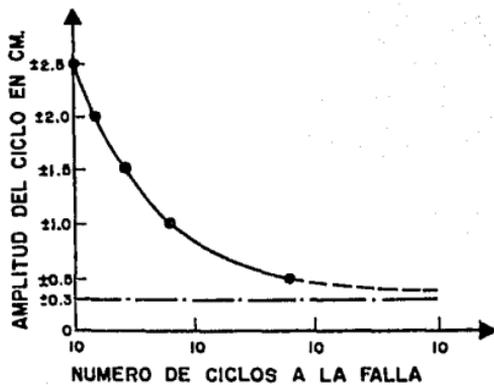


FIG. 17 CURVA DE FATIGA DE DISPOSITIVO "U"

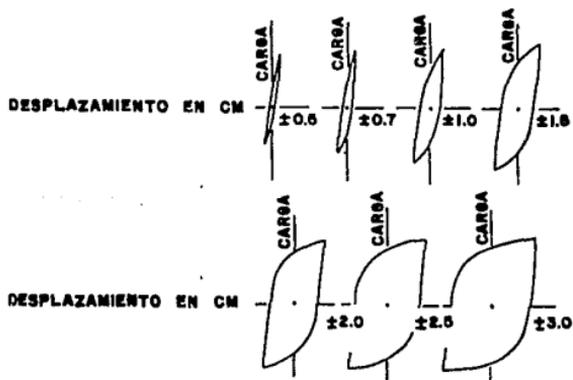


FIG. 18 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DE LOS DISPOSITIVOS EN FORMA DE "U"

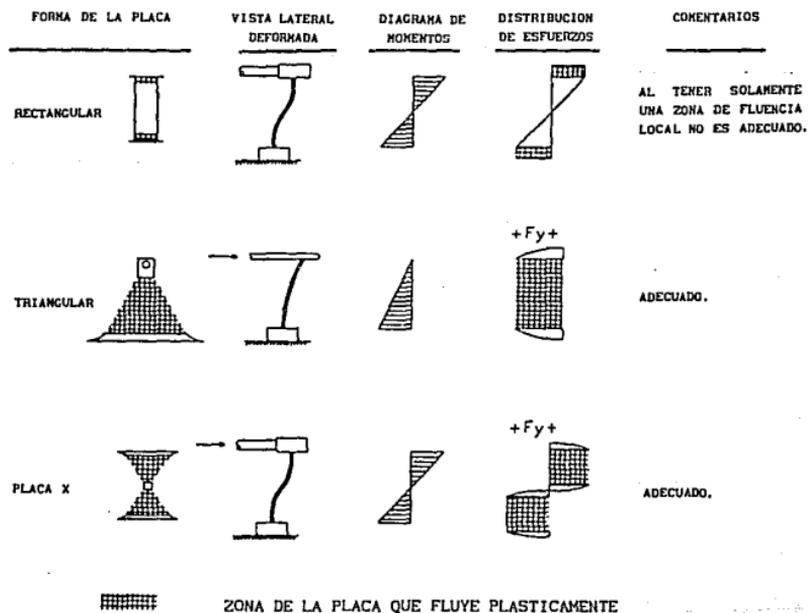


FIG. 19 CONCEPTO DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA A BASE DE LA FUERZA PLASTICA EN PLACAS DE ACERO

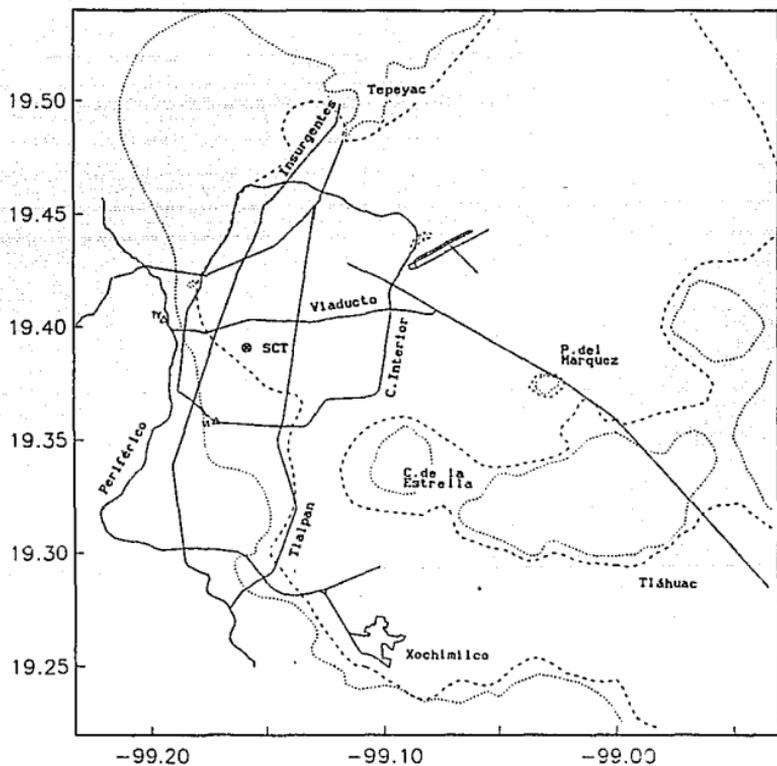


FIG. 20 LOCALIZACION DE LA ESTACION ESTUDIADA EN EL VALLE DE MEXICO

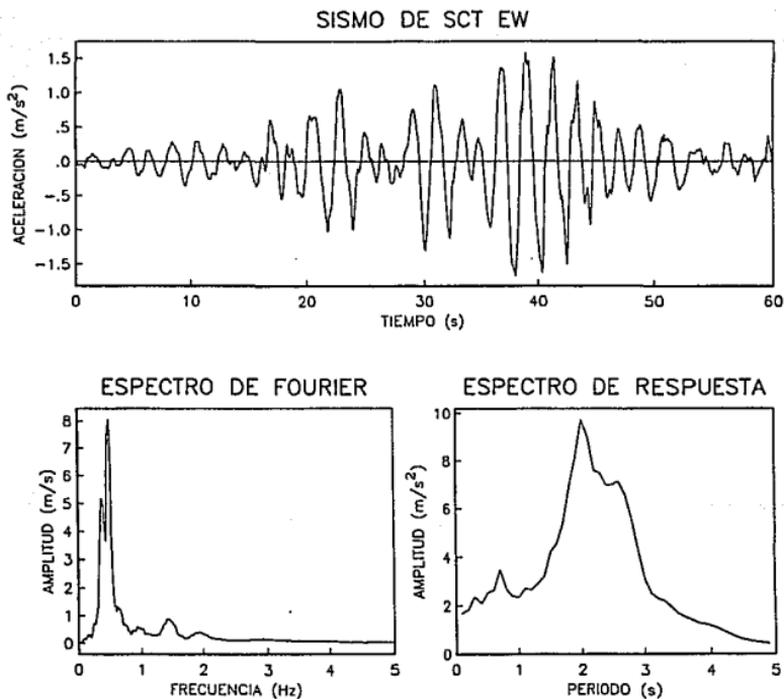


FIG. 21 CARACTERISTICAS DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985 REGISTRADO EN LA ESTACION DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

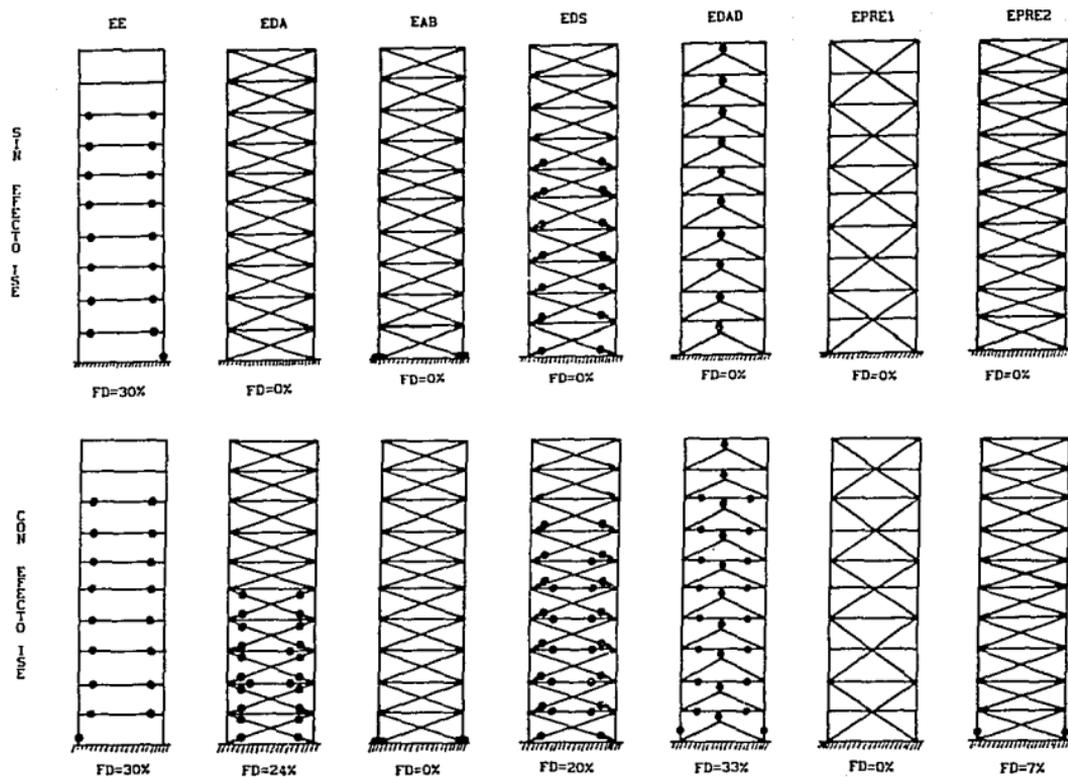


FIG. 22 DISTRIBUCION DE DAÑO ESTRUCTURAL EN LOS MODELOS ESTUDIADOS

TORRE EE

--- CON ISE
 - - - SIN ISE

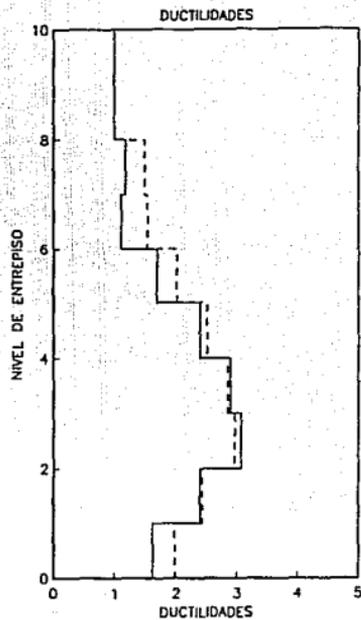
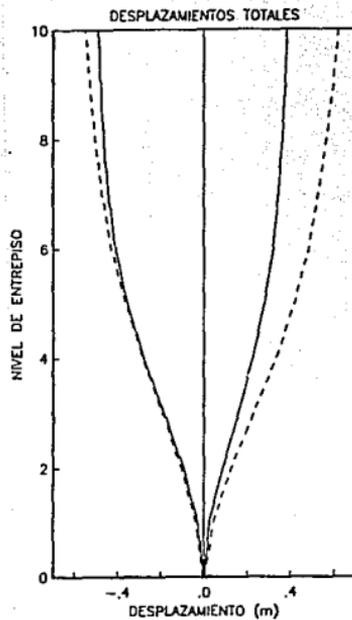
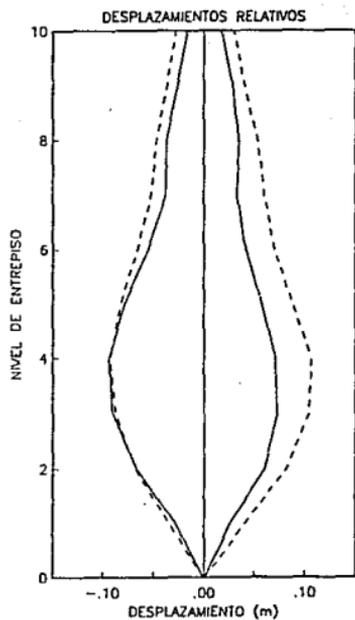


FIG. 23 RESPUESTA DEL MODELO EE

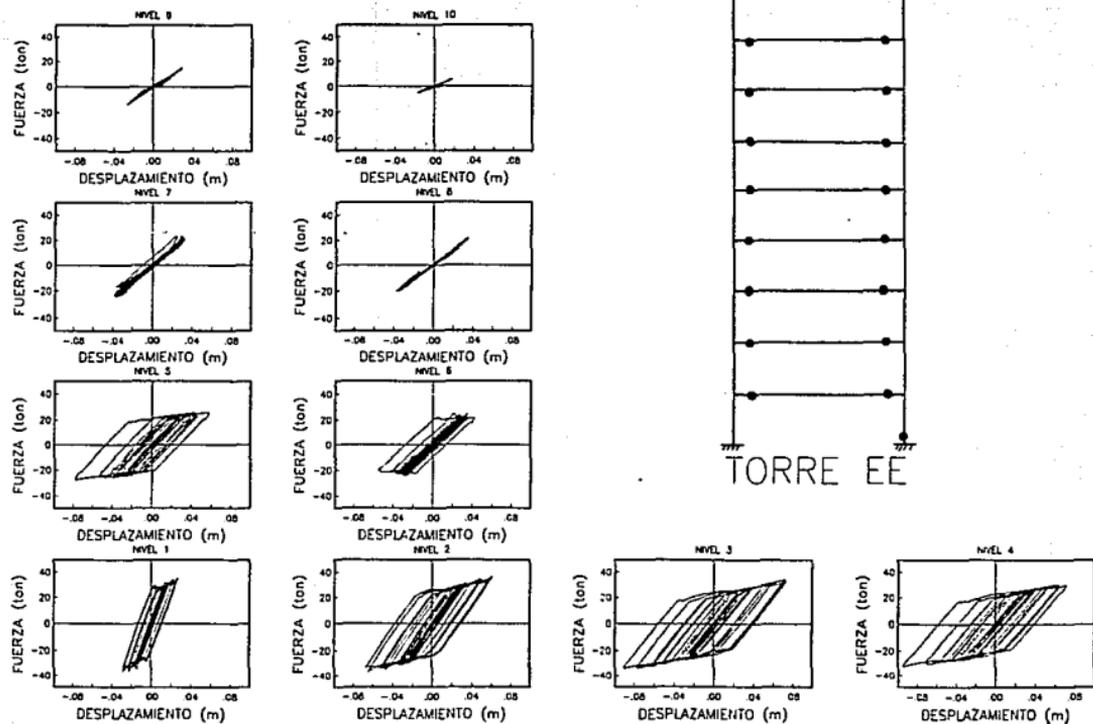


FIG. 24 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EE

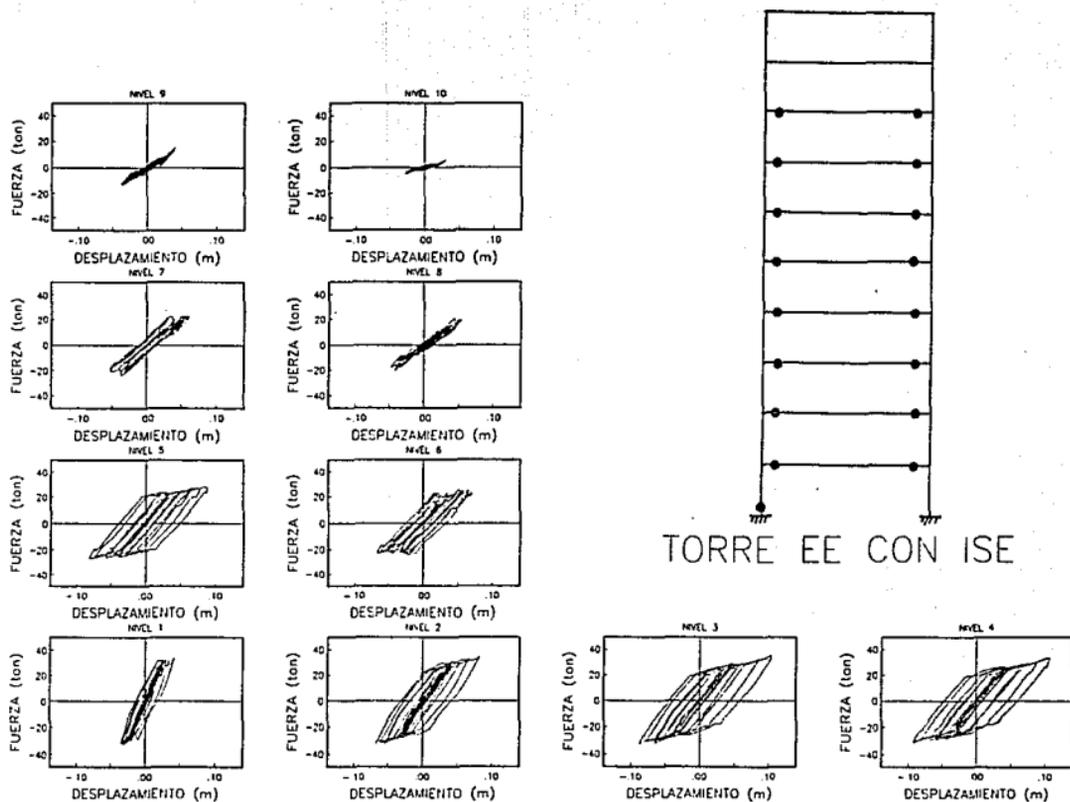


FIG. 25 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EE
CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EDA

--- CON ISE
— SIN ISE

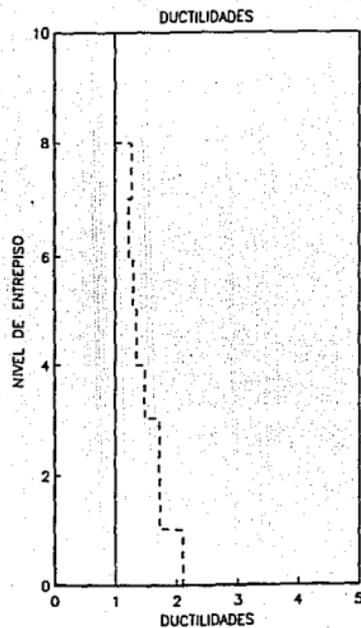
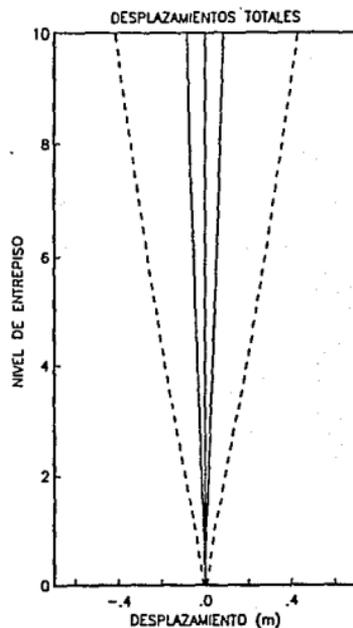
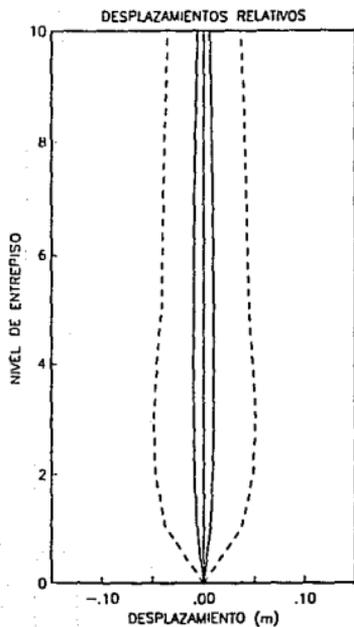


FIG. 26 RESPUESTA DEL MODELO EDA

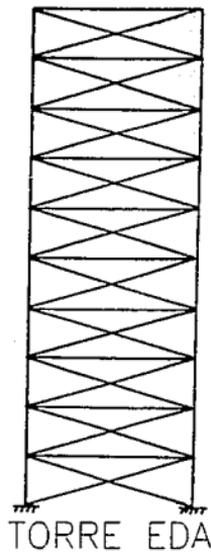
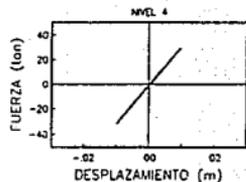
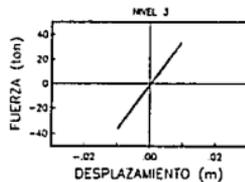
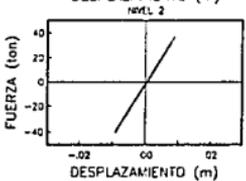
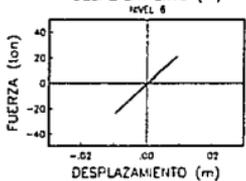
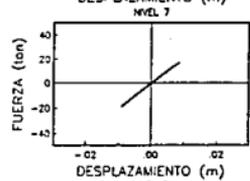
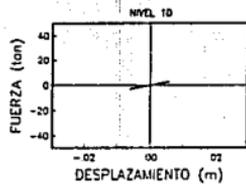
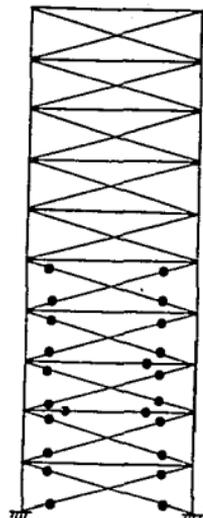
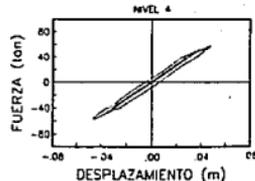
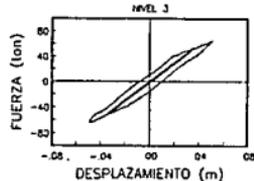
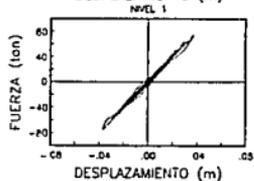
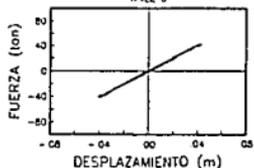
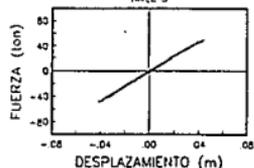
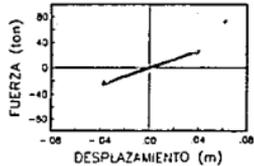
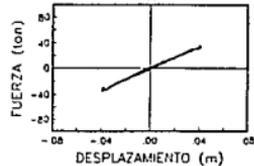
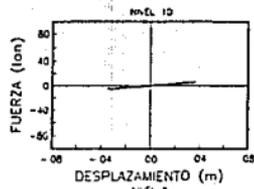
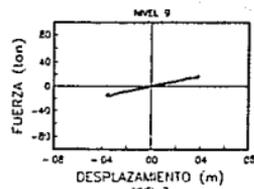


FIG. 27 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDA



TORRE EDA CON ISE

FIG. 28 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDA CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EAB

- - - CON ISE
SIN ISE

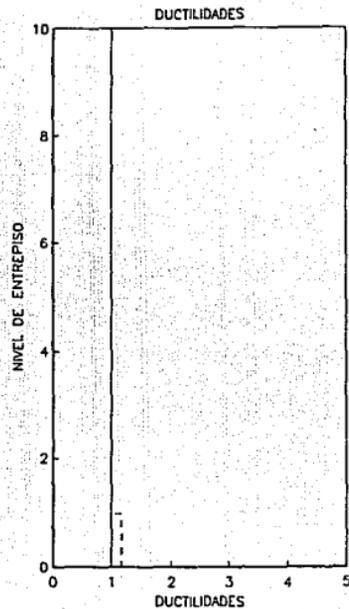
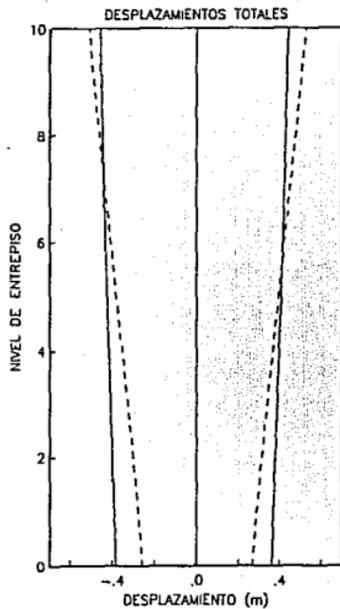
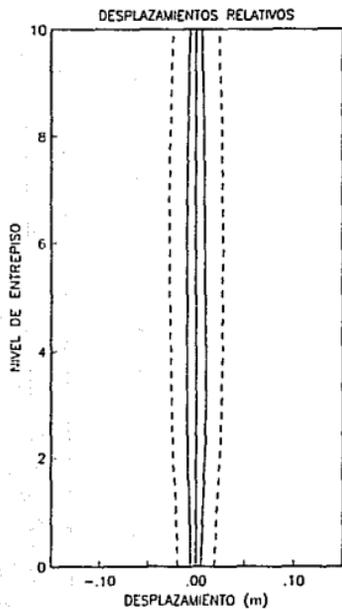
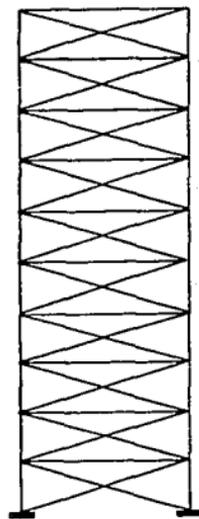
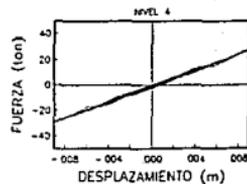
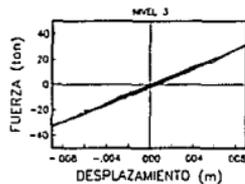
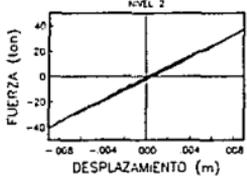
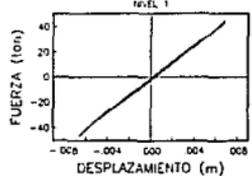
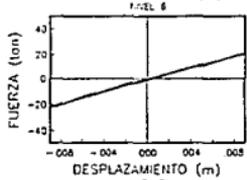
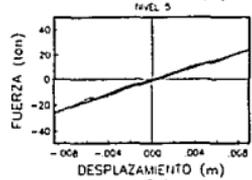
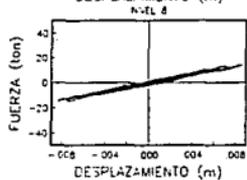
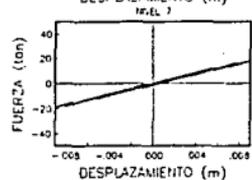
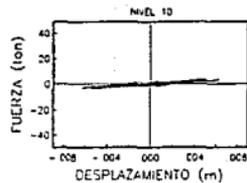
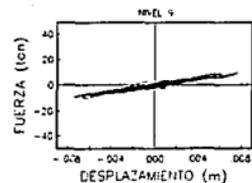
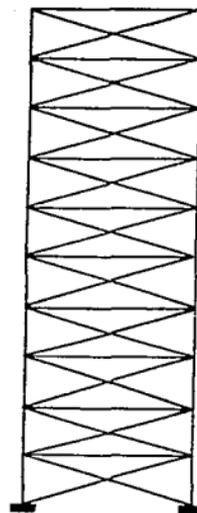
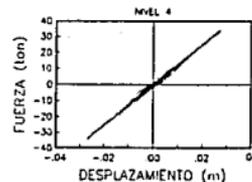
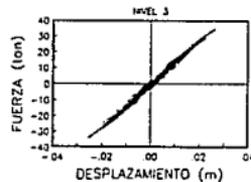
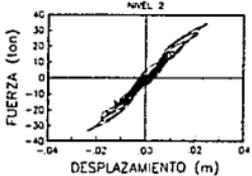
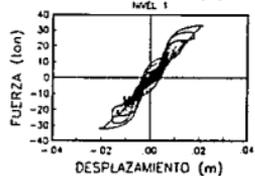
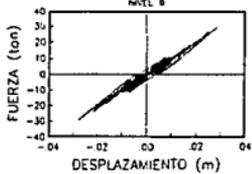
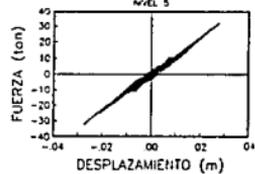
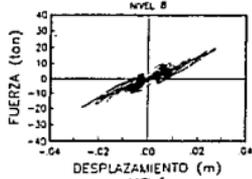
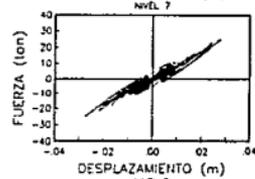
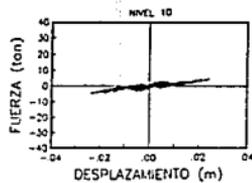


FIG. 29 RESPUESTA DEL MODELO EAB



TORRE EAB

FIG. 30 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EAB



TORRE EAB CON ISE

FIG. 31 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EAB CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EDS

--- CON ISE
 --- SIN ISE

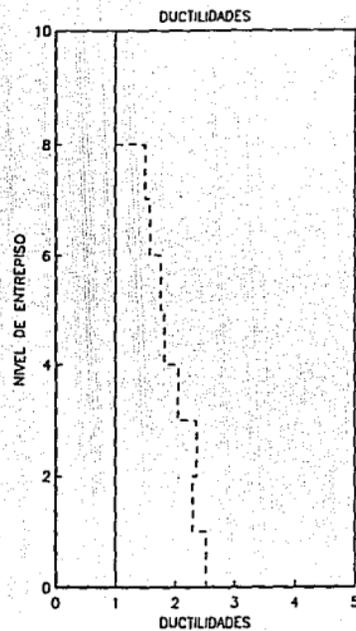
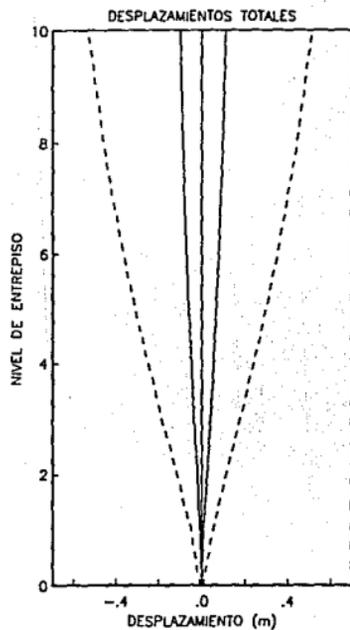
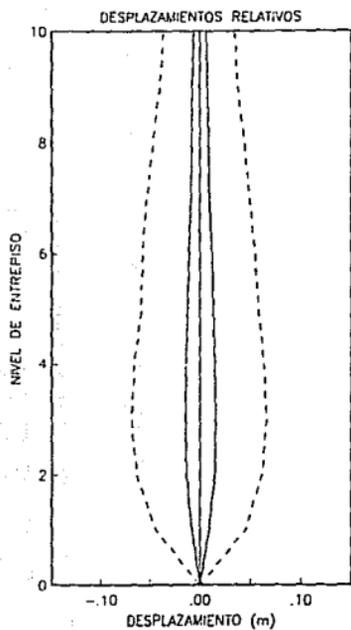
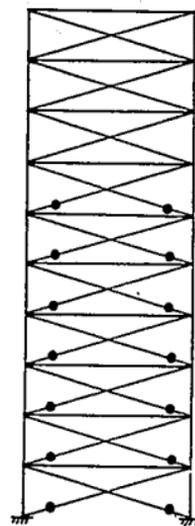
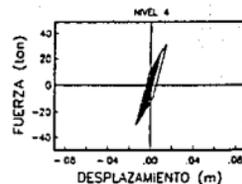
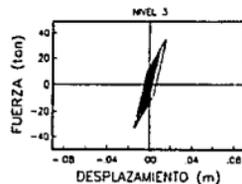
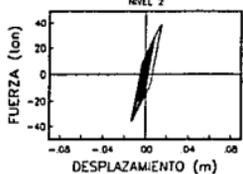
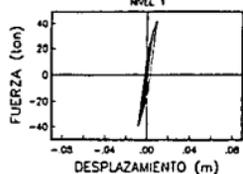
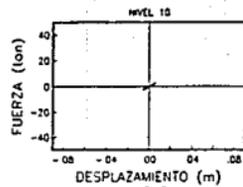
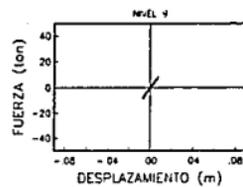


FIG. 32 RESPUESTA DEL MODELO EDS



TORRE EDS

FIG. 33 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDS

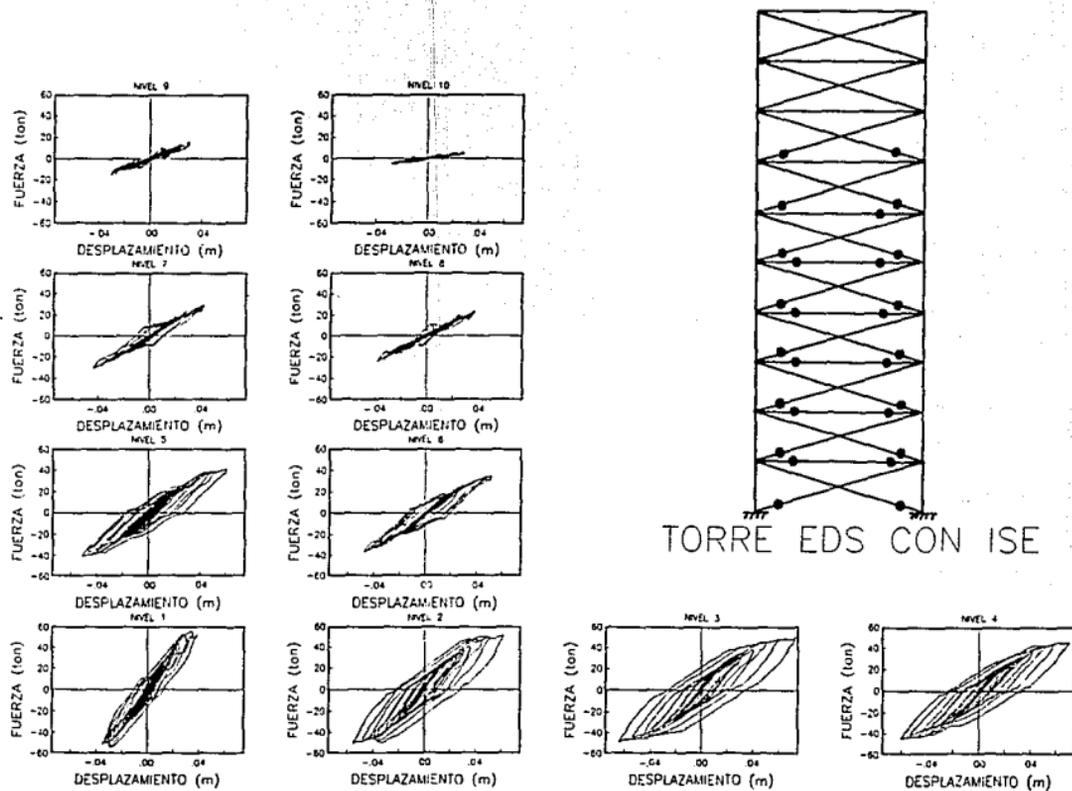


FIG. 34 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDS CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EDAD

--- CON ISE
— SIN ISE

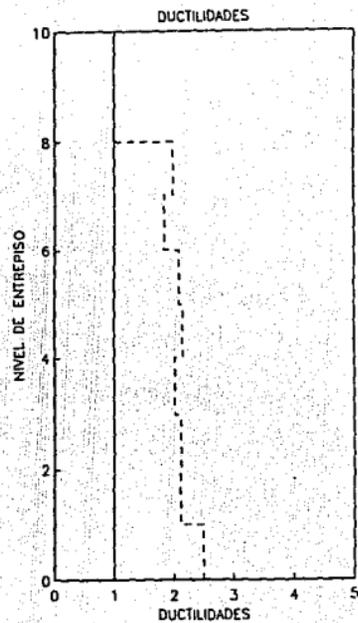
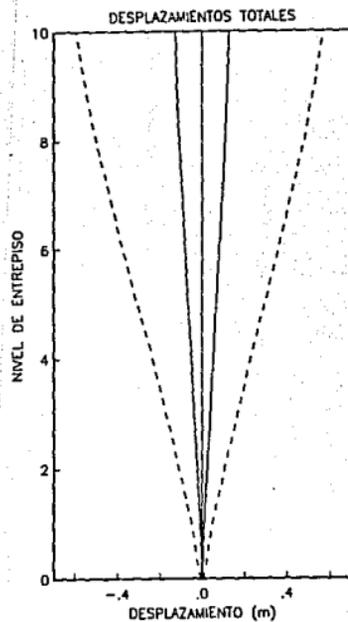
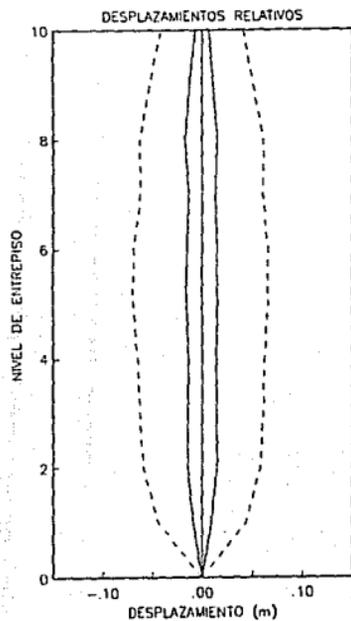


FIG. 35 RESPUESTA DEL MODELO EDAD

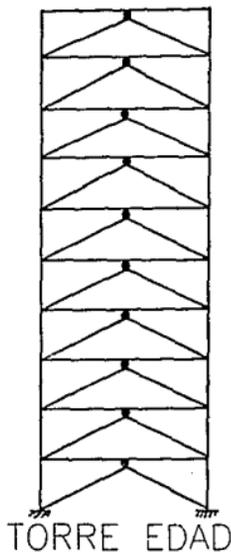
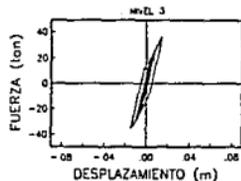
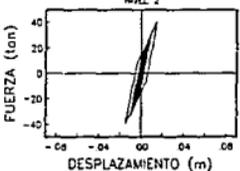
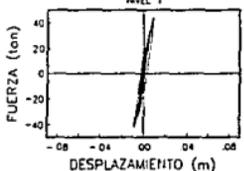
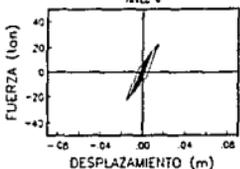
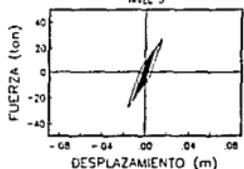
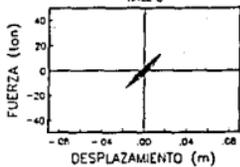
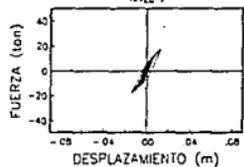
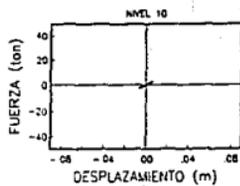


FIG. 36 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDAD

ESTÁ
TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

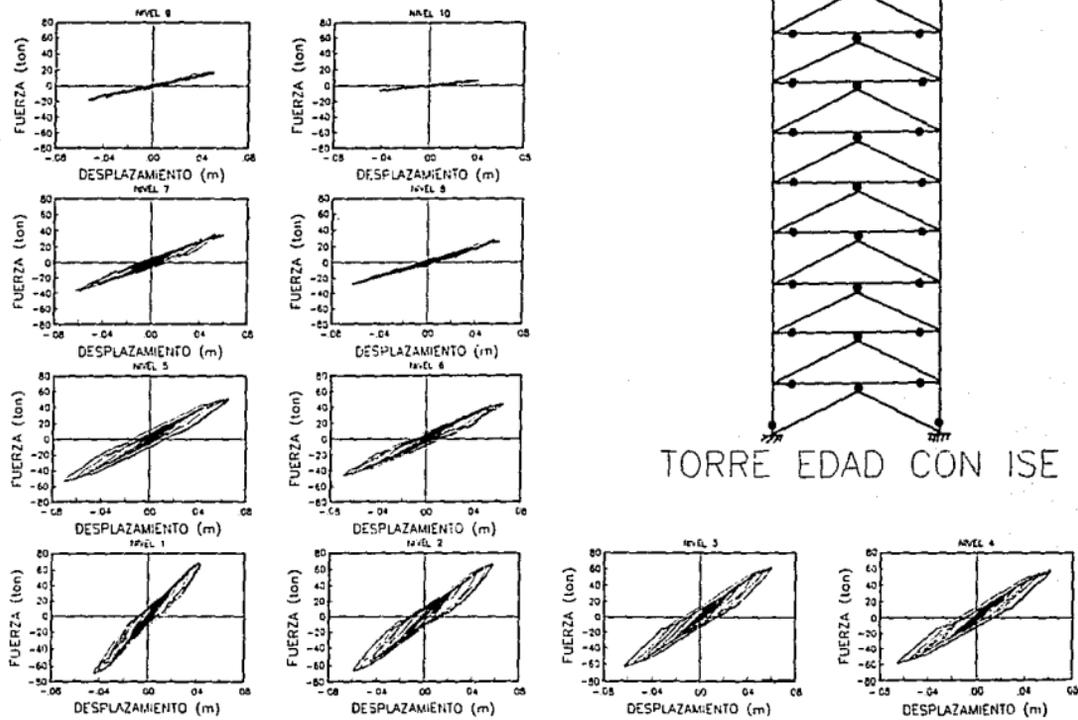


FIG. 37 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EDAD CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EPRE1

--- CON ISE
— SIN ISE

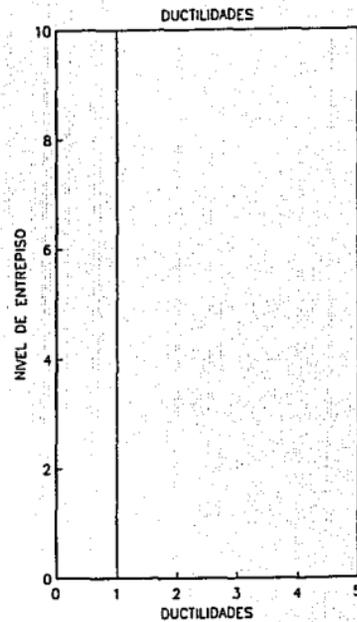
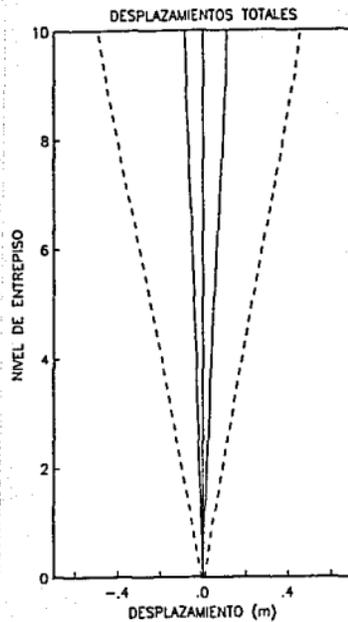
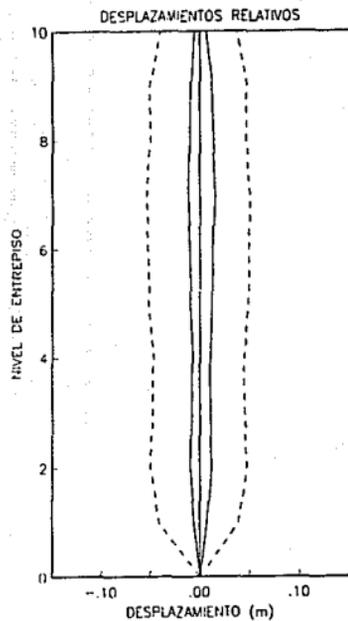


FIG. 38 RESPUESTA DEL MODELO EPRE1

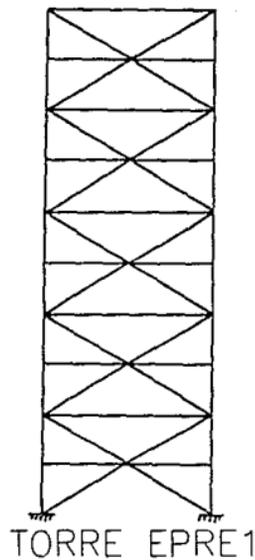
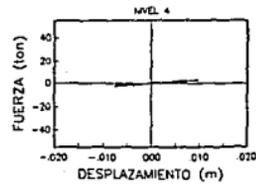
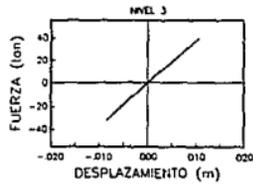
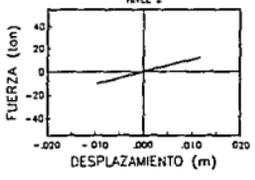
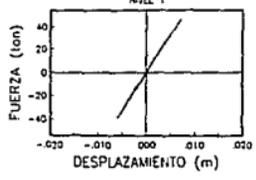
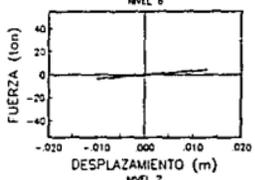
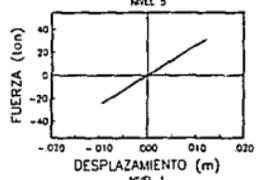
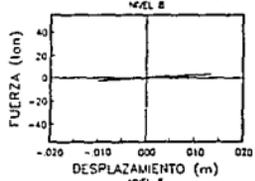
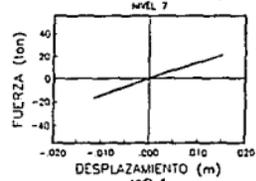
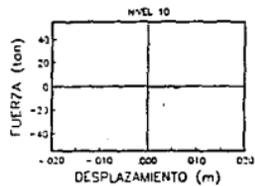
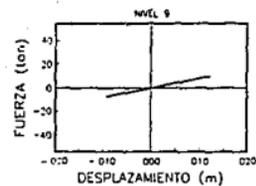
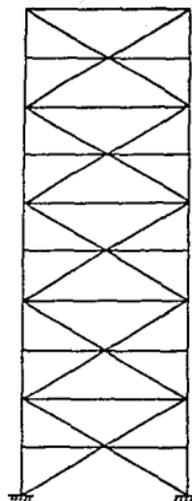
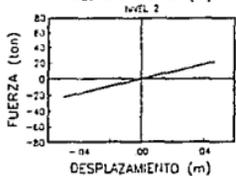
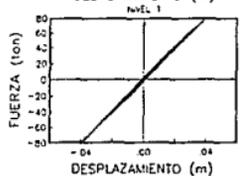
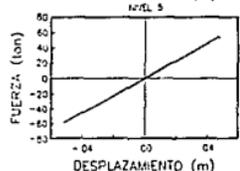
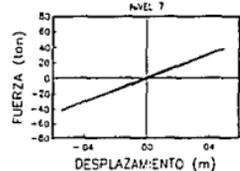
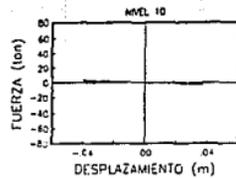
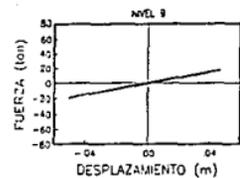


FIG. 39 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EPRE1



TORRE EPRE1 CON ISE

FIG. 40 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EPRE1 CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

TORRE EPRE2

--- CON ISE
— SIN ISE

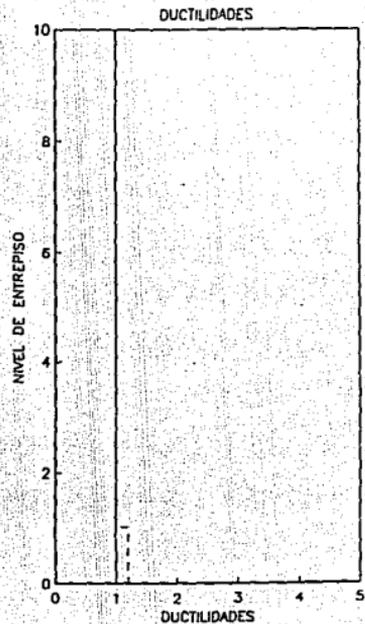
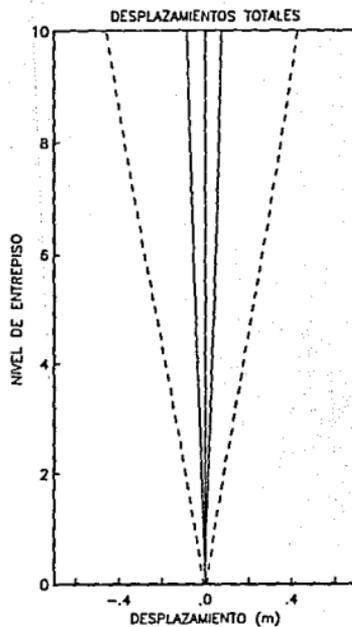
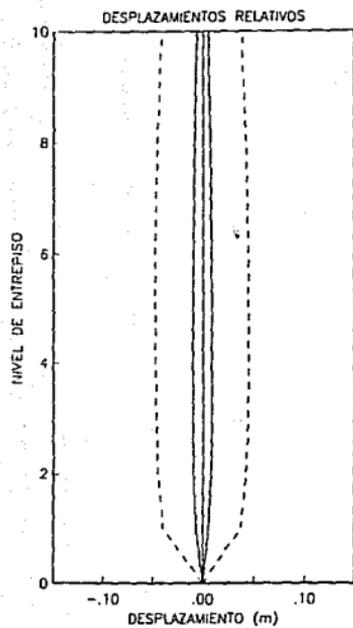


FIG. 41 RESPUESTA DEL MODELO EPRE2

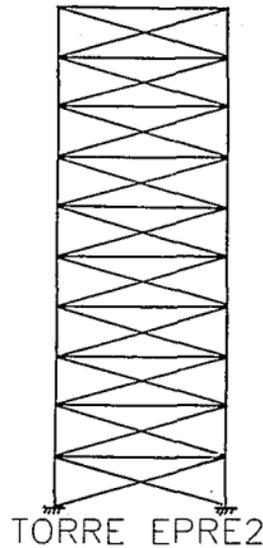
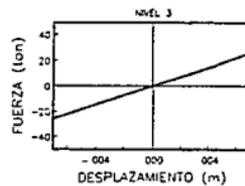
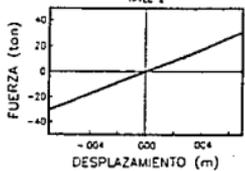
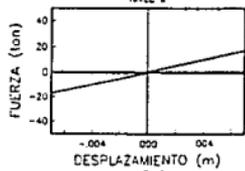
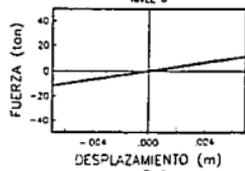
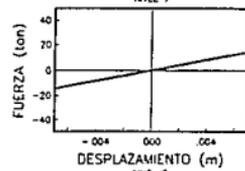
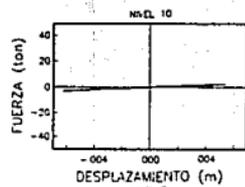
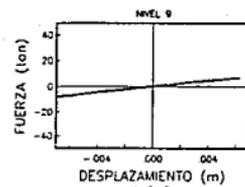
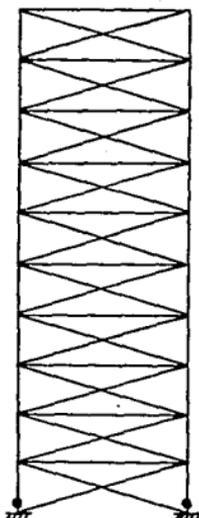
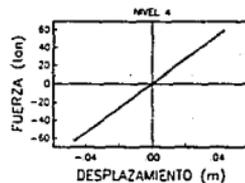
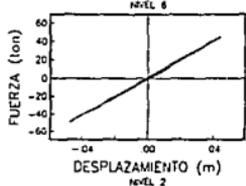
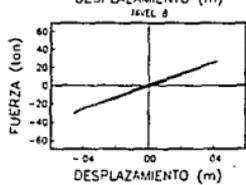
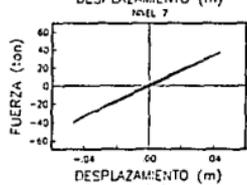


FIG. 42 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EPRE2



TORRE EPRE2 CON ISE

FIG. 43 COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL MODELO EPRE2 CON INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

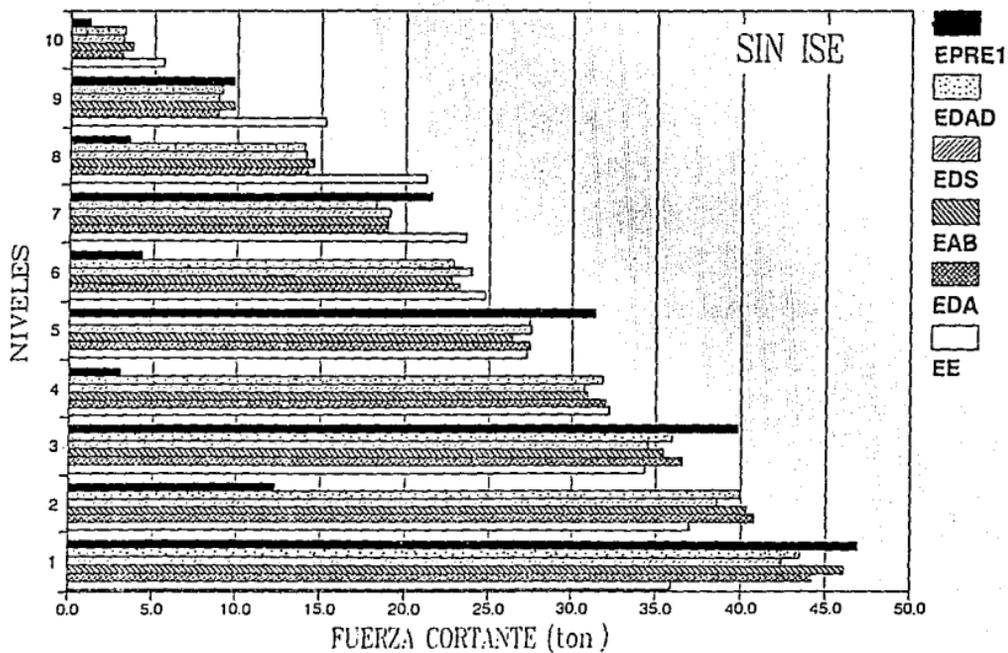


FIG. 44 CORTANTES MAXIMOS DE ENTREPISO PARA LOS MODELOS ANALIZADOS SIN CONSIDERAR EL EFECTO SUELO-ESTRUCTURA

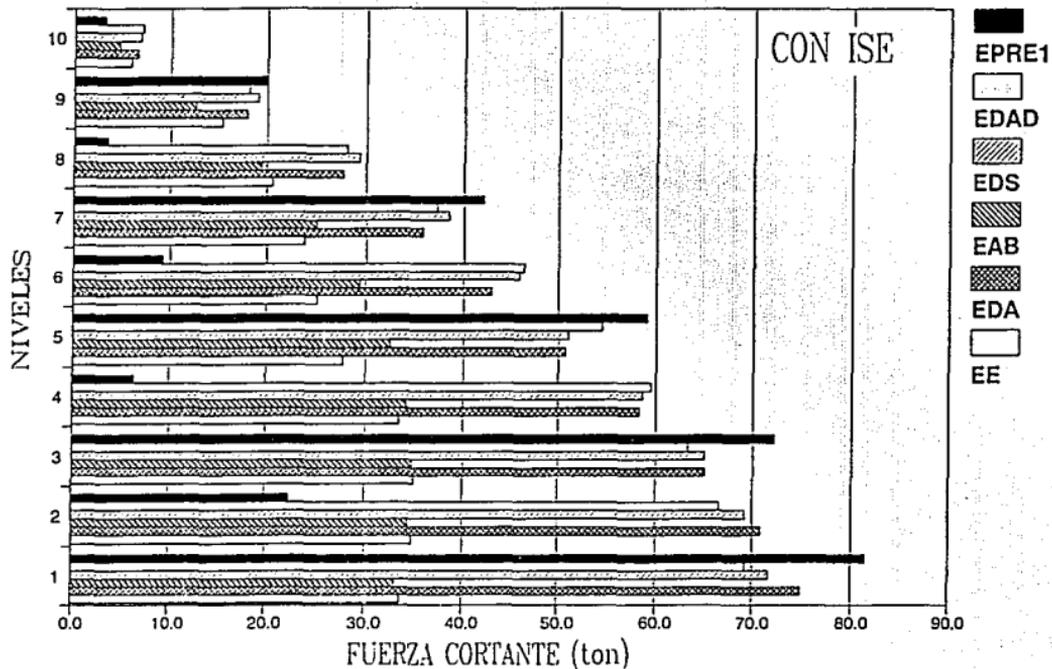


FIG. 45 CORTANTES MAXIMOS DE ENTREPISO PARA LOS MODELOS ANALIZADOS CONSIDERANDO EL EFECTO SUELO-ESTRUCTURA