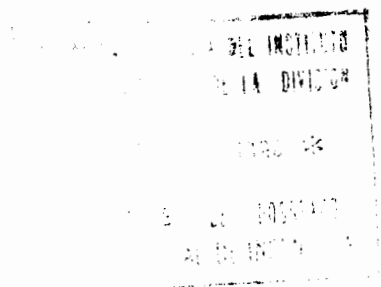


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



TRABAJO DE INVESTIGACION I

"Respuesta experimental de una estructura metálica de dos
niveles provista de dispositivos disipadores de energía"

ASESOR : Dr. David Muriá Vila
ALUMNO : Otilia Ramírez Castro
FECHA : Abril de 1991

INDICE

1. INTRODUCCION
 - 1.1 Antecedentes
 - 1.2 Objetivos
2. CARACTERISTICAS MECANICAS DEL SISTEMA DISIPADOR DE ENERGIA
 - 2.1 Generalidades
 - 2.2 Configuración y características
 - 2.3 Comportamiento histerético
 - 2.4 Comentarios
3. CARACTERISTICAS DINAMICAS DE LA MESA VIBRADORA
 - 3.1 Dimensiones generales
 - 3.2 Propiedades dinámicas
 - 3.3 Capacidad y limitaciones
4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PROTOTIPO
 - 4.1 Criterios de diseño
 - 4.2 Descripción del prototipo
5. RESPUESTA EXPERIMENTAL DEL PROTOTIPO
 - 5.1 Propiedades dinámicas de la estructura
 - 5.1.1 Vibración ambiental
 - 5.1.2 Vibración forzada
 - 5.1.3 Pruebas de impulso
 - 5.1.4 Comparación de resultados
6. RESPUESTA ANALITICA DE LA ESTRUCTURA
 - 6.1 Modelación matemática
 - 6.1.1 Comportamiento elástico
 - 6.1.2 Propiedades dinámicas del modelo elástico lineal
 - 6.1.3 Comportamiento inelástico
 - 6.2 Respuesta ante excitación armónica
 - 6.3 Respuesta ante excitación sísmica
7. COMENTARIOS FINALES

REFERENCIAS

TABLAS Y FIGURAS

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

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.

En investigaciones recientes se ha mostrado la conveniencia de suministrar dispositivos externos de disipación de energía a las estructuras, los cuales disminuyen las demandas de ductilidad en los sistemas estructurales [1]. Estos dispositivos pueden clasificarse, según su funcionamiento, como de control pasivo y de control activo.

DISPOSITIVOS DE CONTROL PASIVO. Se han desarrollado principalmente tres sistemas, estos son:

- Disipadores de energía
- Aisladores de base
- Osciladores resonantes

Disipadores de energía

Estos dispositivos basan su disipación de energía en el comportamiento histerético de sus elementos componentes, los cuales se ubican estratégicamente en diferentes puntos de una estructura.

Una variedad de mecanismos han sido creados bajo este concepto, destacando aquellos basados en la fricción [2] y en la deformación plástica de los metales [3].

Scholl propuso un dispositivo formado por acero y hule para ser instalado en el centro de contraventeos, cuyo comportamiento incrementa el amortiguamiento y rigidez del marco (fig 1).

Los mecanismos de fricción (fig 2) basan su funcionamiento en una especie

de balata de freno insertada entre placas de acero sometidas a una presión transversal, los cuales ya han sido empleados en diferentes experimentos con resultados muy satisfactorios [4].

Los mecanismos basados en la disipación de energía por plastificación de placas pueden comprender cualquiera de los siguientes cuatro tipos de deformación : flexión (fig 3) [5], compresión [6], tensión [7] y torsión (fig 4) [8].

Desde 1974, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se ha estudiado el comportamiento de dispositivos disipadores de energía en forma de "U" (fig 5), cuyo comportamiento histerético es muy estable y el número de ciclos de carga que soportan depende de la amplitud de deformación a que se vean sometidos.

Otro tipo de dispositivos mecánicos son los elementos ADAS (fig 6), que pueden instalarse en edificios nuevos o existentes. Un diseño propio y una colocación adecuada de dichos dispositivos permitirá aumentar la resistencia y rigidez de un marco convencional e incrementar sustancialmente la capacidad de disipación de energía de la estructura. El comportamiento histerético de dichos dispositivos mostró ser sumamente estable aún bajo grandes deformaciones y numerosos ciclos de carga [9]. Los resultados de las pruebas experimentales efectuadas en la mesa vibradora del Centro de Investigación Sísmica de la Universidad de California en Berkeley, mostraron que el sistema ADAS es altamente confiable para rigidizar e incrementar la capacidad de disipación de energía de marcos convencionales.

Aisladores de base

Estos dispositivos se basan en el desacoplamiento de las características dinámicas de la estructura y del suelo que la soporta (fig 7). Para lograr este resultado, se aumenta la flexibilidad de la base de la estructura y se provee de mayor amortiguamiento que controle los desplazamientos en el sistema de aislamiento. Los estudios realizados con este tipo de dispositivos muestran un buen comportamiento para edificios no muy esbeltos sometidos a temblores con contenidos de frecuencia altos. El objetivo

principal de estos dispositivos es alargar el periodo de vibración de la estructura, siendo especialmente útiles para sitios en donde se esperan temblores intensos de periodos dominantes cortos.

Se han construido estructuras que usan aislamiento sísmico por lo menos en 17 países [10]. El número de estructuras que utilizan este sistema es de aproximadamente 120. Este número incluye 45 edificios (la mayoría ubicados en Japón), 58 puentes, 6 estructuras relacionadas con plantas nucleares y 7 estructuras de tipo industrial.

En 1978, Megget estudió un aislador de base en el que se incorporó un corazón de plomo para dar suficiente rigidez lateral y disipación de energía del sistema (fig 8).

Osciladores resonantes

Son pisos adicionales colocados sobre el último nivel de la estructura, con ciertas propiedades dinámicas que reducen la respuesta de la misma [11].

Una de las principales dificultades de estos sistemas se encuentran en su análisis, dado que la masa adicional suele ser mucho menor que la del resto de la estructura y su amortiguamiento puede diferir considerablemente, con lo que la estructura resultante carece de modos de vibrar clásicos [12].

DISPOSITIVOS DE CONTROL ACTIVO. Este tipo de control se basa en el principio de eliminar vibraciones de una estructura mediante la aplicación de fuerzas externas, respondiendo de acuerdo a un mecanismo de control que se ajusta a la excitación durante un sismo actual y que se retroalimenta con la respuesta que esta ocurriendo. Este mecanismo de control recurre a equipo analógico o digital de control. Entre los más importantes podemos mencionar:

Masa activa

El movimiento de la masa sobre el último nivel de la estructura se controla por medio de una computadora instalada en el mismo nivel, que detecta el movimiento del edificio a través de los sensores y envía a los actuadores el movimiento que se debe aplicar a las masas (fig 9).

Tendones activos.

Su principal objetivo es modificar el periodo fundamental de la estructura para evitar que se encuentre cerca de la frecuencia dominante del temblor para cada instante de tiempo y así evitar grandes amplificaciones del movimiento (fig 10) [13].

Dispositivo de fricción activo.

El sistema puede controlar la fuerza de entrada para la cual se deslizan los dispositivos, tanto en condiciones de servicio como en condiciones últimas.

1.2 Objetivos

En esta investigación se pretende analizar el comportamiento de placas en forma de "U" como sistemas de disipación de energía en una estructura prototipo. Se presentan las principales características del mecanismo de disipación utilizado, las cuales comprenden básicamente los diferentes tipos de dispositivos probados, sus condiciones de fatiga, así como su comportamiento histerético. Asimismo, se analizan las características dinámicas de la mesa vibradora utilizada para el experimento, discutiéndose las limitaciones encontradas para el uso adecuado de la misma. Se efectúa nuevamente el análisis matemático considerando una rigidización transversal realizada al detectarse movimientos importantes de torsión. Se destacan los siguientes objetivos:

1. Analizar si los sistemas mecánicos de disipación de energía que se utilizan en el prototipo llegan a provocar una disminución apreciable en la respuesta del mismo y comparar ésta con la proveniente de los modelos matemáticos utilizados para idealizar la estructura.
2. Analizar la respuesta lineal del prototipo bajo excitaciones de tipo armónico y sísmico, con el fin de obtener la respuesta estructural con diferentes amplitudes de aceleración y frecuencias de excitación.

2. CARACTERISTICAS MECANICAS DEL SISTEMA DISIPADOR DE ENERGIA

2.1 Generalidades

A mediados de la década de los 70 se inició en el Instituto de Ingeniería de la UNAM un proyecto enfocado a desarrollar dispositivos controladores de hundimientos en edificios, con el fin de ofrecer una alternativa ventajosa en comparación con el sistema de pilotes de control. Los dispositivos desarrollados tienen como componenets básicos los elementos disipadores de energía en forma de "U", elaborados con solera de acero comercial. Este tipo de configuración, estudiada anteriormente por diversos investigadores [14], operan bajo el concepto denominado "rolado por flexión" y disipan energía al desplazarse a la manera de las orugas de un tractor.

A raíz de los sismos de 1985 surgió el interés de usar este tipo de dispositivos de manera más amplia, al utilizarlos no sólo como controladores de hundimientos, sino también como mecanismos de disipación de energía, al colocarlos en la superestructura de los edificios. En años recientes se han realizado estudios enfocados al análisis del comportamiento de tales elementos bajo acciones de carga cíclica [15]. A continuación se presenta una descripción de los principales resultados obtenidos en dicho estudio.

2.2 Configuración y características

Los elementos disipadores de energía que fueron sometidos a las pruebas presentan una configuración como la que se muestra en la fig 11. Están hechos con acero comercial, cuya sección es de 1.3 x 3.8 cm. La fig 12 muestra un marco de carga para probar los elementos de energía en forma de " U " en una máquina de prueba. El 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. A uno y a otro lado del elemento central se tienen elementos que junto con dos barras espaciadoras al frente y dos atrás forman una estructura confinante, la cual va atornillada a un elemento transversal afianzando el émbolo hidráulico 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, en la cual se aplica un desplazamiento controlado con un movimiento de tipo armónico. La prueba concluye cuando uno de los elementos sufre rotura parcial o total.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en esa investigación. Se utilizó una amplitud de ± 2.5 cm para todas las pruebas, por ser este superior al que puede esperarse en un entrepiso de un edificio flexible ante la acción de un sismo según las normas actuales del Distrito Federal [16]. Dentro de los principales resultados encontrados destacan los siguientes:

- a) Una disminución relativamente pequeña en la deformación unitaria nominal, aumenta de manera significativa el número de ciclos a la falla.
- b) El número de ciclos a la falla aumenta conforme se incrementa la dimensión A, indicada en la fig. 11.
- c) Un cambio significativo en el periodo del ciclo de carga afecta sólo levemente la capacidad de carga y el número de ciclos a la falla. Esto hace abrigar la esperanza de que estos dispositivos se puedan usar en todo tipo de estructuras, sin importar su periodo natural de vibrar.
- d) La oxidación del material acorta sensiblemente el número de ciclos a la falla.

Se realizaron pruebas complementarias con el fin de estimar la influencia de la amplitud de la excitación [17]. Se hicieron pruebas de fatiga a frecuencia constante de 0.50 Hz, con amplitudes de ± 0.5 , ± 1.0 , ± 1.5 , ± 2.0 , ± 2.5 cm, efectuándose dos pruebas para cada una de las amplitudes, empleando un juego de dos soleras "U" en cada prueba y aplicando ciclos de deformación hasta causar la falla de uno de los elementos.

En la fig 13 se presenta una gráfica que relaciona la amplitud del ciclo de deformación con el número de ciclos a la falla por fatiga del material. En

esta figura se aprecia que el número de ciclos para alcanzar la falla para 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.

2.3 Comportamiento histerético

El comportamiento histerético del mecanismo descrito presenta una estabilidad digna de mencionarse, sin pérdida apreciable en rigidez ni en resistencia. En la fig 14 se muestra la evolución del ciclo histerético del sistema al someterse a diferentes amplitudes de desplazamiento, observándose que a partir de los 0.5 cm se puede establecer una deformación de cedencia.

La máxima carga alcanzada para el sistema mencionado fue de aproximadamente ± 2800 kg, con una amplitud de desplazamiento de 2.5 cm.

2.4 Comentarios

El comportamiento histerético de estos disipadores, caracterizado por su estabilidad, despierta el interés para su uso en edificios. Sin embargo, es necesario realizar pruebas experimentales para comprobar su funcionamiento como parte de un sistema estructural, evaluando las dificultades y ventajas que resulten de los sistemas de disipación. Los resultados obtenidos a la fecha muestran que el uso de estos dispositivos es confiable estructuralmente y que se pueden fabricar sin muchas complicaciones.

3. CARACTERISTICAS DINAMICAS DE LA MESA VIBRADORA

3.1 Dimensiones generales

La mesa vibradora esta estructurada con base en una losa nervada de concreto de 4.5 x 2.4 m en planta y 0.40 m de espesor, la cual se apoya en dos trabes longitudinales de 1.30 m de peralte, fig 15. En el sentido transversal tiene tres diafragmas, uno en cada extremo y uno en el centro. Las nervaduras y las trabes de apoyo se presforzaron mediante el método de postensado, incluyendo el refuerzo de acero convencional. El peso aproximado de la mesa es de 15 ton y tiene capacidad para soportar modelos con un peso de aproximadamente 15 ton. El conjunto descansa sobre cuatro columnas articuladas de acero, de sección tubular, apoyadas sobre la losa de cimentación.

La cimentación esta formada por tres partes rígidamente unidas: la losa de piso, los muros de retención y las trabes de borde. La losa y los muros tienen un espesor de 0.50 m. Las dimensiones en planta de la losa son 7.10 x 3.70 m. ; los muros tienen una altura de 3.00 m. La sección de la trabe de borde es de 0.50 x 1.00 m excepto en la parte inmediata al actuador, donde su sección es de 0.50 x 1.50 m.

3.2 Propiedades dinámicas

El sistema que se usa para controlar y excitar el movimiento de la mesa consiste de un equipo electromecánico de circuito cerrado capaz de generar movimiento senoidal o aleatorio en dirección horizontal. El desplazamiento máximo del actuador es de ± 2.5 cm [18].

La frecuencia fundamental de la mesa sin lastre es de 30 hz y el coeficiente de amortiguamiento es de 0.174 del amortiguamiento crítico. Cuando la mesa tiene un lastre de 6775 kg su frecuencia es de 25 Hz y su coeficiente de amortiguamiento es de 0.16 del amortiguamiento crítico. La frecuencia es de 20 Hz aproximadamente cuando la mesa esta lastrada con 13631 kg y su coeficiente de amortiguamiento es de 0.1 del amortiguamiento crítico.

3.3 Capacidad y limitaciones

Con base en estudios realizados [18], se ha encontrado que usando un acelerómetro de control en el centro geométrico de la mesa es posible obtener respuesta plana hasta 40 Hz con excitación senoidal. Las frecuencias de resonancia de la mesa disminuyen notablemente su rango útil de operación, ya que esta introduce distorsiones en las señales excitadoras de la base, que se envían al sistema controlador de la misma.

Debido a que la mesa introduce cambios importantes en la forma del espectro para periodos bajos y dadas las condiciones actuales del sistema, la reproducción de espectros de respuesta y de movimientos sísmicos está limitada.

En ensayos dinámicos efectuados en la mesa vibradora [19], con la señal de El Centro componente E-W, con lastre y sin él, se obtuvo que en el espectro de respuesta se detectan distorsiones importantes de la señal original, para frecuencias mayores de 10 Hz. Lo mismo sucede en el espectro de Fourier para un intervalo de frecuencias de 20 a 40 Hz. Posteriormente se efectuaron ensayos sin lastre, con los registros de SCT y de la UNION. También se realizaron numerosos ensayos con movimientos armónicos variando la frecuencia en un intervalo de 0.5 a 12 Hz y también las amplitudes, la señal se generó a nivel analógico directamente por la consola de la mesa vibradora. En estos ensayos continuaron apareciendo las distorsiones anteriormente mencionadas, con diversas magnitudes.

4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PROTOTIPO

4.1 Criterios de diseño

Uno de los criterios básicos para el diseño de la estructura fue que esta tuviera una flexibilidad lo suficientemente alta que garantizará la disipación de energía del dispositivo dentro de un intervalo útil de desplazamientos, sin presentar cedencia en columnas y vigas [20]. Se decidió hacer un modelo lo más cercano a la escala natural de tal forma que las conclusiones y recomendaciones que se encontraran fueran aplicables a estructuras similares, así como para facilitar la construcción del modelo usando perfiles comerciales y las técnicas usuales de construcción de estructuras de acero.

Las instalaciones físicas para hacer la prueba experimental y las características de la mesa vibradora impusieron una serie de restricciones sobre las dimensiones, peso y frecuencias naturales que debería poseer el prototipo. Esta última limitación es importante ya que, como se mencionó anteriormente, se ha comprobado que la mesa vibradora introduce distorsiones en las señales excitadoras de la base que se envían al sistema controlador. Esta distorsión se asocia al hecho de que la frecuencia fundamental del sistema mesa vibradora-actuador presenta valores alrededor de 20 Hz, lo que ocasiona una amplificación en la respuesta y un intervalo de operación confiable del sistema entre 1 y 15 Hz. El límite inferior está definido por el hecho de que la mesa no puede alcanzar aceleraciones mayores de $1g$ para frecuencias menores de 1 Hz, además de que para esta frecuencia la distorsión de la señal excitadora empieza a ser muy importante.

4.2 Descripción del prototipo

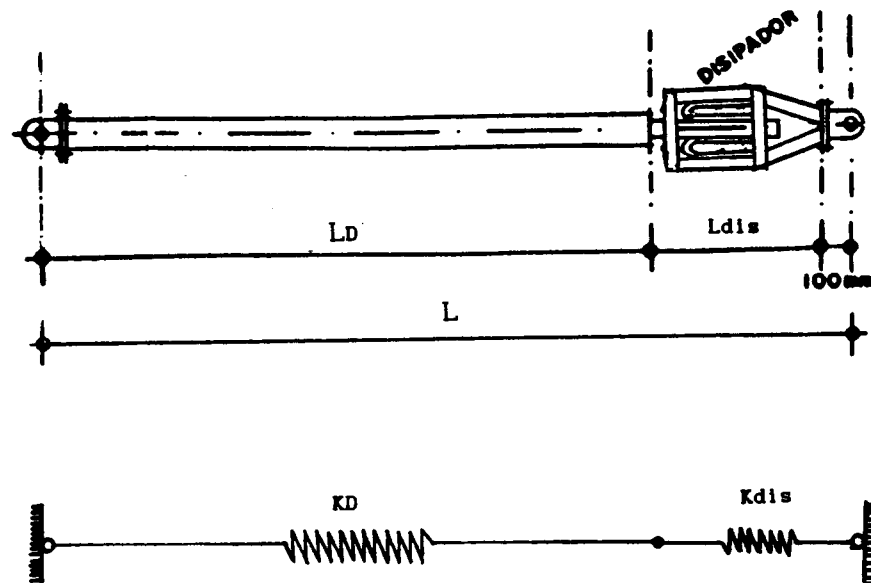
Como se muestra en la fig 16, la estructura está formada por columnas, vigas y diagonales que forman un marco rígido tanto en la dirección transversal como en la longitudinal. Dado que la aplicación de carga del actuador es unidireccional, se probó el modelo exclusivamente en su dirección longitudinal, que es donde se ubican los mecanismos disipadores de energía. Para este estudio se eligió un peso total de 2 toneladas por

nivel.

Los materiales que se emplearon para la construcción de los distintos elementos son: para las columnas un perfil CPS 6" x 10.5 lb/ft y placa de 2/8"; en tanto que para las vigas se uso un perfil CPS 10" x 20.0 lb/ft. Para la diagonal se utilizaron 2 ángulos de 4" x 1/4".

Se seleccionó una sección transversal en cajón formada por dos ángulos de 4" x 1/4" para modelar la diagonal, con ambos extremos articulados con el fin de reducir al mínimo los momentos flexionantes. El dispositivo se colocó en un extremo de la diagonal.

Puesto que se conoce la rigidez del dispositivo y la del resto de la diagonal, se determinó representarlos como resortes en serie :



donde : K_D es la rigidez de la diagonal y,

K_{dis} es la rigidez del dispositivo disipador de energía

Si :

$$KD = E A/L$$

$$1/Keq = 1/KD + 1/Kdis$$

$$Keq \sim Kdis$$

Se obtuvo una rigidez equivalente de 5471 kg/cm, lo que equivale al 97.2% de la rigidez del dispositivo, por lo que se puede dar a toda la diagonal la rigidez original del dispositivo sin cometer errores de consideración. El módulo de elasticidad de la diagonal se consideró de 2000000 kg/cm²

Finalmente, el área equivalente del sistema se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Keq = E Aeq/L$$

$$Aeq = Keq L/E$$

El área equivalente de la diagonal resultó ser de 0.845 cm².

Las frecuencias fundamentales obtenidas se presentan en la tabla 2. Estas propiedades dinámicas se determinaron suponiendo que el modelo se desplanta sobre un soporte infinitamente rígido. Se aprecia un incremento del 32% de la frecuencia torsional con respecto a la frecuencia longitudinal del primer modo [20].

5 RESPUESTA EXPERIMENTAL DEL PROTOTIPO

5.1 Propiedades dinámicas de la estructura

Para determinar las propiedades dinámicas experimentales del modelo se realizaron pruebas de vibración forzada, vibración ambiental, y pruebas de impulso.

5.1.1 Vibración forzada

En este tipo de pruebas se generan fuerzas a diferentes frecuencias, mediante la aplicación de una aceleración a una masa, utilizando un generador de vibraciones armónicas. Las fuerzas de inercia producen vibraciones en la estructura a la frecuencia impuesta por el aparato.

Estas pruebas involucran excitaciones armónicas y unidireccionales y permiten determinar las curvas de resonancia en un intervalo amplio de frecuencias, para obtener el periodo natural y el amortiguamiento modal.

En el prototipo en estudio se utilizó una señal armónica con una amplitud de aceleración en la base de 40 cm/seg^2 en un intervalo de frecuencias de 2 a 8 Hz.

Como se detectaron movimientos importantes de torsión con una frecuencia igual a la del movimiento longitudinal, debido a la existencia de una excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez del prototipo, con aceleraciones transversales de aproximadamente el 50% de la aceleración longitudinal, el diseño original del prototipo tuvo que ser rigidizado transversalmente, colocándole un refuerzo en diagonal con un perfil tubular hueco de 7.62 cm de diámetro en los dos niveles.

5.1.2 Vibración ambiental

Estas pruebas consisten en medir las vibraciones en la estructura producidas por solicitaciones ambientales. Para ello se fijan sensores de aceleración en placas previamente adheridas a los elementos estructurales. Las señales captadas por los acelerómetros se transmiten a acondicionadores

de señales, donde dichas señales se amplifican y se filtran las frecuencias superiores a 30 Hz, para eliminar ruidos de alta frecuencia y obtener un registro claro. Posteriormente se envía a un analizador de espectros, en el cual se procesa la señal emitida por los acelerómetros mediante la transformada de Fourier para obtener los espectros de potencia, la función de transferencia y la coherencia.

En las pruebas de vibración ambiental se colocaron los sensores de aceleración en siete puntos, cuya ubicación se muestra en la fig. 17. Se ubicaron cinco en la azotea, uno en el primer nivel y otro en la base.

Se realizaron dos etapas de pruebas, la primera antes de rigidizar el modelo (tabla 5) y la segunda después (tabla 6). En la primera etapa se realizaron ocho pruebas y en la segunda cinco pruebas.

En la primera etapa con las pruebas uno y seis se intenta determinar la frecuencia en la dirección transversal, mientras que con las pruebas dos, siete y ocho en la dirección longitudinal. La prueba tres se puede conocer la existencia de torsión.

En la segunda etapa, con la prueba uno se puede determinar la frecuencia transversal, en tanto que la longitudinal se determina con la prueba dos. Con la prueba tres, cuatro y cinco se puede determinar si existe torsión en la estructura.

Los resultados obtenidos con esta prueba se muestran en la tabla 6, donde se observa que la frecuencia en la dirección longitudinal es de 6.6 Hz antes de la rigidización manteniéndose constante después de la misma. En la dirección transversal la frecuencia transversal es de 6.20 Hz y la rotacional es de 11.40 Hz, modificándose al rigidizar el modelo a 8.8 Hz y 20.8 Hz respectivamente.

5.1.3 Pruebas de impulso

Consiste en aplicar una fuerza que se libera súbitamente para que la estructura vibre libremente, sus amplitudes decrecen con el tiempo debido al amortiguamiento propio de la estructura. En este tipo de ensayos, la

dificultad principal consiste en aplicar la fuerza de manera que la estructura vibre únicamente en un solo plano, ya que puede ocurrir que se exciten simultáneamente dos modos distintos de vibrar, debido posiblemente a que sus frecuencias son muy próximas.

Se hicieron dos pruebas, en la primera se uso una frecuencia de impulso de 1 Hz, observándose que la variación de las amplitudes sufren un incremento repentino en un intervalo de 6 a 6.4 Hz, la razón es que entra a la frecuencia de resonancia de la estructura (fig 18).

En la segunda prueba se uso una frecuencia de impulso de 0.48 Hz, apreciándose nuevamente que la amplitud tiene un incremento importante en el intervalo mencionado anteriormente (fig 19).

Para una frecuencia de impulso de 1 Hz se encontró que la frecuencia natural de la estructura es aproximadamente de 6.55 Hz, en tanto que utilizando una frecuencia de impulso de 0.48 Hz la frecuencia natural se recorrió a 6.35 Hz En este ensaye la fuerza se aplicó en el segundo nivel, en la dirección longitudinal.

5.1.4 Comparación de resultados

En la tabla 6 se concentran los resultados obtenidos en las distintas pruebas, apreciándose que la frecuencia fundamental longitudinal determinada con pruebas de vibración ambiental y pruebas de impulso es igual a 6.4 Hz, en tanto que la determinada con vibración forzada es de 6.2 debido a que las conexiones de la estructura principal y de las diagonales no trabajan como articulaciones perfectas cuando la excitación es de tipo ambiental. Observándose la misma apreciación para el segundo modo natural, donde la frecuencia determinada con vibración ambiental es de 17.2 Hz y la determinada con vibración forzada es de 17.0 Hz.

6 RESPUESTA ANALITICA DEL PROTOTIPO

Debido a que en el análisis con el diseño original se detectaron movimientos importantes de torsión, se decidió rigidizar transversalmente a la estructura, con un perfil circular hueco de 7.62 cm de diametro en los dos niveles de la estructura.

Para continuar el análisis experimental del modelo en la mesa vibradora, se decidió analizar nuevamente el modelo matemático tomando en cuenta la consideración anterior.

También se analiza la respuesta del modelo aplicándole una excitación en la base de tipo sísmico, para lo cual se utilizó el sismo de El Centro, California.

6.1 Modelación matemática

El modelo que se utilizó es el mismo propuesto en la referencia 20, sólo que considerando las secciones tubulares mencionadas anteriormente.

6.1.1 Comportamiento elástico

En esta parte del trabajo se considera un comportamiento elástico lineal de todos los elementos que componen la estructura, partiendo de la suposición de que no se alcance la condición de cedencia en las columnas y vigas cuando la excitación en la base provoque la resonancia de la estructura. Los resultados obtenidos en esta etapa se complementaran con el análisis no lineal de la estructura y de esta manera se estimará la respuesta de la estructura con disipadores de energía y sin ellos.

Para la obtención de las propiedades dinámicas de la estructura se utilizó el programa SAP80 [21], ya que permite considerar articulada a la base. Este programa de análisis elástico es una combinación de programas que se ejecutan con una secuencia predefinida. Cuenta con múltiples opciones y permite hacer el análisis en dos o tres dimensiones. En el análisis tridimensional se consideran seis posibles grados de libertad; los desplazamientos en X, Y, Z y las rotaciones en los mismos ejes. En tanto

que en el análisis bidimensional solo se consideran tres grados de libertad. Puede utilizarse un sistema global para la generación de algunos datos de entrada y salida de la estructura, así como un sistema local para la entrada y salida de datos de los elementos de dicha estructura. Tiene la opción de modelar un diafragma de piso como un plano rígido paralelo al plano global X-Y.

Para la obtención de las propiedades dinámicas de la estructura se consideró un modelo articulado en su base, idealizándolo tridimensionalmente y considerando una masa de 2000 kg por nivel. Se supuso la existencia de zonas rígidas en columnas y trabes y que la rigidez diagonal del dispositivo amortiguador es de 5627 kg/cm, igual a la rigidez del dispositivo. En el sistema de piso se utilizó la opción de diafragma infinitamente rígido en su plano. Las áreas y los momentos de inercia de los elementos estructurales se presentan en la tabla 2. El módulo de elasticidad del acero se consideró igual a 2000000 kg/cm².

6.1.2 Propiedades Dinámicas del modelo elástico lineal

Las frecuencias naturales y los periodos de la estructura obtenidos se presentan en la tabla 3. Las frecuencias longitudinales y transversales del modelo analítico coinciden razonablemente con las experimentales. Sin embargo en la frecuencia torsional existen diferencias significativas. La rigidización transversal del modelo evitó el acoplamiento modal entre la dirección longitudinal con la transversal.

6.1.3 Comportamiento Inelástico

Para determinar el comportamiento no lineal de la estructura, tomando en cuenta los disipadores de energía, se utilizó el programa DRAIN-2D [22].

El programa DRAIN-2D analiza inelásticamente estructuras planas ante excitaciones sísmicas. Este programa de análisis paso a paso funciona por medio del método directo de las rigideces, considerando que los desplazamientos y los giros de los nudos se desconocen. Cada nudo tiene tres posibles grados de libertad; desplazamiento horizontal, vertical y rotacional. Considera que la masa de la estructura se encuentra concentrada

en los nudos y que la aplicación de las cargas estáticas es antes que las dinámicas. Se incluye el efecto P-Δ. La respuesta dinámica de la estructura se obtiene por integración numérica paso a paso.

Para el análisis metemático se seleccionó un marco longitudinal, como el que se presenta en la fig 20. La matriz de masas se define de tal manera que en existan 1000 kgs fuerza en cada nivel. Se consideró a las diagonales articuladas en su unión con el marco, utilizando para esto, el elemento armadura.

El programa requiere los factores de amortiguamiento proporcionales a la masa (α) y a la rigidez (β), que se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\epsilon_1 = 1/2 (\alpha/\omega_1 + \beta/\omega_1)$$

$$\epsilon_2 = 1/2 (\alpha/\omega_2 + \beta/\omega_2)$$

donde $\omega = 2\pi / T$.

Se considera que para los dos modos de vibrar el amortiguamiento estructural es del 1% del amortiguamiento crítico. Por la cual, ϵ es igual a 0.01 en el sistema de ecuaciones mencionado anteriormente.

Las propiedades dinámicas de los elementos estructurales se presentan en la tabla 4. Los valores de los momentos M_y y de las fuerzas P se calculan con las siguientes expresiones:

$$M_y = S_x \sigma_y$$

$$P_y = A \sigma_y$$

donde M_y son los momentos tanto positivo como negativo, S_x es el módulo de la sección en la flexión y σ_y es el límite de elasticidad del acero igual a 2530 kg/cm^2 , P_y es el esfuerzo a tensión y compresión, A es el área de la sección.

6.2 Respuesta ante excitación armónica

Para analizar la respuesta de la estructura, se decidió aplicarle una excitación senoidal en la base, como la que se muestra en la

fig 21, donde puede observarse la transición de la amplitud cero hasta la amplitud máxima de 400 cm/seg^2 , en un intervalo de 2 seg, en tanto que la señal con amplitud máxima se mantiene constante durante un intervalo de 8 seg, para posteriormente disminuir hasta que la amplitud es cero nuevamente, esto sucede en un intervalo de 0.7 seg.

Para determinar el abatimiento en la respuesta del modelo, como consecuencia de la disipación de energía de los dispositivos, se realizó un barrido de frecuencias, con la finalidad de conocer su respuesta dentro del intervalo de frecuencias escogidas al considerar las limitaciones impuestas por la mesa vibradora. Las frecuencias que se usaron en este análisis son: 2, 3, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.4, 6.5, 7, 7.5, 8, 9, 10 Hz.

Para evaluar el beneficio de colocar dispositivos disipadores de energía con comportamiento bilineal en la estructura, se compararon los resultados del análisis no lineal con los resultados suponiendo análisis lineal. Para ello se usaron los desplazamientos máximos en ambos niveles de la estructura, los cortantes en la base y el comportamiento histerético de los dispositivos.

En las figs 22 y 23 se aprecia una reducción en los desplazamientos y en los cortantes para una amplitud de 400 gales, del comportamiento elástico con respecto al inelástico, lográndose abatir considerablemente la respuesta de la estructura en su frecuencia natural. El desplazamiento en el primer nivel es de 2 cm, en el segundo nivel es de 1.5 cm y el cortante en la base es de 2000 kg (fig 24).

En las figs 25 y 26 se presenta el comportamiento histerético para una amplitud de 400 gales y una frecuencia de 6.35 Hz. Puede observarse cualitativamente la cantidad de energía disipada por los dispositivos en el nivel 1, en tanto que en el nivel 2 los dispositivos no alcanzan a activarse aún. En las columnas y vigas no se forman articulaciones plásticas, ni en la diagonal del segundo nivel, pero en la diagonal del primer nivel aparecen con una extensión de 0.8 cm.

Con base en el barrido de frecuencias que se realizó, se puede decir, que para una amplitud de 400 gales la frecuencia natural encontrada es de 6.35.

6.3 Respuesta ante excitación sísmica

Como excitación sísmica aplicada en la base del modelo, se utilizó el sismo de El Centro, California componente norte-sur registrado en 1940, ya que es el único que se encuentra digitizado en el sistema de la mesa vibradora. Se analiza el modelo elástico e inelástico, con factores en amplitud (F.A.) de aceleración del sismo de 1, 5, 10 y 15.

En las fig 27 y 28 se muestran el sismo de El Centro y sus espectros de Fourier y de respuesta. La amplitud máxima que alcanza es cercana a 1 g para 0.5 seg de periodo.

Para F.A. igual a 1, se observa que el máximo desplazamiento en el nivel 1 es de 0.54 cm y en el nivel 2 es de 0.82 cm, mientras que el cortante es de 1785 kg, el comportamiento histerético indica que no hay disipación de energía (fig 29). Cuando F.A. es igual a 5, el desplazamiento en el nivel 1 es de 16 cm, para el nivel 2 es de 37 cm, el cortante es de 3142 kg (fig 30) y el comportamiento histerético muestra que existe una disipación de energía, siendo la fuerza igual a 4000 kg y el desplazamiento máximo del ciclo de 13 cm (fig 34). Para F.A. igual a 10 el desplazamiento en el nivel 1 es de 30 cm, en el nivel 2 es de 45 cm y el cortante es de 3496 kg (31). En tanto el comportamiento histerético presenta un desplazamiento cercano a 23 cm y una fuerza de 3600 kg (fig 35). Cuando F.A. es de 15 el desplazamiento en el primer nivel es de 46 cm, en el segundo de 66 cm y el cortante es de 3452 (fig 32).

Como puede apreciarse en las figs 34 35 y 36 a partir de F.A. igual a 5, los dispositivos disipan energía, además de que se presentan articulaciones en las columnas y las diagonales.

Cuando F.A. es igual a 1, tanto en el análisis elástico como en el inelástico, la respuesta que presenta la estructura es la misma (fig 33). Pero conforme incrementamos el factor de amplificación de las aceleraciones, se observa que en el análisis de comportamiento inelástico el cortante basal se mantiene en 3000 kg, mientras que los desplazamientos se van incrementando hasta tomar un valor de 20 cm en el primer nivel y de 40 cm en el segundo nivel. En tanto que en el análisis elástico el cortante

se va incrementando hasta llegar a 20000 kg y los desplazamientos máximos presentados son de 8 cm en ambos niveles cuando F.A. es de 15.

7. COMENTARIOS FINALES

El haber rigidizado transversalmente la estructura hace que se modifique su frecuencia transversal, incrementándose un 32% con respecto a la determinada antes de la rigidización, evitando el acoplamiento modal en la dirección longitudinal, mientras que su frecuencia rotacional se incrementa un 45%. La frecuencia longitudinal no sufre modificaciones.

En el análisis del modelo con disipadores se obtiene un considerable abatimiento en los desplazamientos y cortantes máximos. La máxima respuesta del modelo sin disipadores ante excitación senoidal es cuando se aplica un movimiento con una frecuencia de 6.35 Hz y una amplitud de 400 gales, presentándose desplazamientos máximos de 10 cm y cortantes basales de 20000 kg si el comportamiento fuera lineal, pero los disipadores abaten los desplazamientos máximos con un valor de 1.8 cm y los cortantes de 2500 kg, aproximadamente.

Ante excitación sísmica los dispositivos no disipan energía cuando se introduce la señal original, empezando a trabajar conforme se aumenta el factor de amplificación de las aceleraciones del sismo. Los máximos desplazamientos observados son de 8 cm y cortantes de 20000 kg.

El uso de dispositivos disipadores de energía pueden reducir la respuesta ante sismos, siempre que la mayor parte de la rigidez lateral la tomen los elementos con los mecanismos disipadores de energía.

Se continuará con los ensayos experimentales del prototipo induciéndole el mismo tipo de aceleraciones en la base que las utilizadas en el estudio analítico para comparar ambas respuestas.

REFERENCIAS

- [1] Kelly J.M. y Skinner M.J.
"A Review of Current Uses Energy Absorbing Devices".
EERC, Report No UCB/EERC-79/10, Berkeley, California.

- [2] Pall A.S.
"Response of friction damped buildings"
VIII Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica, volumen V, julio
1984, San Francisco California, USA, pp. 1007-1014.

- [3] Kelly J.M. y Skinner M.S.
"The Desing of steel energy absorbing restrainers and their
incorporation into nuclear power plants for enhanced safety"
Volumen 4. Review of current uses of energy absorbing devices.
Reporte UCB/EERC-79/10, febrero de 1979.

- [4] Wiesner K.B.
"The role of damping systems"
Third International Conference on Tall Buildings: The second century
of the skyscraper. Chicago III. USA, enero 1986.

- [5] Whitaker A., Bertero V., Alonso J. y Thompson C.
"Earthquake simulation testing of steel plate added damping and
stifness elements".
Reporte UCB/EERC-89/02, enero 1989.

- [6] Hernalsteen P. y Leblois L.C.
"The use of energy absorber against impact loads".
Nuclear Engineering and desing, vol. 37, pp 373-406, 1976.

- [7] Esswein G.A.
"Development of a plastic strain energy absorbing pipe whit
restraint".
Proceedings, ASCE Special Conference on Structural Desing of nuclear
power plant facilities, vol. 2, pp 171-200, 1973.

- [8] Skinner R.I., Kelly J.M. y Heine A.J.
"Hysteretic Dampers for Earthquake-Resistant Structures"
International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 3, pag. 287-289, 1975.
- [9] Alonso J.
"Estudios experimentales del sistema ADAS".
Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica, México, D.F., octubre 1990
- [10] Kelly J.M., Skinner R.I. y Heine A.J.
"Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures".
Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, pp 63-88, 1972.
- [11] Korenev B.G and Reznikov L.M.
"Vibration Dynamic Dampers Theory and Technical Additions".
Physical and Mathematical Literature, Moscow, 1988.
- [12] Warburton G.B. and Soni S.R.
"Errors in Response Calculation of Non Classically Damped Structural Dynamics", 1977.
- [13] Higashino M.
"The Application of Base Isolation and Structural Control System in Takenaka".
Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica, México, D.F., octubre 1990, pp 249-271.
- [14] Skinner R.I., Kelly J.M. y Heine A.J.
"Energy absorption devices for earthquake-resistant structures".
Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Roma 1973.
- [15] Aguirre M. y Sánchez R.
"Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica".
Revista Construcción y Tecnología, marzo 1989.

- [16] Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo".
Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, México, D.F.,
noviembre 1987.
- [17] Aguirre M. y Sánchez R.
"Pruebas complementarias de elementos disipadores de energía".
Proyecto 8152, Instituto de Ingeniería UNAM, noviembre 1989.
- [18] Rodríguez E. y Ovando E.
"Determinación Experimental de las características dinámicas de una
mesa vibradora".
Proyecto 8150, Instituto de Ingeniería UNAM, febrero 1979.
- [19] Rodríguez M.
Memorando interno del Instituto de Ingeniería UNAM, febrero 1989.
- [20] Chávez J.H.
"Efecto de amortiguamiento externo en la respuesta de una estructura
metálica de dos niveles".
Trabajo Final presentado a la DEPMI UNAM, para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería, septiembre 1989.
- [21] Wilson E. y Habibullah A.
"SAP80: Structural Analysis Programs. A Series of Computer Programs
Programs for the Static and Dynamic Finite Element Analysis of
Structures".
Computers and Structures Inc. en Berkeley, California, agosto 1984.
- [22] Kanaan A. y Powell G.
"DRAIN-2D: General Purpose Plane Structures".
Informe UCB/EERC-73/6, Universidad de California en Berkeley, USA,
abril 1973.

No. de prueba	Deformación unitaria nominal	Amplitud del ciclo, cm	Carga máxima* kg	Dimensión "A" □ cm	No. de ciclos a la falla	Alargamiento** %
1(6.18)	0.16	± 2.5	± 3290	22.5	86	37
2(6.17)	0.16	± 2.5	± 3360	19.5	79	37
3(6.16)	0.16	± 2.5	± 3360	16.5	64	37
4(6.15)	0.16	± 2.5	± 3360	13.5	63	37
5(5.10)	0.16	± 2.5	± 3280	10	49	41
6(5.22)	0.16	± 2.5	± 3540	10	47	41 *
7(5.14)	0.16	± 2.0	± 3220	10	95	41
8(7.19)	0.14 ♦	± 2.5	± 2730	16.5	163	41
9(7.29)	0.14	± 2.5	± 2860 ▽	13.5	110	41
10(7.20)	0.14	± 2.5	± 2830	10	102	41
11(7.21)	0.14	± 2.5	± 2820	10	122	41
12(8.23)	0.14	± 2.5	± 3050	10	90	37
13(8.24)	0.14	± 2.5	± 3000	10	98	37
14(8.25)	0.14	± 2.5	± 3030	10	95	37
15(8.26)	0.14	± 2.5	± 3060	10	87	37
16(8.27)	0.14	± 2.5	± 3040	10	69	37 Δ
17(8.28)	0.14	± 2.5	± 3000	10	68	37 Δ

□ Ver Fig 2.

** Obtenido mediante prueba de tensión simple, con distancia de 5 cm entre puntos.

♦ Elemento "U" soldado en lugar de atornillado

Δ Elemento "U" soldado en la zona de deformaciones altas

▽ Obtenida de la gráfica del ciclo histérico.

* Aplicada al conjunto de dos elementos "U"

♦ Corresponde a R = 4.5 cm, e = 1.3 cm (Ver fig 1)

TABLA 1. PRUEBAS DE ELEMENTOS " U "

ELEMENTOS ESTRUCTURALES	AREA (CM ²)	MOMENTO DE INERCIA	
		Ix (CM ⁴)	Iy (CM ⁴)
COLUMNA	25.07	726.80	146.57
VIGA	57.50	5567.60	1789.30
DIAGONALES	0.89		
TENSORES	0.71		

Tabla 2. Propiedades geométricas de la estructura

MODO NATURAL	FRECUENCIAS DE MODOS (Hz)		PERIODOS (Seg)	
	PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO
LONGITUDINAL	6.35	18.50	0.157	0.054
TRASVERSAL	9.30	27.00	0.107	0.037
ROTACIONAL	20.00	57.00	0.050	0.017

Tabla 3. Frecuencias y periodos de los diferentes modos de vibrar antes de rigidizar el modelo

PRUEBA	PUNTO	NIVEL	DIRECCION	VENTANA (Hz)
1	5	2	T	25
	6	1	T	
2	5	2	L	25
	6	1	L	
3	1	2	L	25
	4	2	T	
4	1	2	L	25
	3	2	L	
5	2	2	T	25
	4	2	T	

Tabla 4. Programa de pruebas de vibración ambiental antes de la rigidización.

PRUEBA	PUNTO	NIVEL	DIRECCION	VENTANA (Hz)
1	5	2	T	25
	6	1	T	
2	5	2	L	25
	6	1	L	
3	1	2	L	25
	4	2	T	
4	1	2	L	25
	3	2	L	
5	2	2	T	25
	4	2	T	
6	5	2	T	25
	7	B	T	
7	5	2	L	25
	7	B	L	
8	5	2	L	100
	7	B	L	

Tabla 5. Programa de pruebas de vibración ambiental realizadas

MODO NATURAL	FRECUENCIAS DEL PRIMER MODO (Hz)	
	ANTES DE LA RIGIDIZACION	DESPUES DE LA RIGIDIZACION
LONGITUDINAL	6.60	6.6
TRASVERSAL	6.20	8.8
ROTACIONAL	11.40	20.8

Tabla 6. Frecuencias naturales de la estructura antes y después de rigidizarla

MODO NATURAL (Hz)	MODELO MATEMATICO (Hz)	MODELO FISICO (Hz)		
		VIBRACION AMBIENTAL	VIBRACION FORZADA	PRUEBAS DE IMPULSO
PRIMERO	6.45	6.4	6.2	6.4
SEGUNDO	18.32	17.2	17.0	

Tabla 7. Frecuencias naturales analíticas y experimentales de la estructura.

MODO NATURAL	FRECUENCIAS DE MODOS (Hz)		PERIODOS (Seg)	
	PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO
LONGITUDINAL	6.45	18.32	0.155	0.055
TRASVERSAL	8.28	26.76	0.121	0.037
ROTACIONAL	13.79	43.63	0.073	0.023

Tabla 8. Frecuencias y periodos de los diferentes modos de vibrar después de rigidizar el modelo

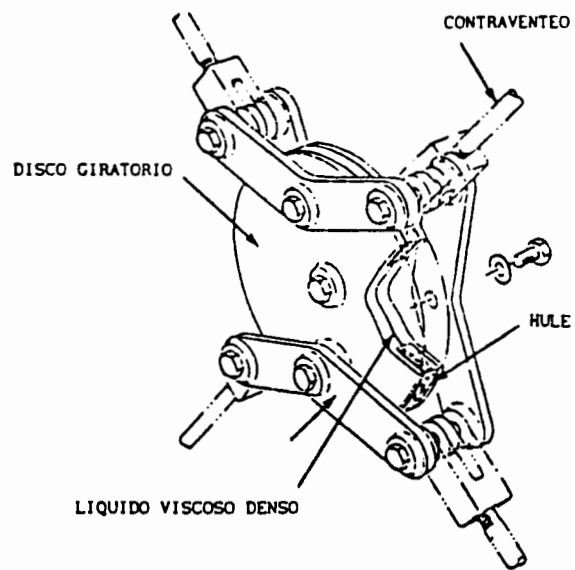


FIG 1. DISIPADOR DE ENERGIA

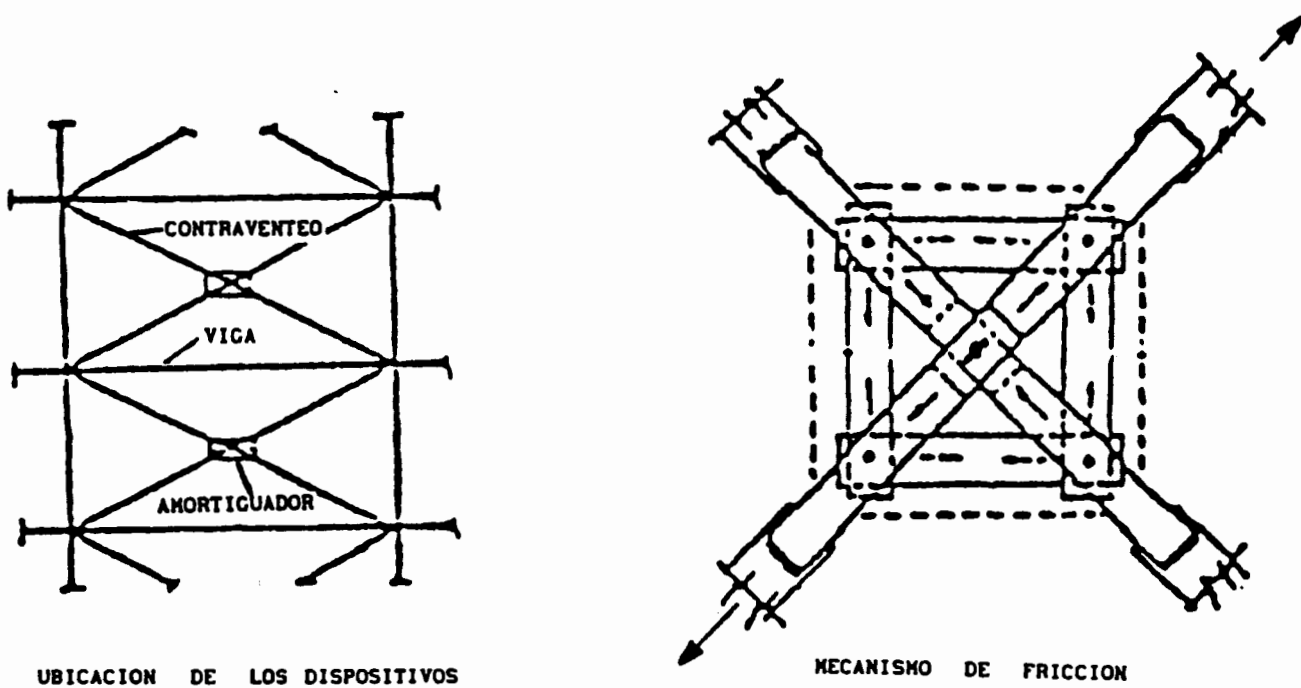


FIG 2. DISIPADORES DE FRICCION

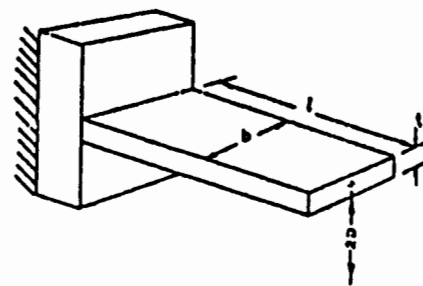
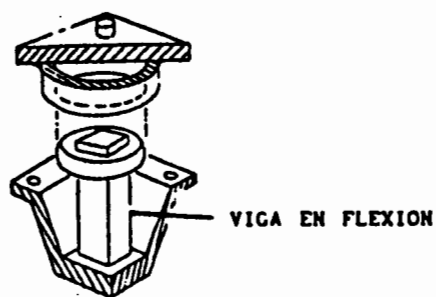
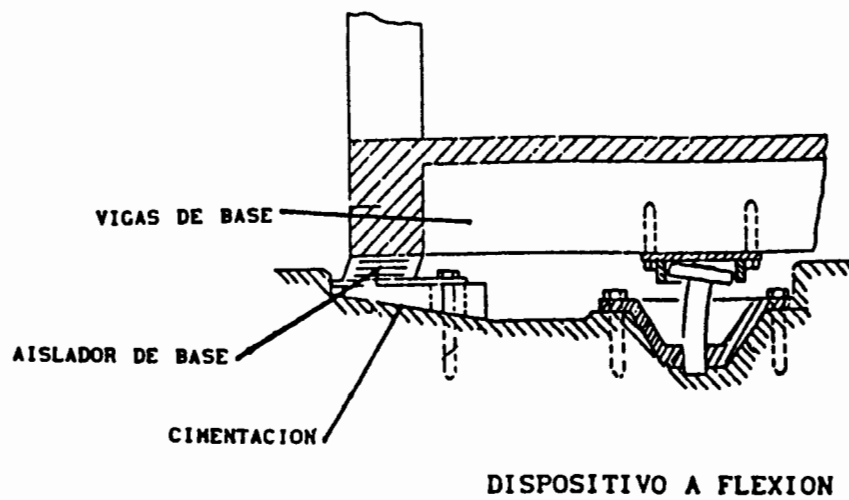


FIG 3. DISPOSITIVOS A FLEXION

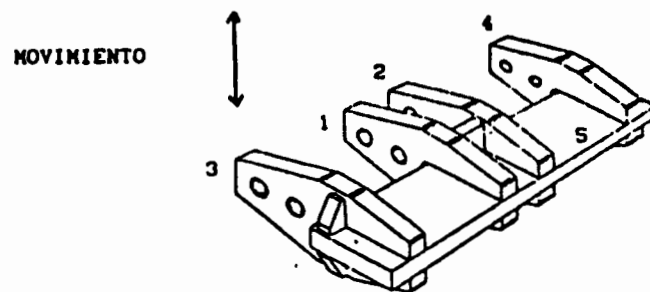


FIG 4. DISPOSITIVO A TORSION

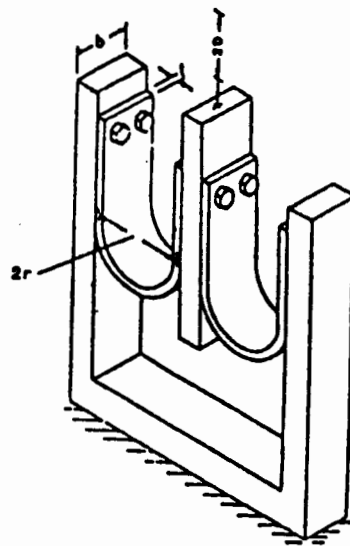
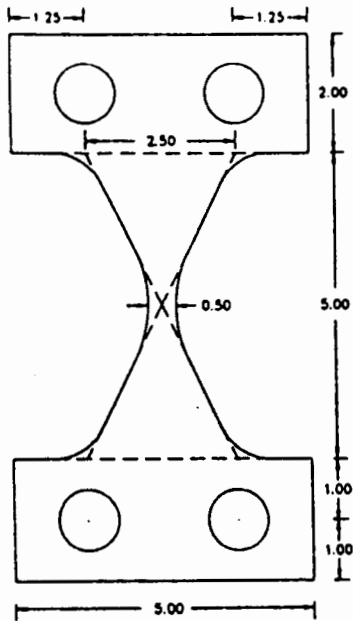
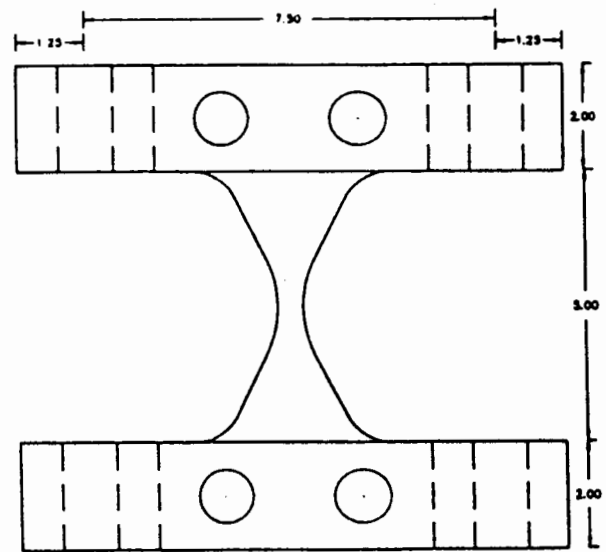


FIG 5. DISPOSITIVOS EN FORMA DE " U "



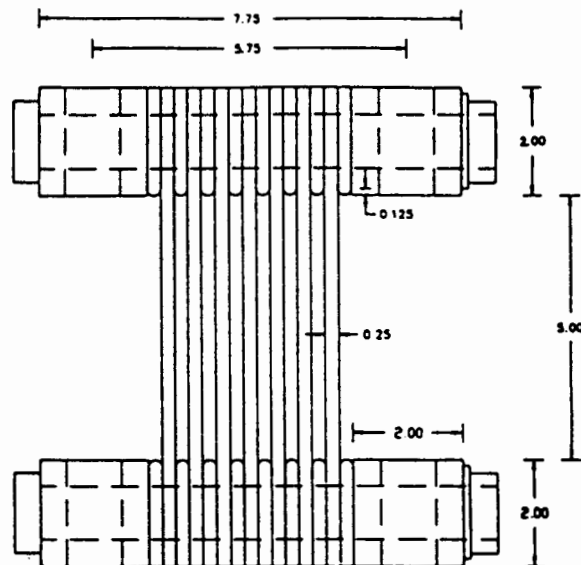
All dimensions in inches

PLACA X - ELEVACION



All dimensions in inches

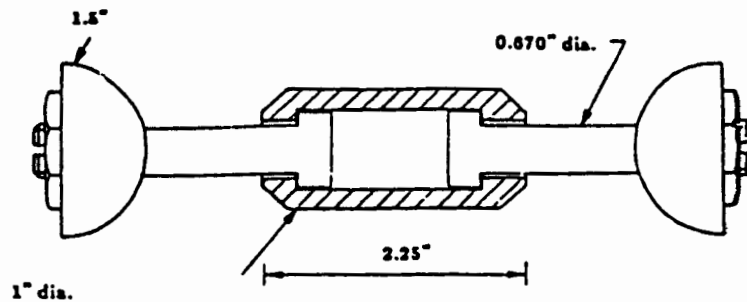
ELEMENTO ADAS - VISTA FRONTAL



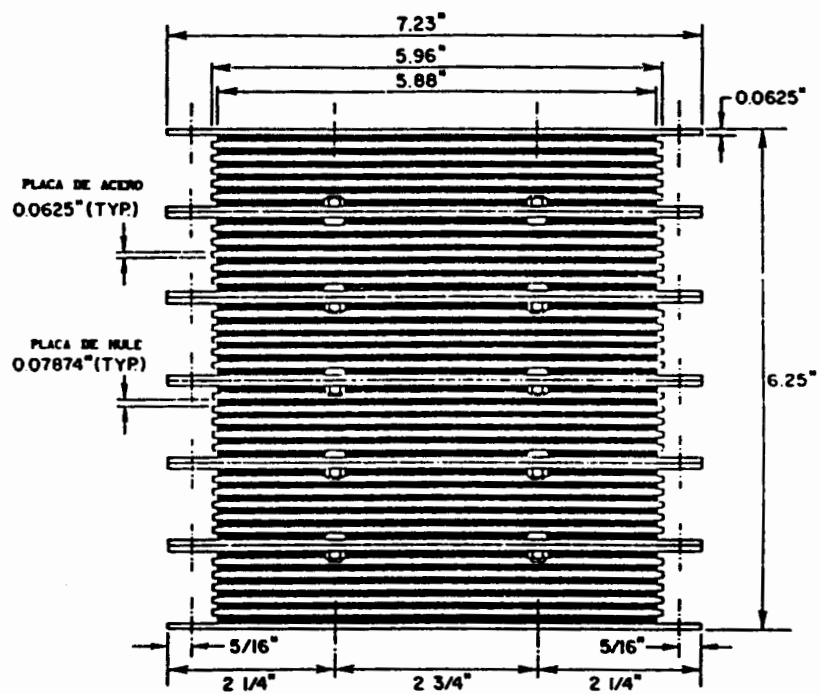
All dimensions in inches

ELEMENTO ADAS - VISTA LATERAL

FIG 6. ELEMENTOS ADAS



AISLADOR DE BASE CON DISPOSITIVO PARA TOMAR TENSIONES



AISLADOR DE BASE

FIG 7. AISLADORES DE BASE

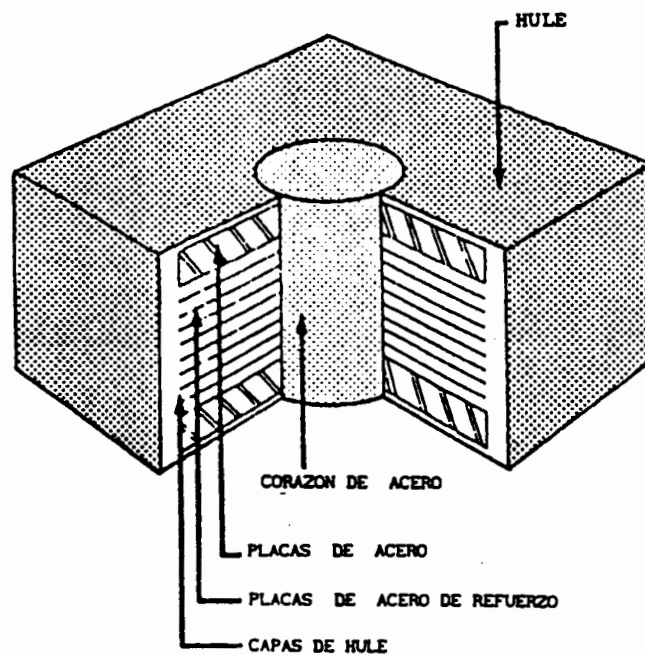
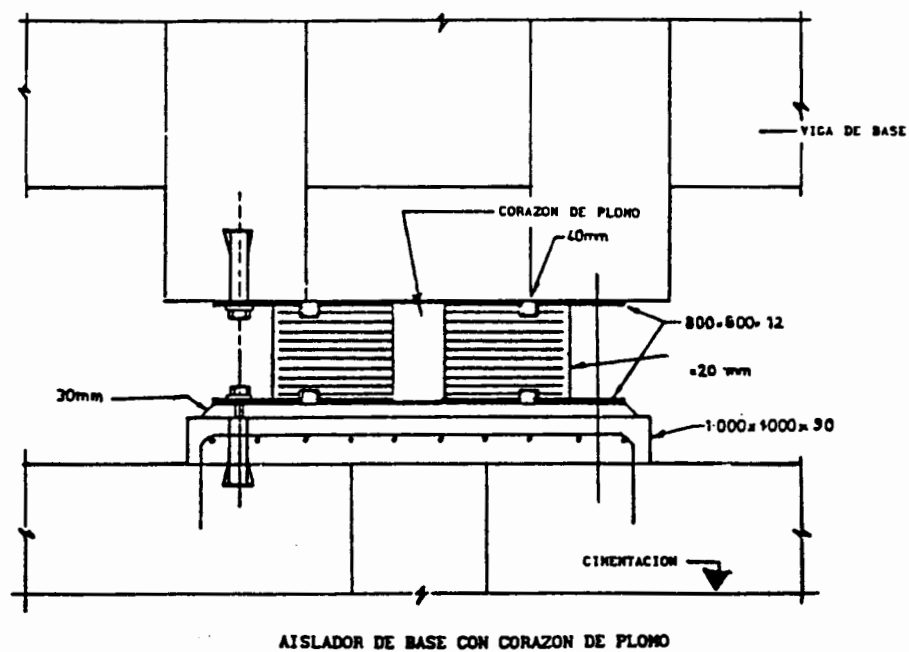


FIG 8. AISLADORES DE BASE CON CORAZON DE PLOMO

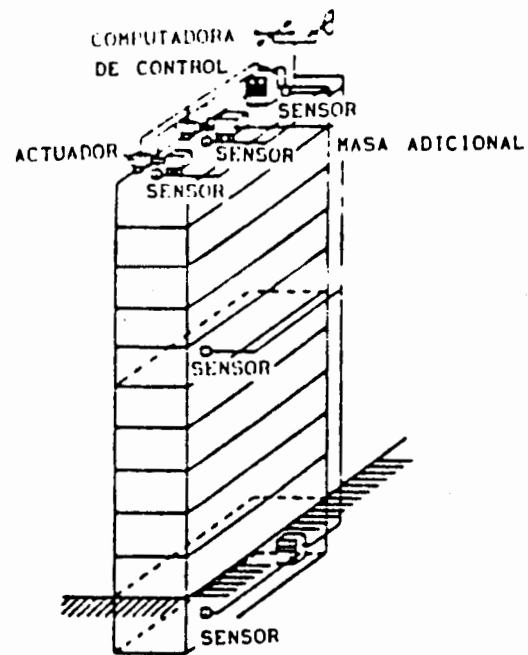


FIG 9. SISTEMA DE MASA ACTIVA

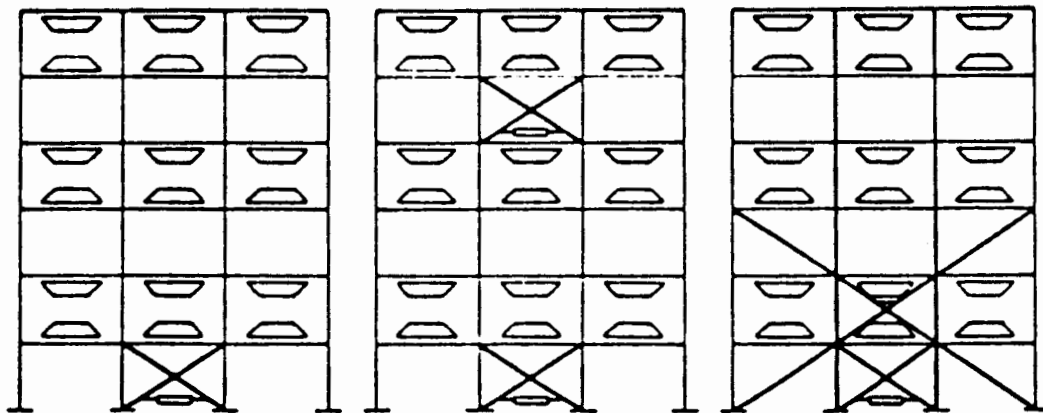
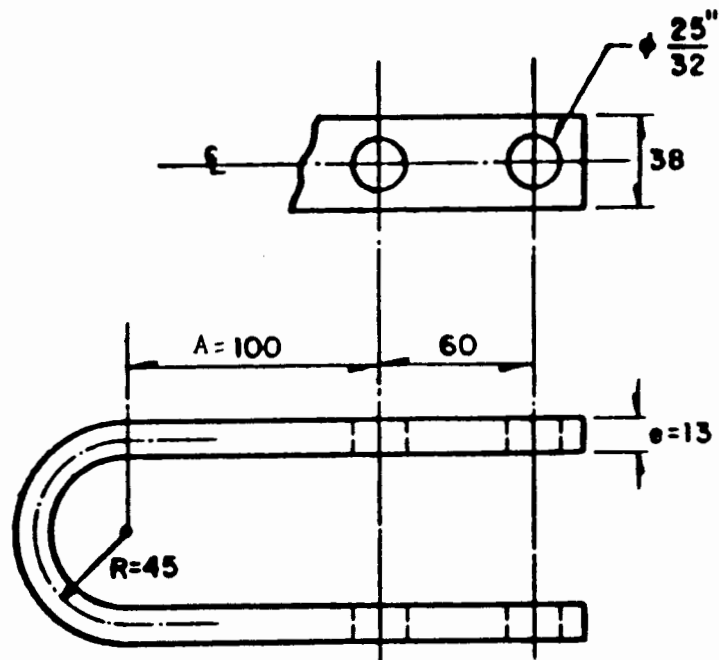


FIG 10. SISTEMA DE TENDONES ACTIVOS



Acotaciones, en mm

FIGURA 11 Dimensiones de la solera utilizada como elemento disipador de energía

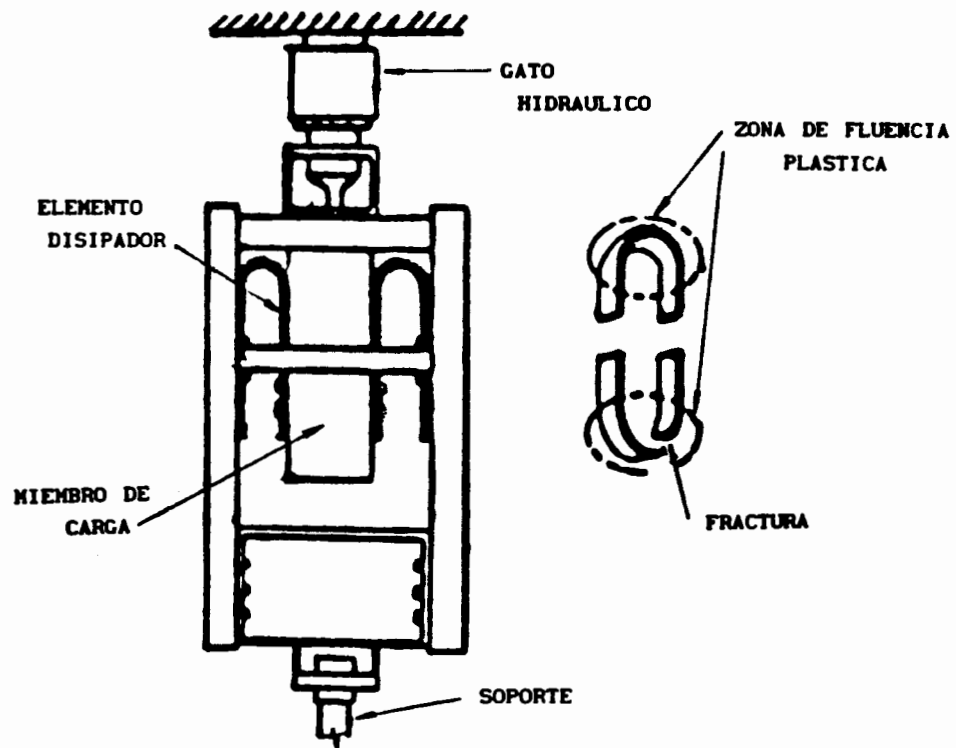


FIGURA 12 Marco de carga para probar los dispositivos disipadores

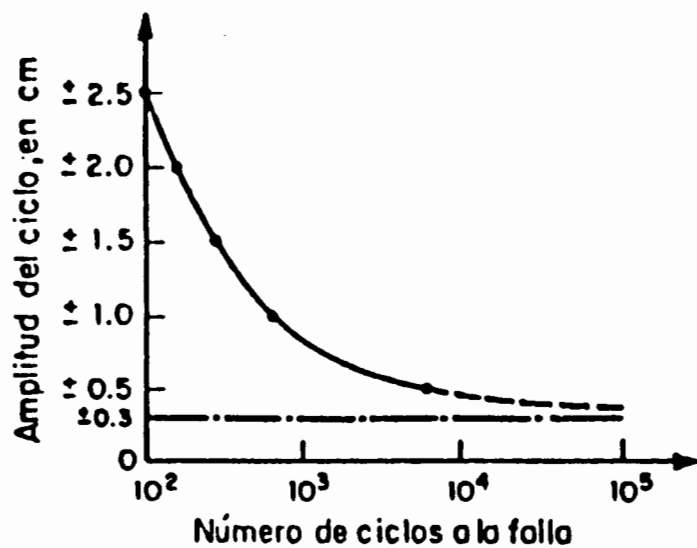


FIGURA 13 Curva de fatiga de los disipadores de energía

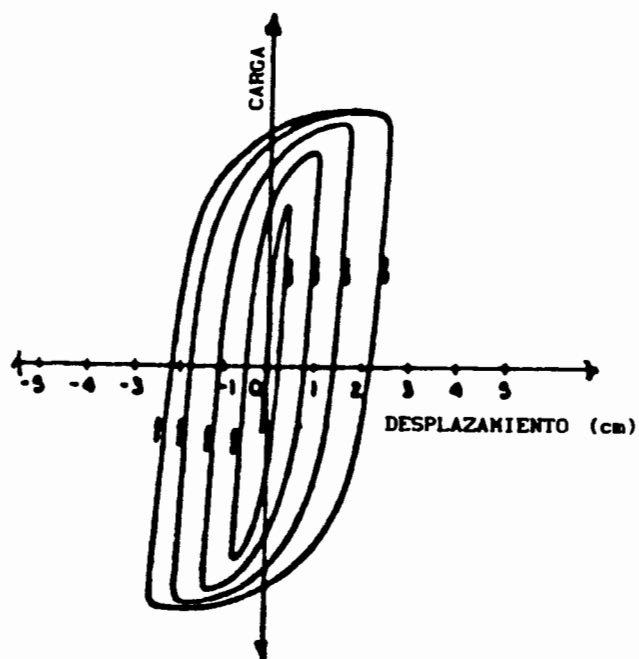
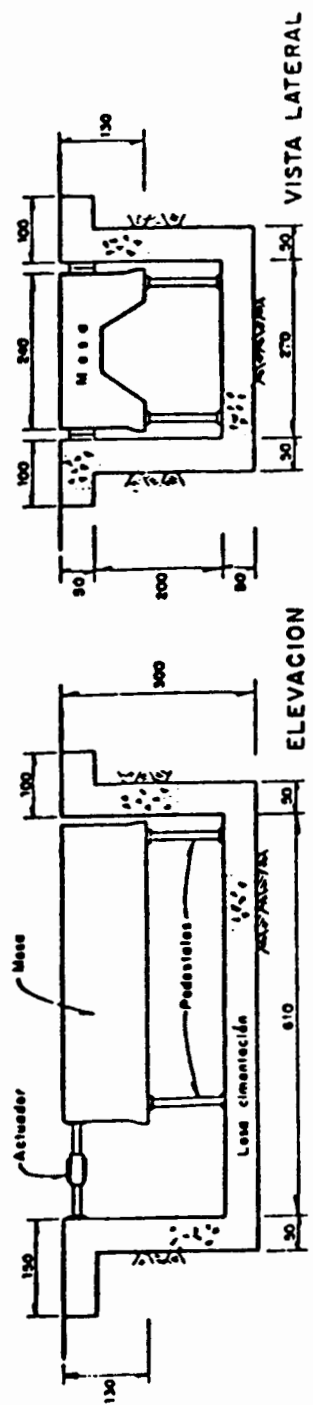


FIGURA 14 Evolución del ciclo histerético del dispositivo



Acotaciones en cm

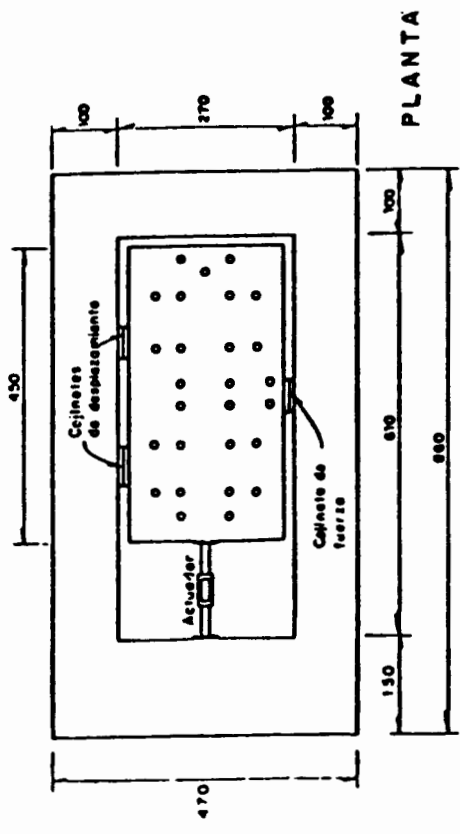
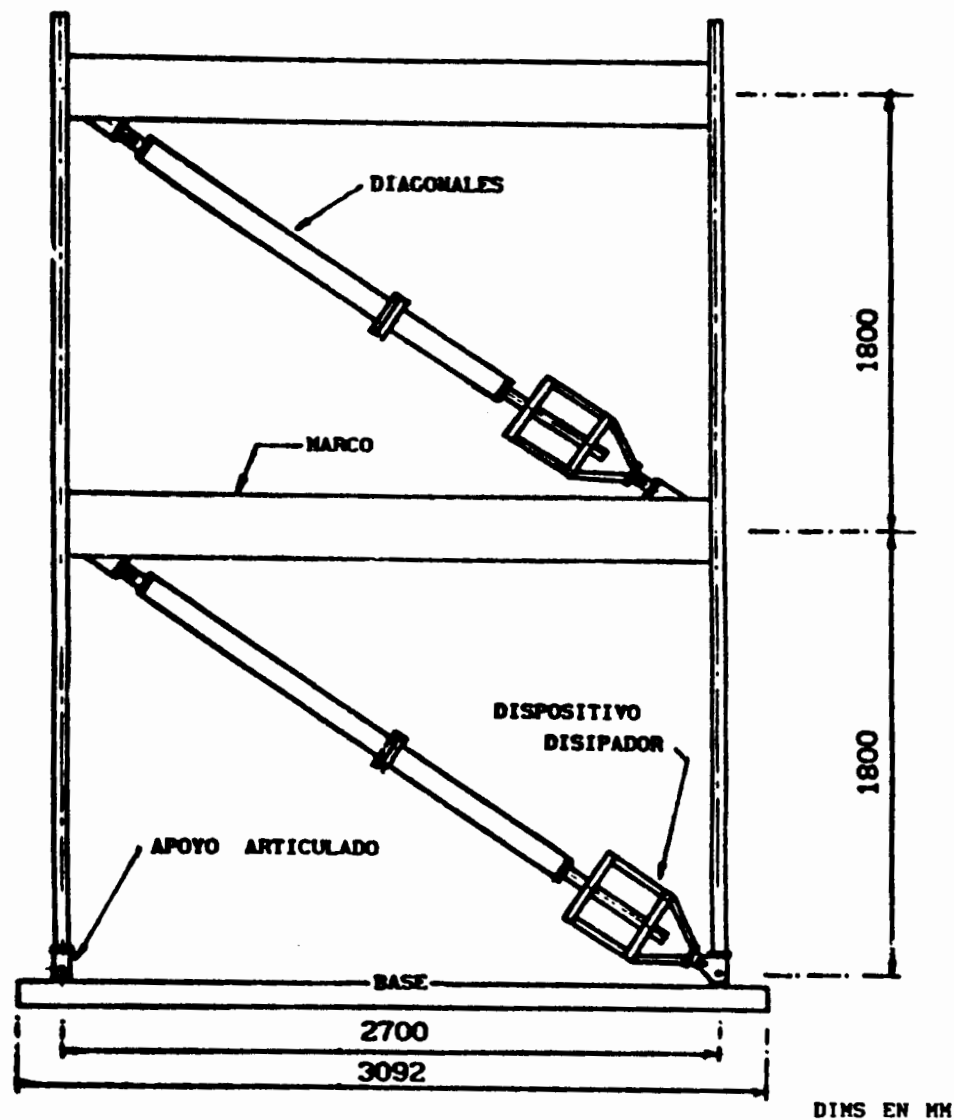
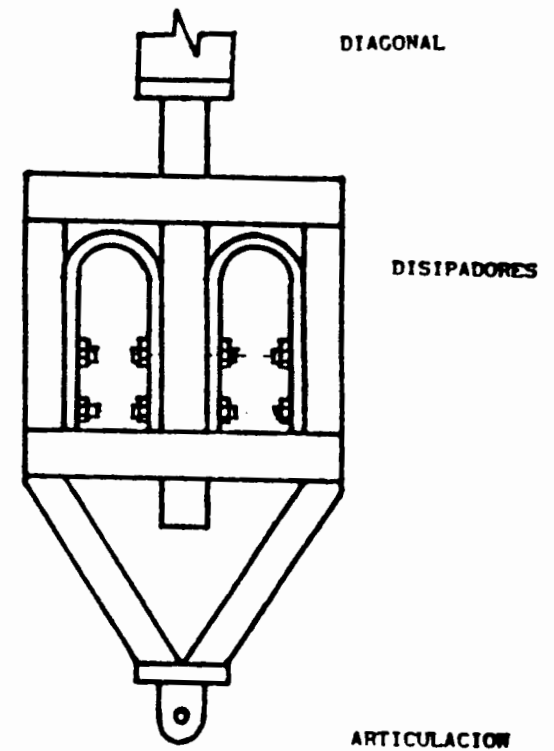


FIGURA 15 Dimensiones generales de la mesa vibradora

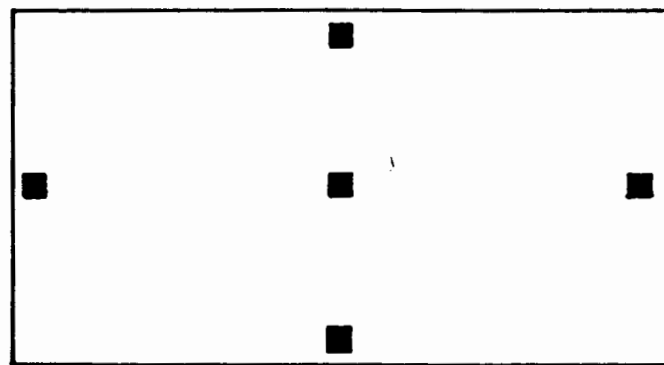


a) Elevación longitudinal

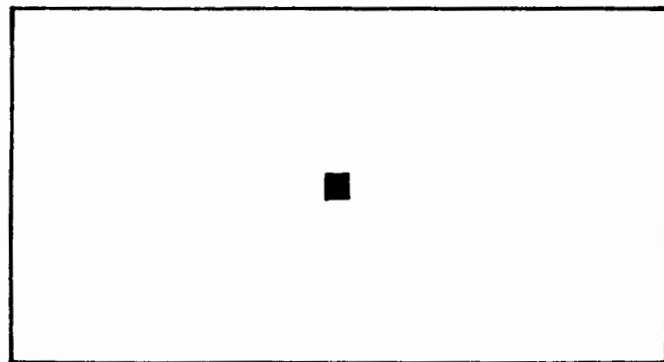


b) Detalle de dispositivo

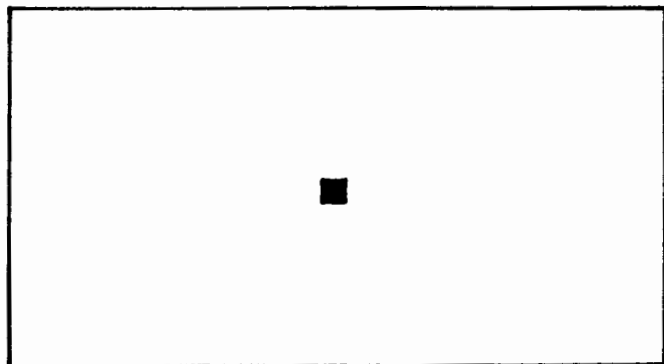
FIGURA 16 Prototipo experimental y detalle de dispositivo



SEGUNDO NIVEL



PRIMER NIVEL



BASE

FIG 17. UBICACION DE PUNTOS DE MEDICION PARA LAS
PRUEBAS DE VIBRACION AMBIENTAL

PRUEBA DE IMPULSOS
(FRECUENCIA DE IMPULSOS = 1.00 Hz)

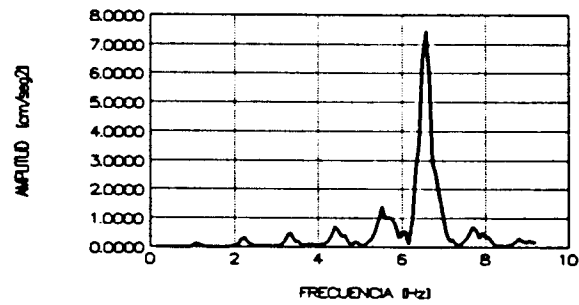


FIG 18. PRUEBA DE IMPULSOS PARA UNA FRECUENCIA DE 1 Hz

PRUEBA DE IMPULSOS
(FRECUENCIA DE IMPULSOS = 0.48 Hz)

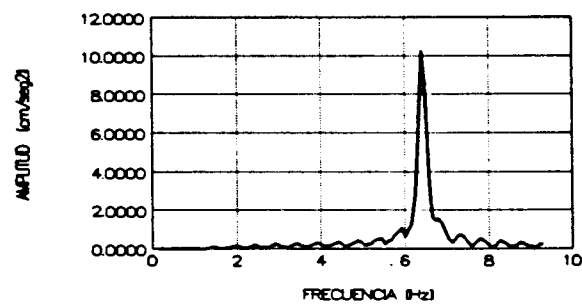


FIG 19. PRUEBA DE IMPULSOS PARA UNA FRECUENCIA DE 0.48 Hz

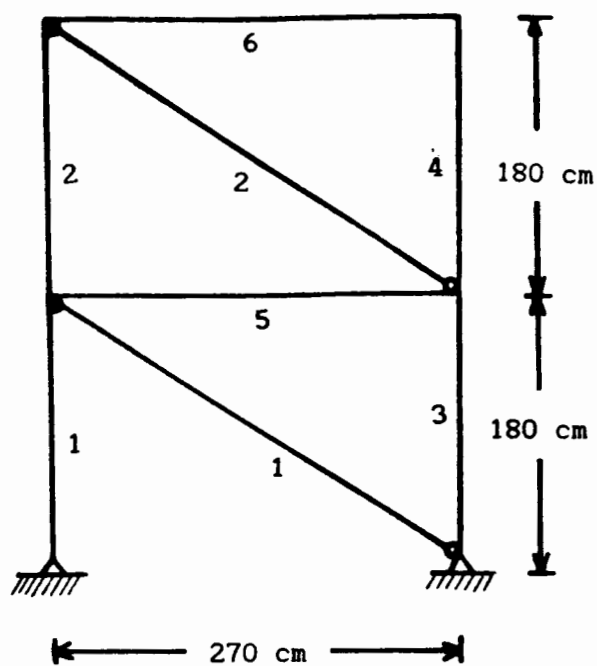


FIG 20. MODELO MATEMATICO

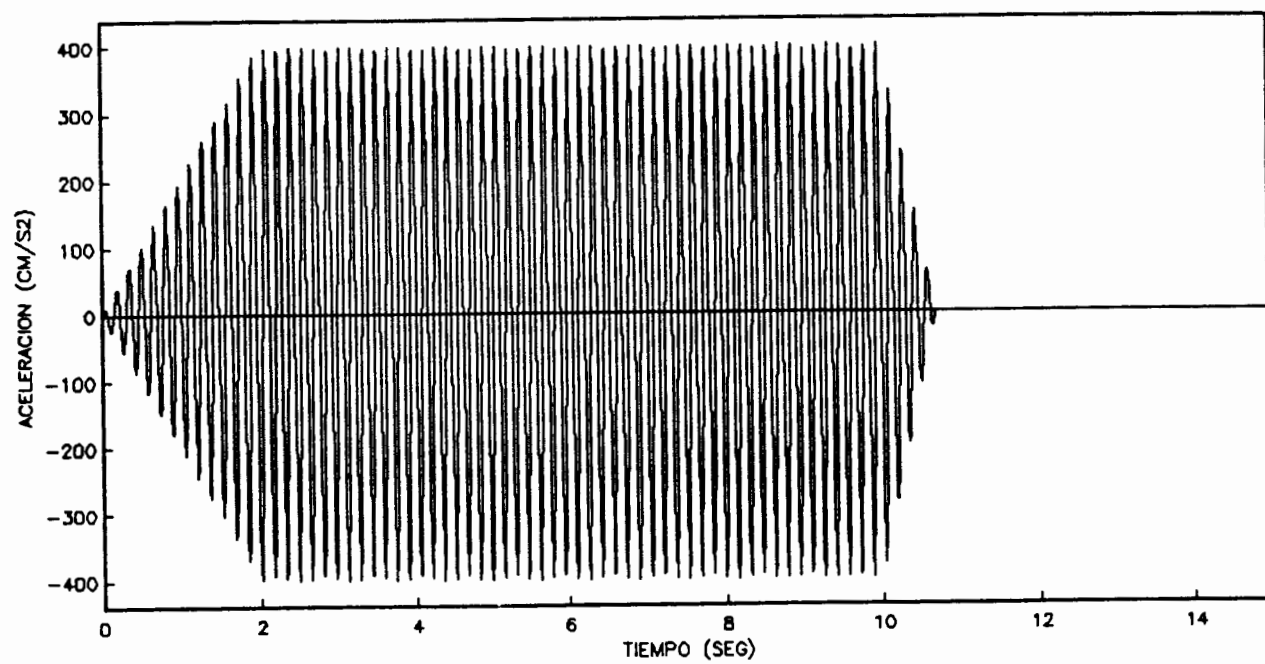


FIG 21. HISTORIA DE ACELERACIONES EN LA BASE

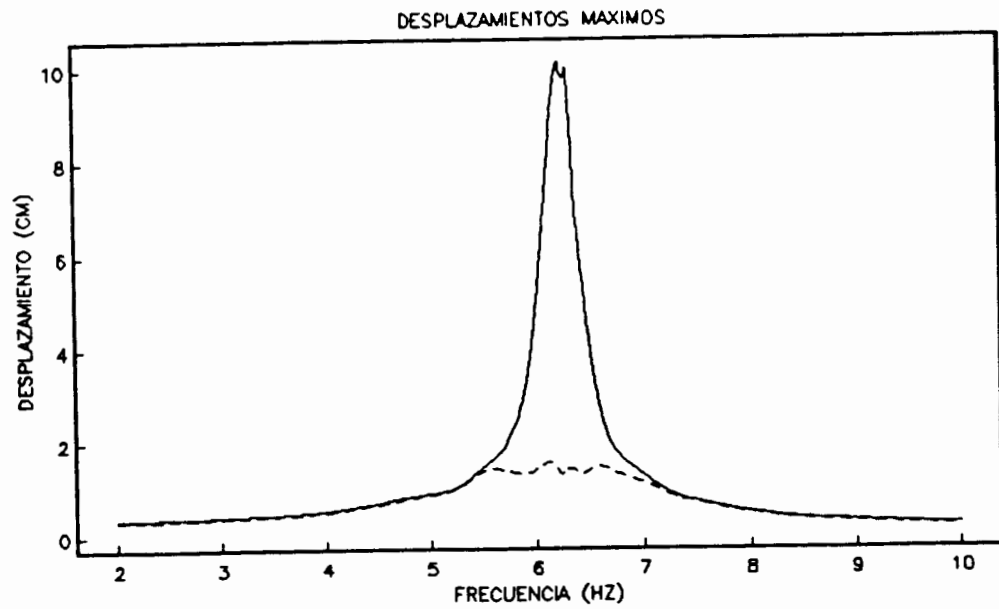


FIG 22. DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS PARA LAS FRECUENCIAS DE INTERES

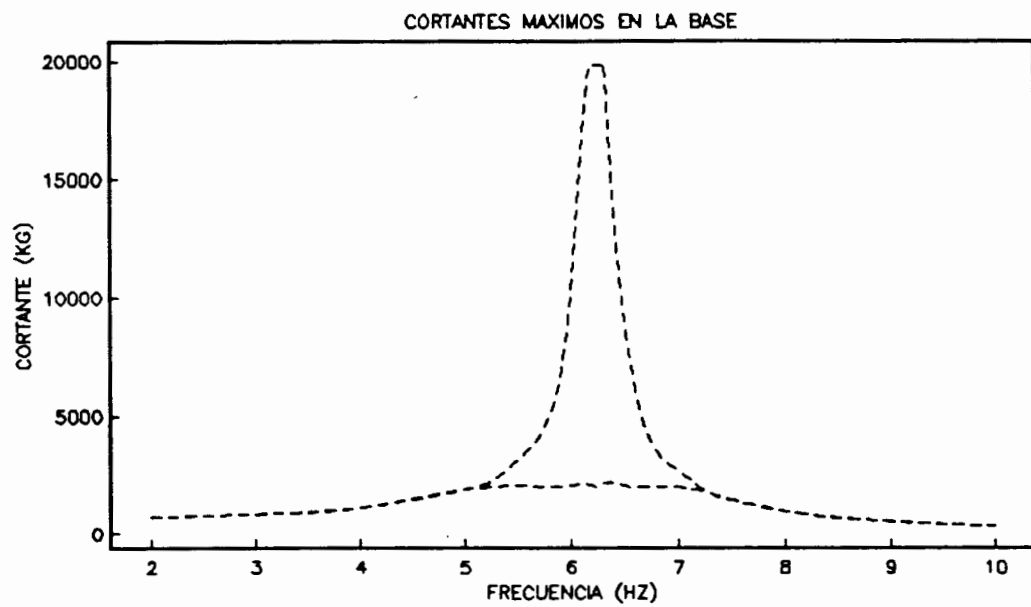


FIG 23. CORTANTES BASALES MAXIMOS PARA LAS FRECUENCIAS DE INTERES.

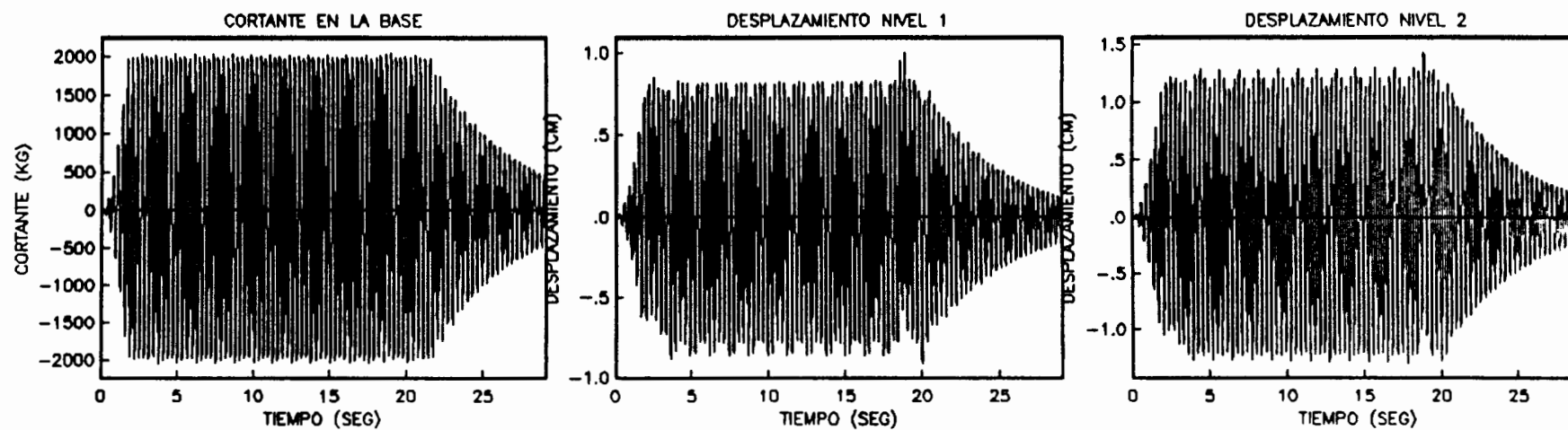


FIG 24. CORTANTES BASALES Y DESPLAZAMIENTOS PARA
A = 400 GALES F = 6.35 Hz

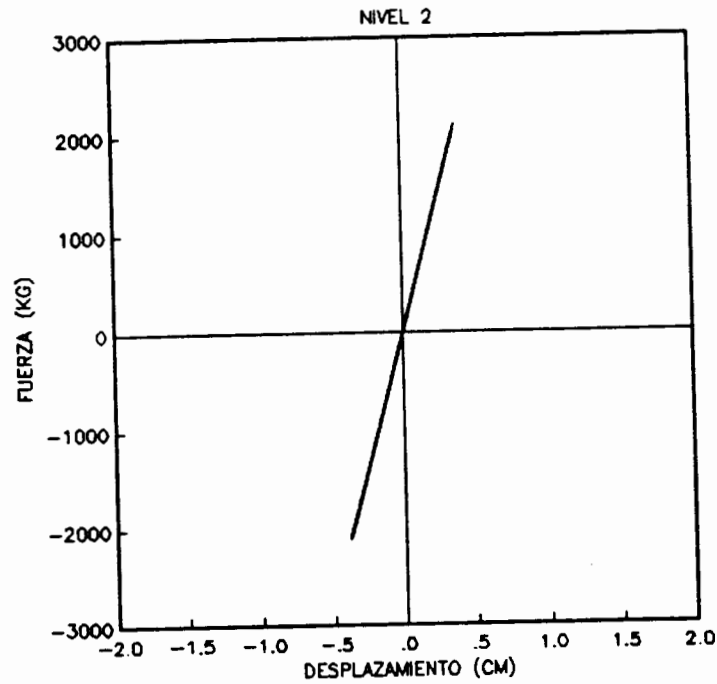
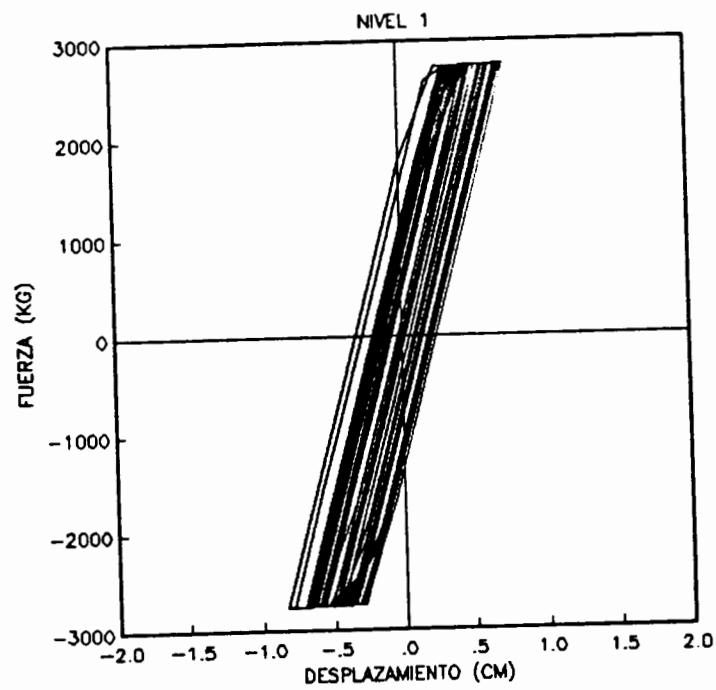


FIG 25. COMPORTAMIENTO HISTERETICO PARA $A = 400$ GALES $F = 6.35$ Hz

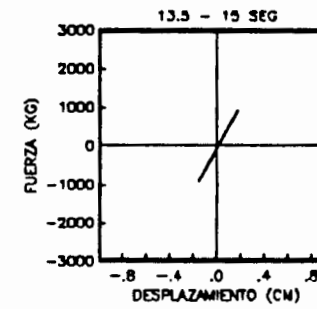
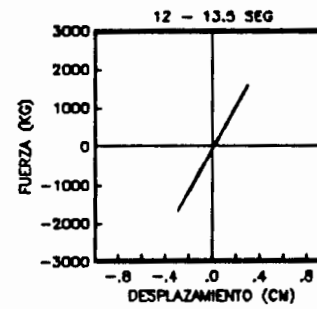
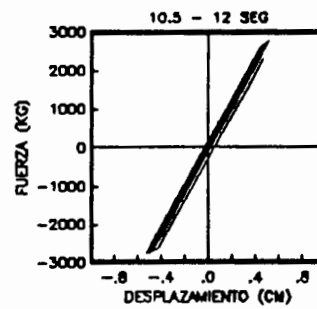
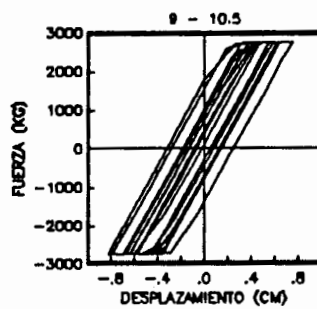
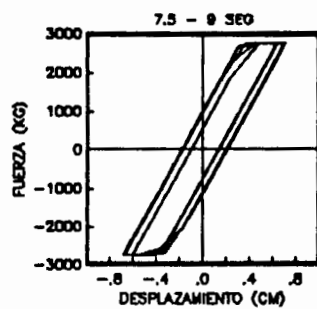
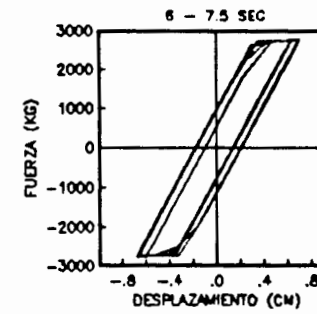
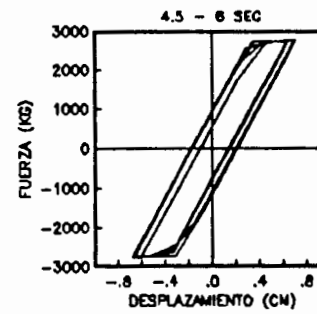
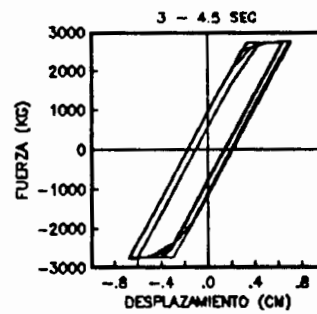
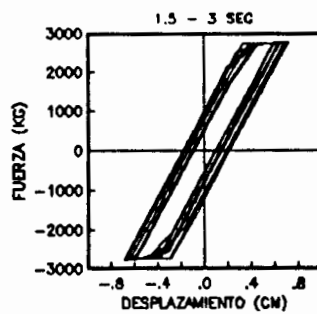
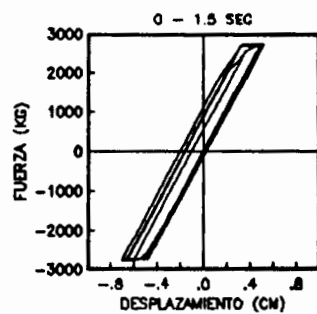
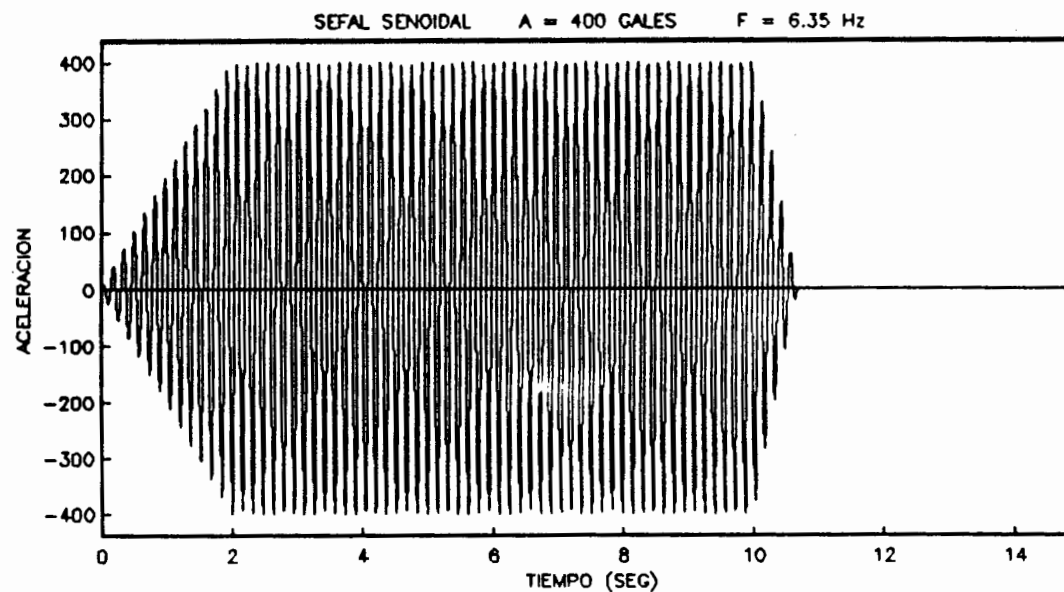
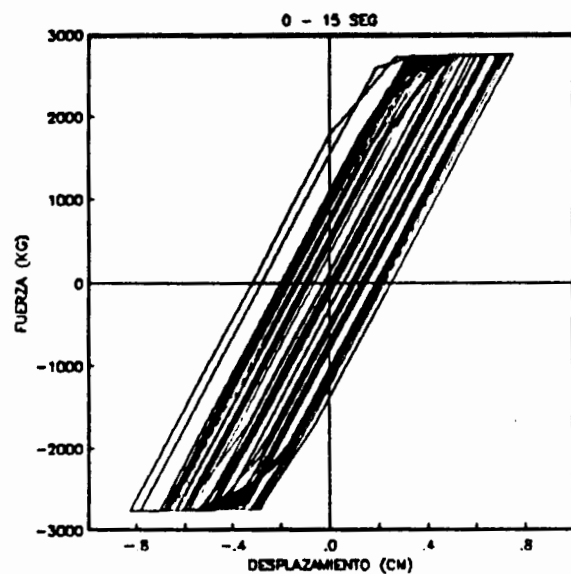


FIG 26. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR
CUANDO $A = 400$ GALES Y $F = 6.35$ Hz

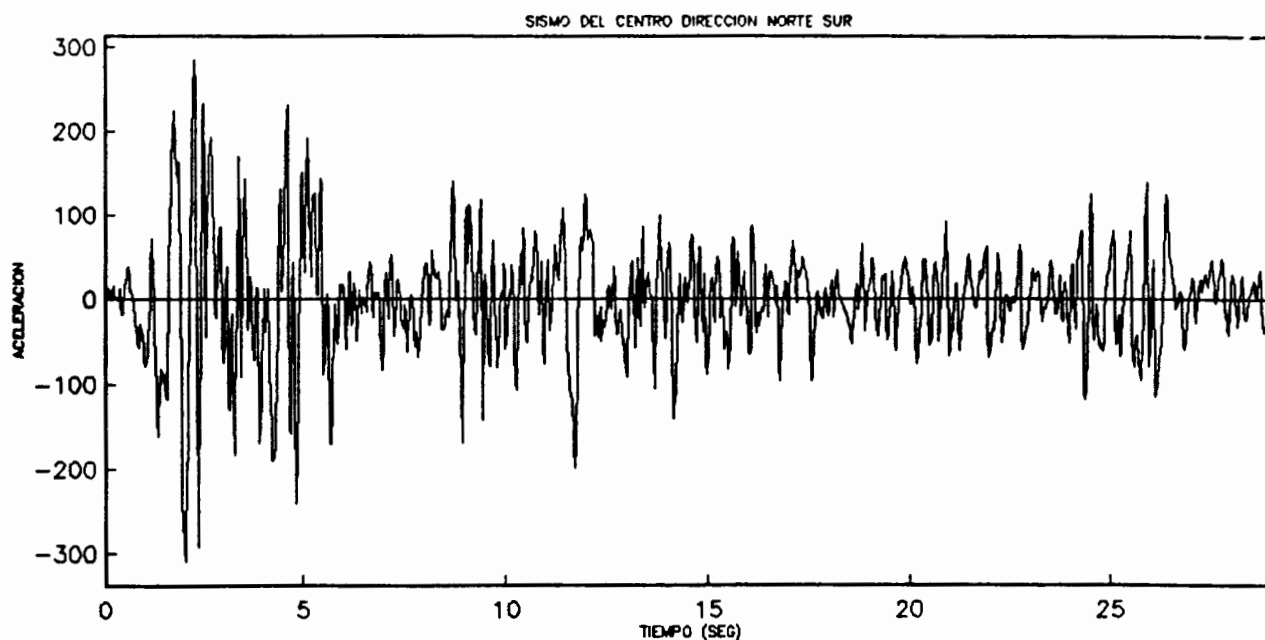


FIG 27. ACELEROGRAMA DEL SISMO DE EL CENTRO, BAJA CALIFORNIA

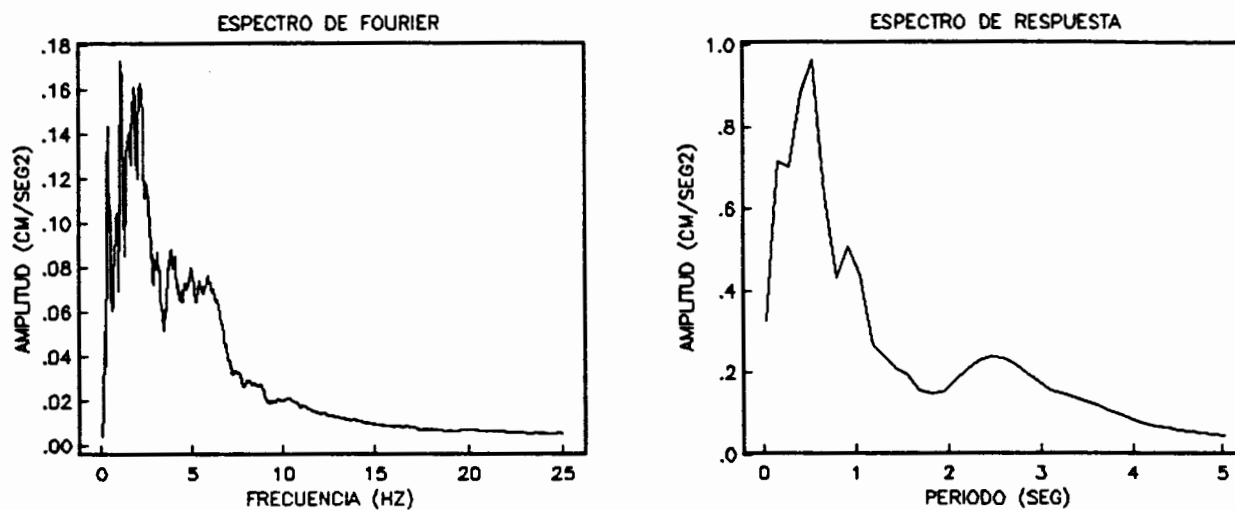
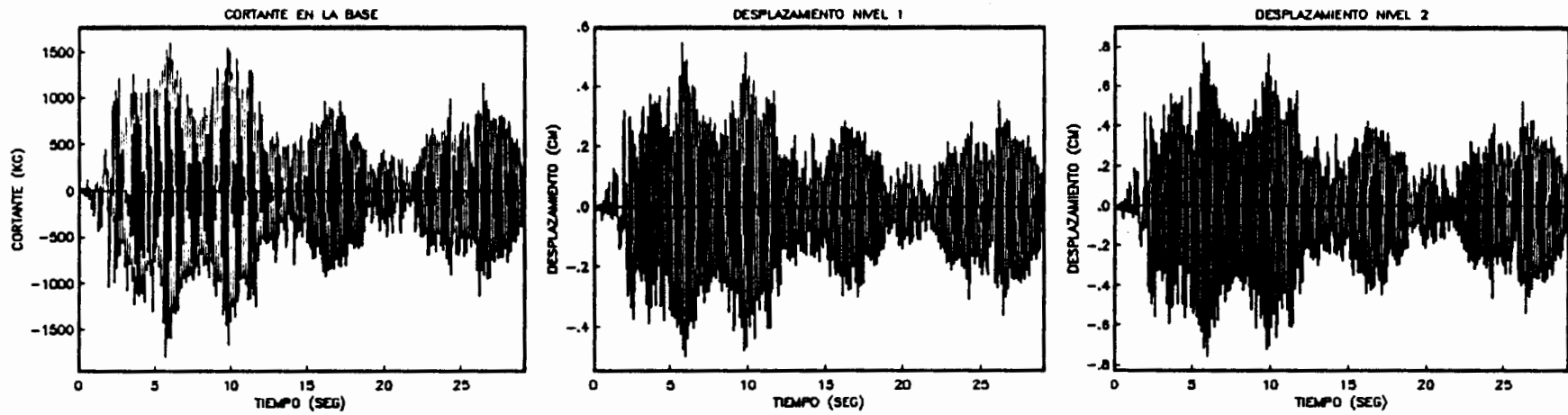


FIG 28. ESPECTRO DE FOURIER Y DE RESPUESTA DEL SISMO DE EL CENTRO

COMPORTAMIENTO INELASTICO



COMPORTAMIENTO ELASTICO

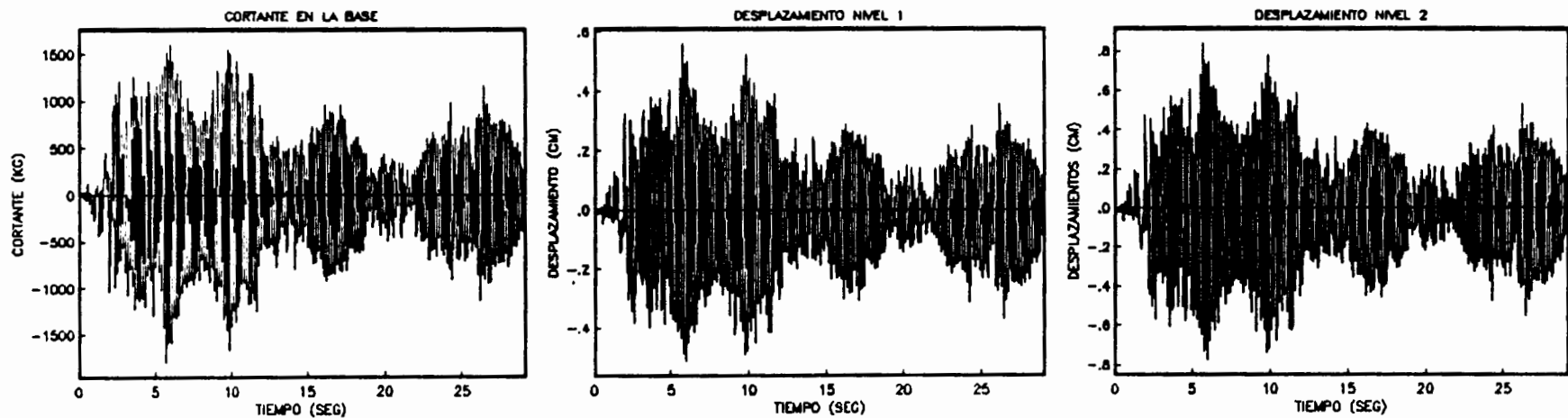
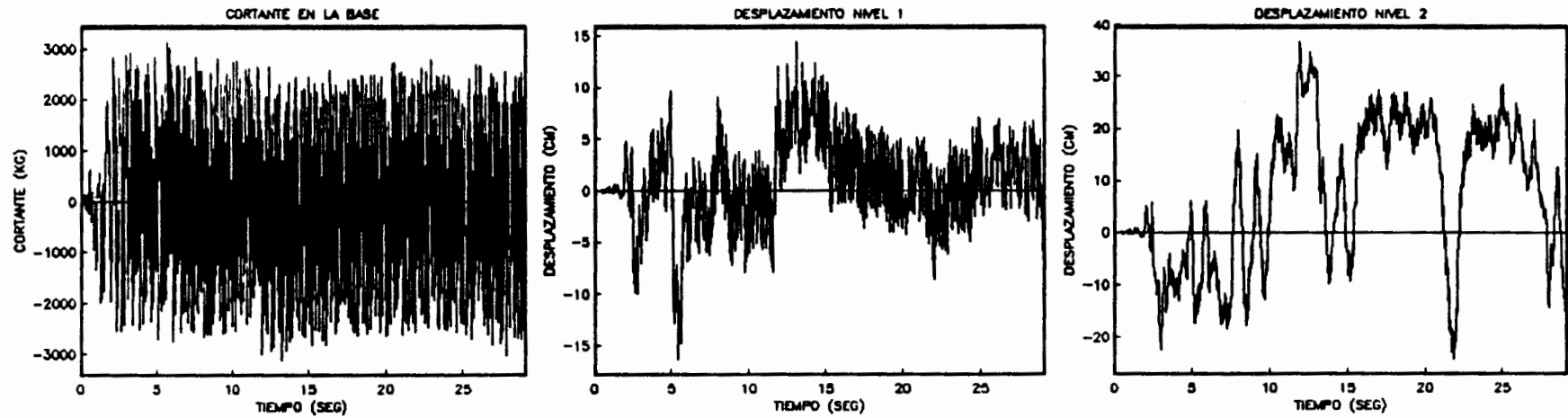


FIG 29. CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS PARA COMPORTAMIENTO ELASTICO E INELASTICO CUANDO F.A. = 1

COMPORTAMIENTO INELASTICO



COMPORTAMIENTO ELASTICO

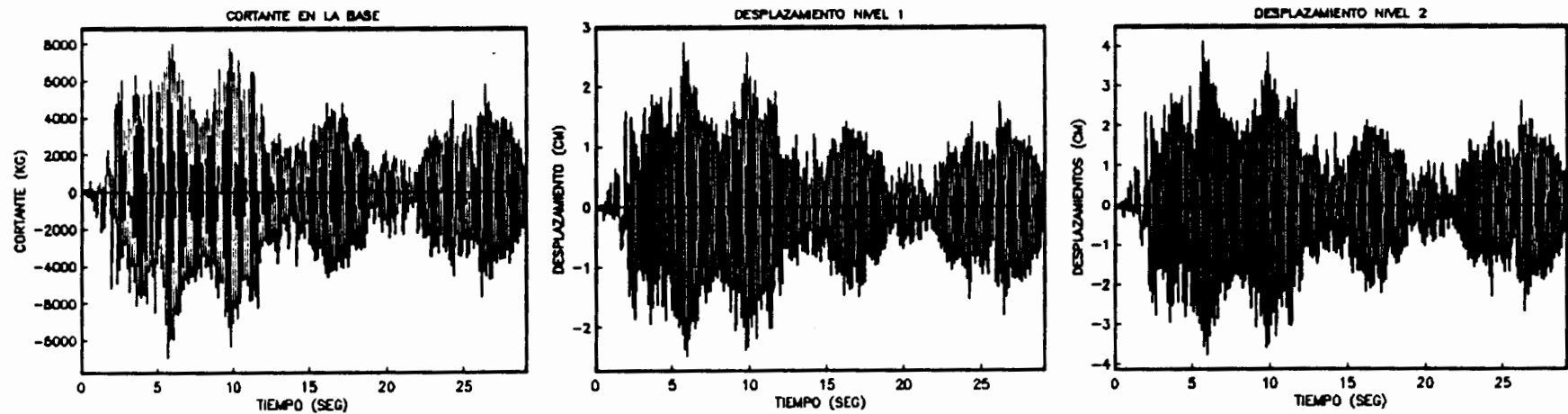
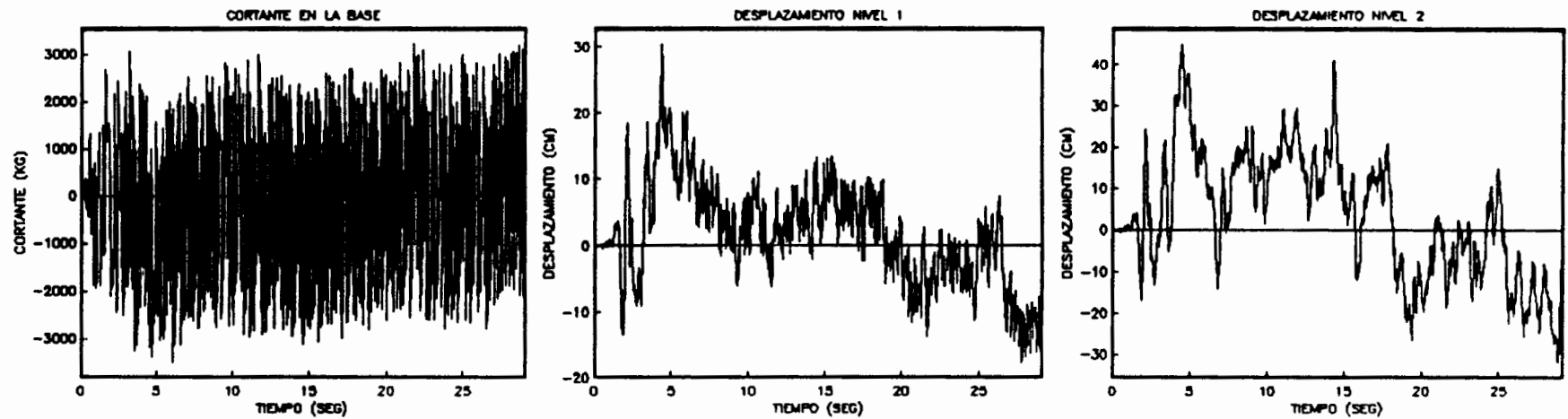


FIG 30. CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS PARA COMPORTAMIENTO ELASTICO E INELASTICO CUANDO F.A. = 5

COMPORTAMIENTO INELASTICO



COMPORTAMIENTO ELASTICO

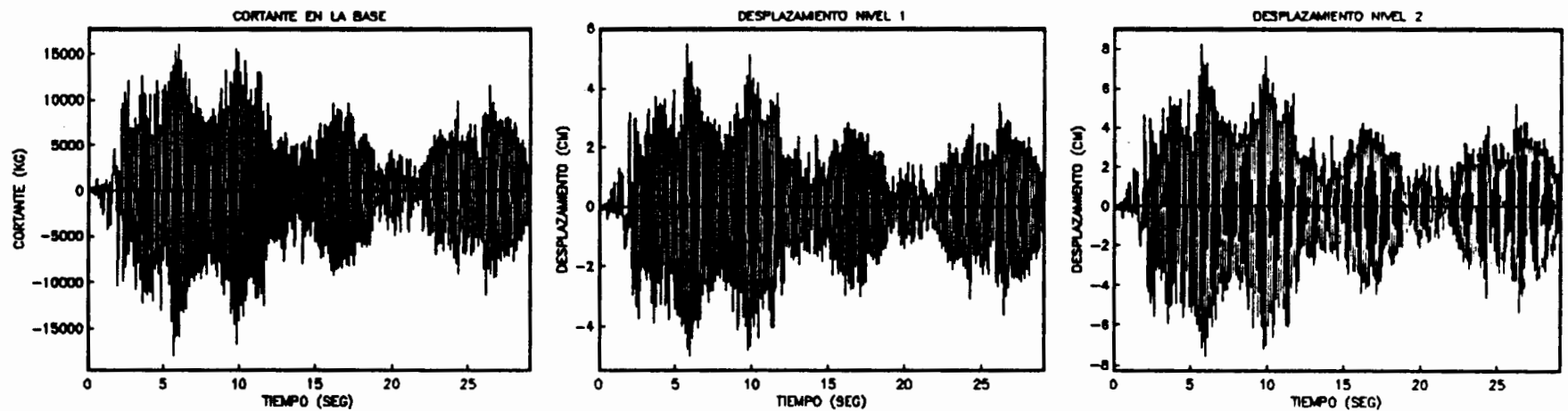
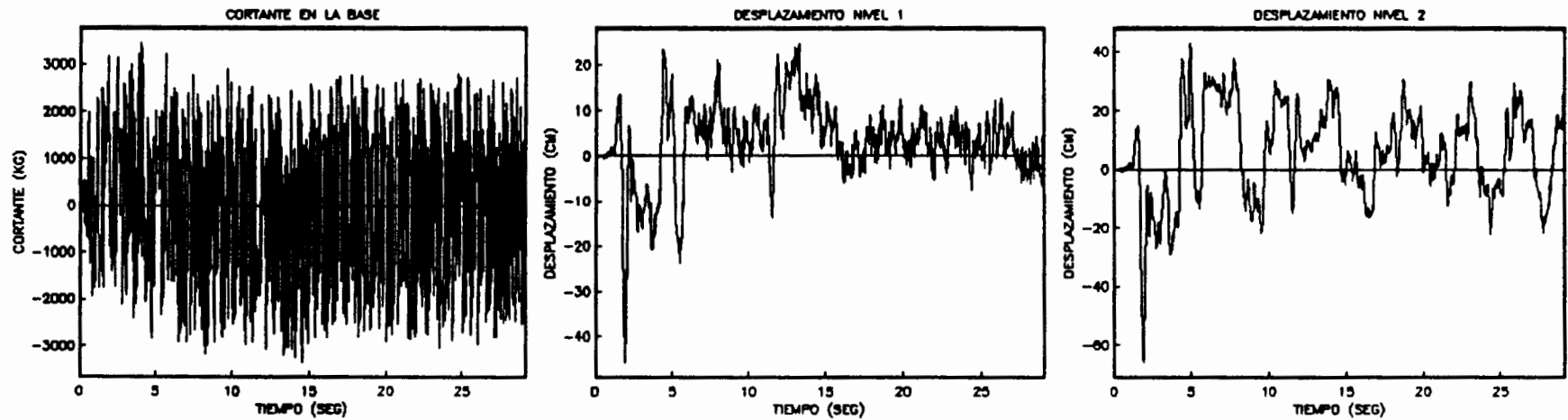


FIG 31. CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS PARA COMPORTAMIENTO ELASTICO E INELASTICO CUANDO F.A. = 10

COMPORTAMIENTO INELASTICO



COMPORTAMIENTO ELASTICO

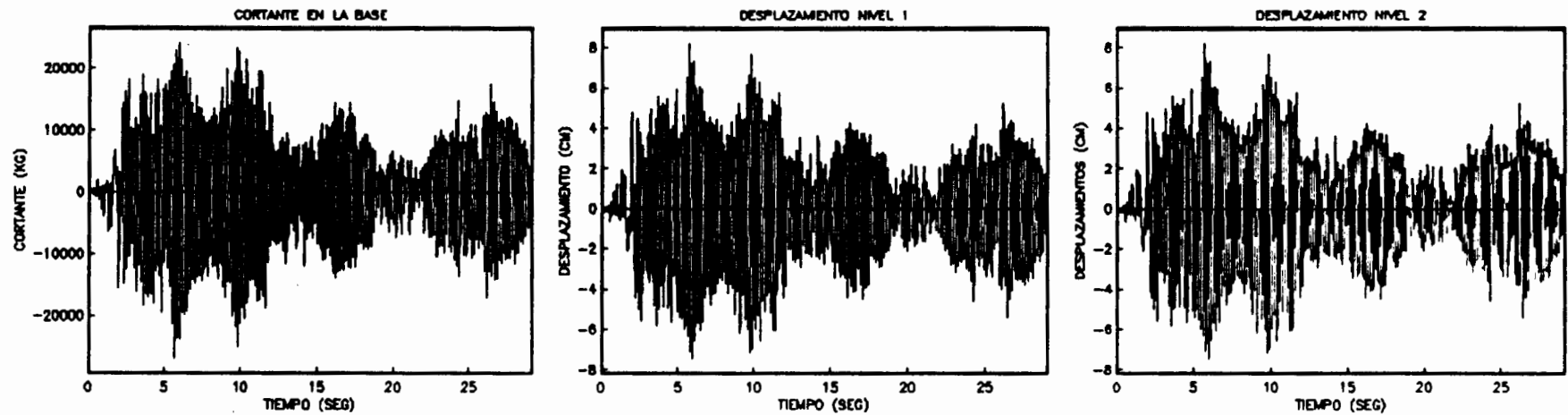


FIG 32. CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS PARA COMPORTAMIENTO ELASTICO E INELASTICO CUANDO F.A. = 15

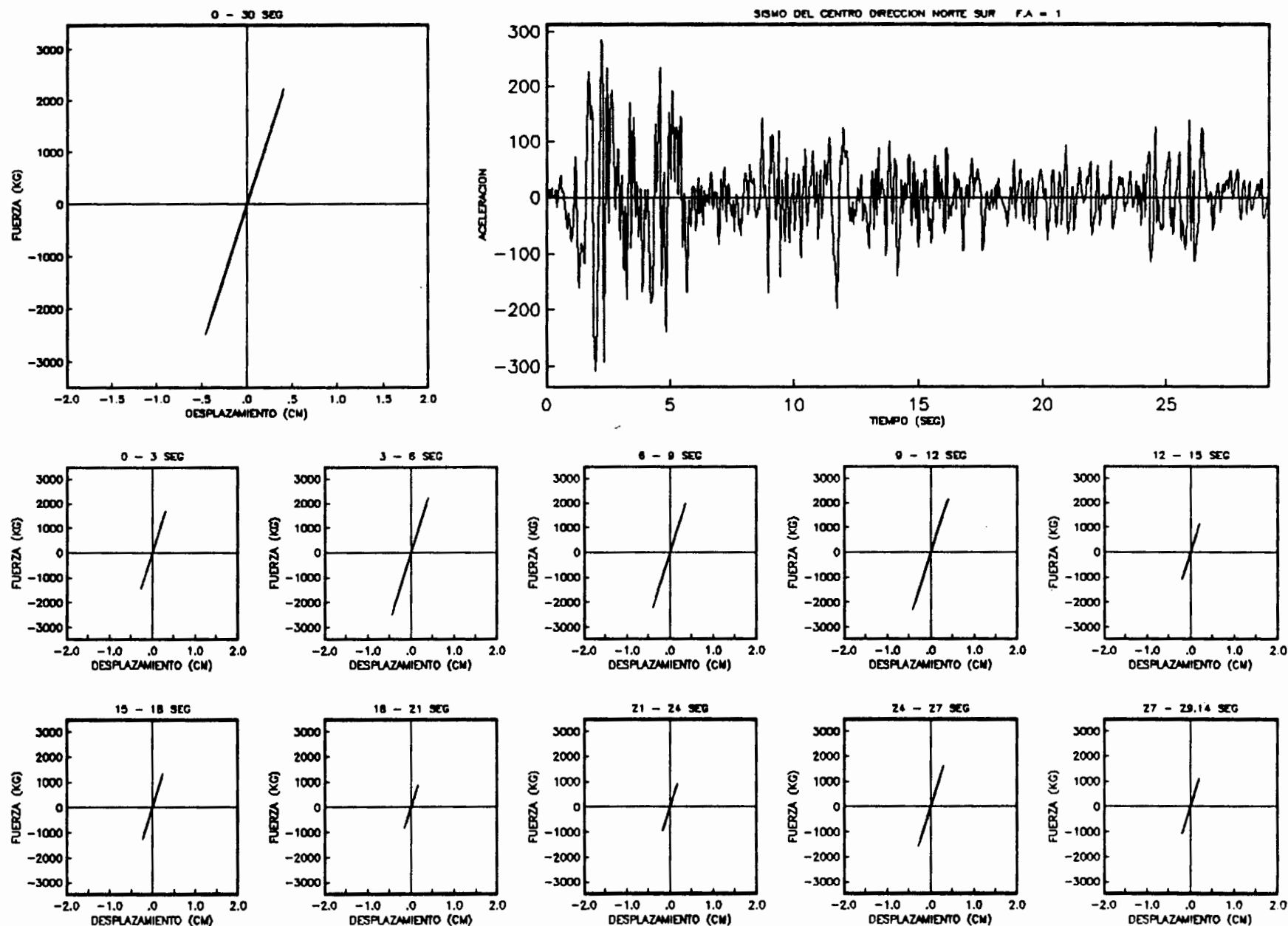


FIG 33. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR CUANDO F.A. = 1

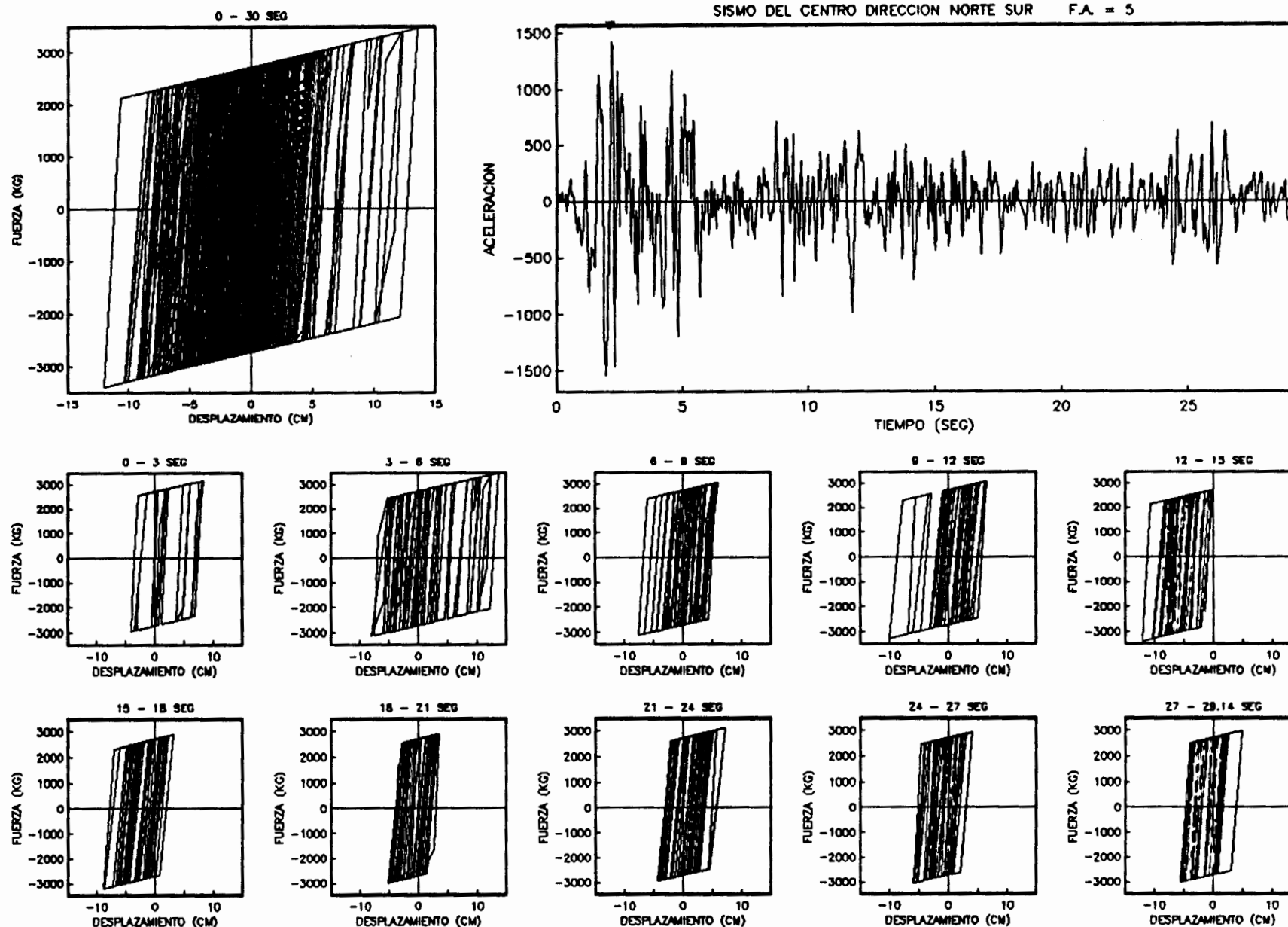


FIG 34. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR CUANDO F.A. = 5

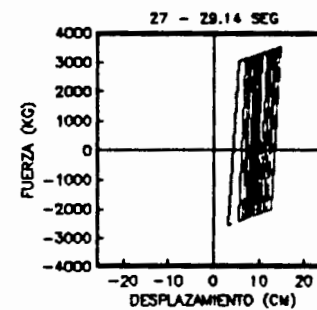
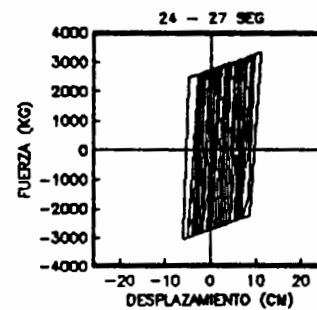
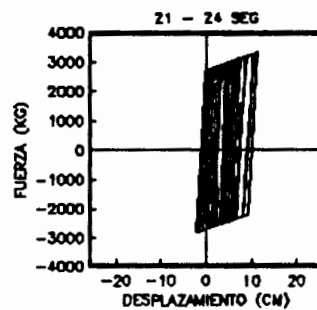
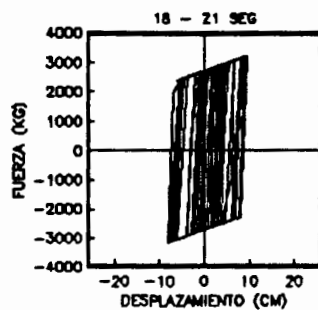
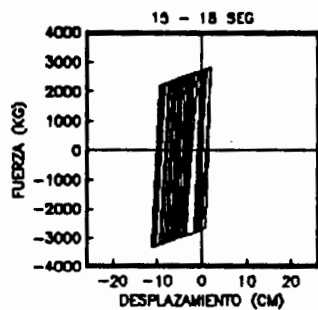
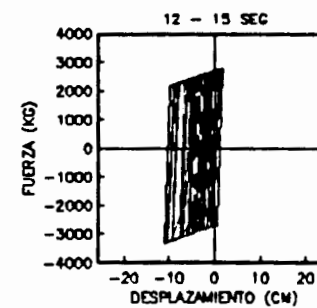
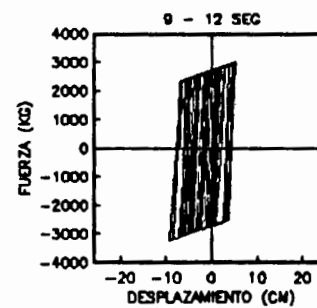
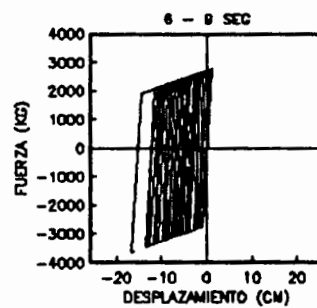
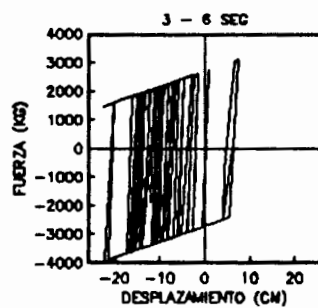
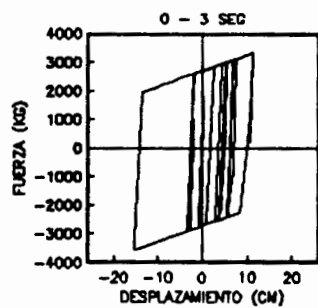
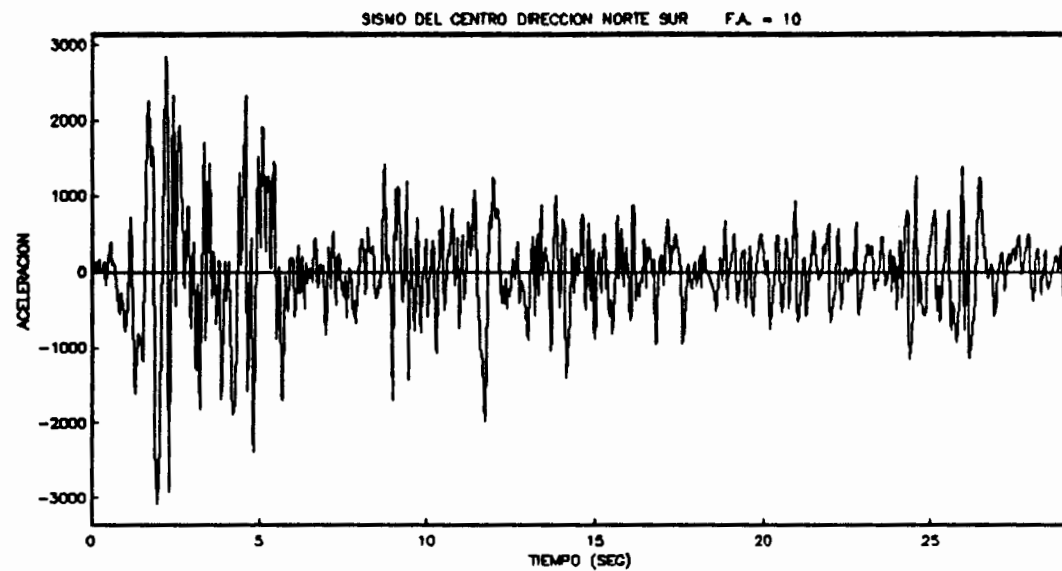
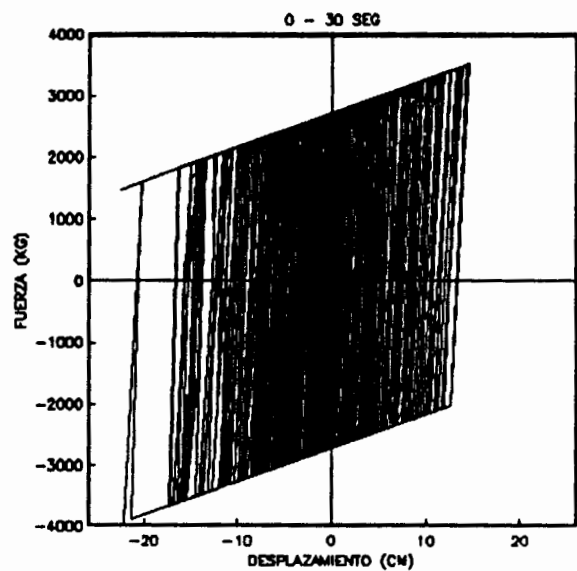


FIG 35. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR CUANDO F.A. = 10

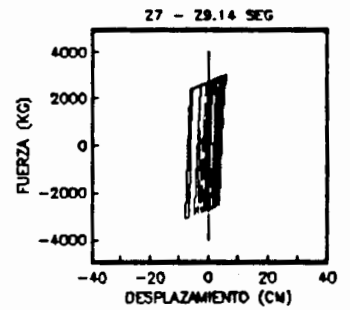
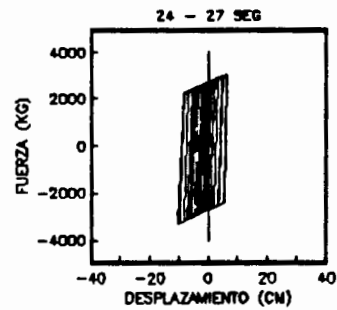
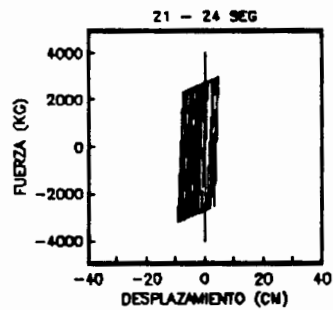
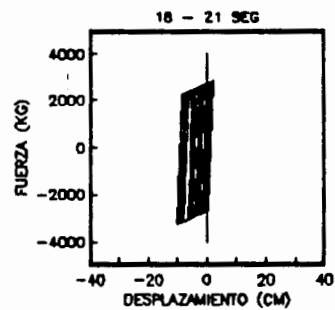
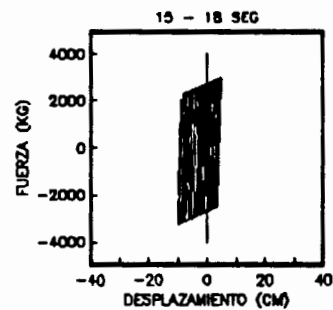
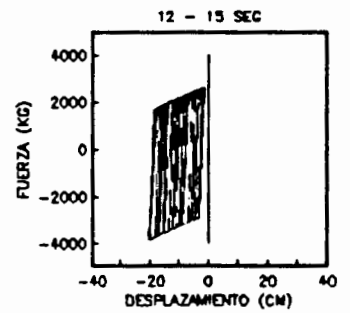
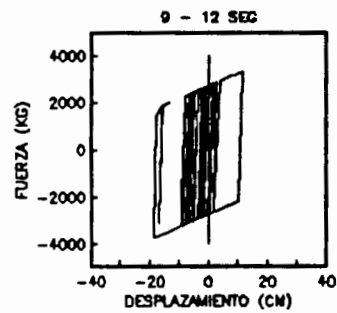
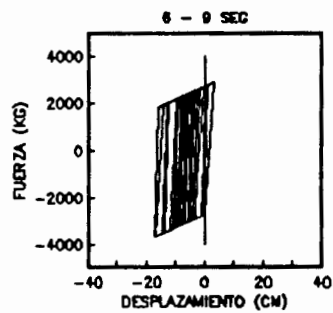
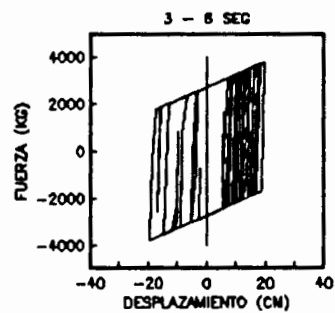
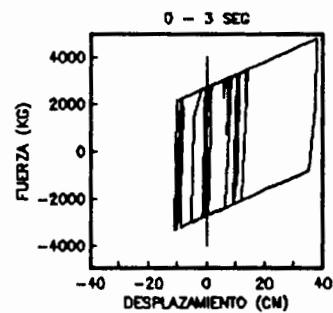
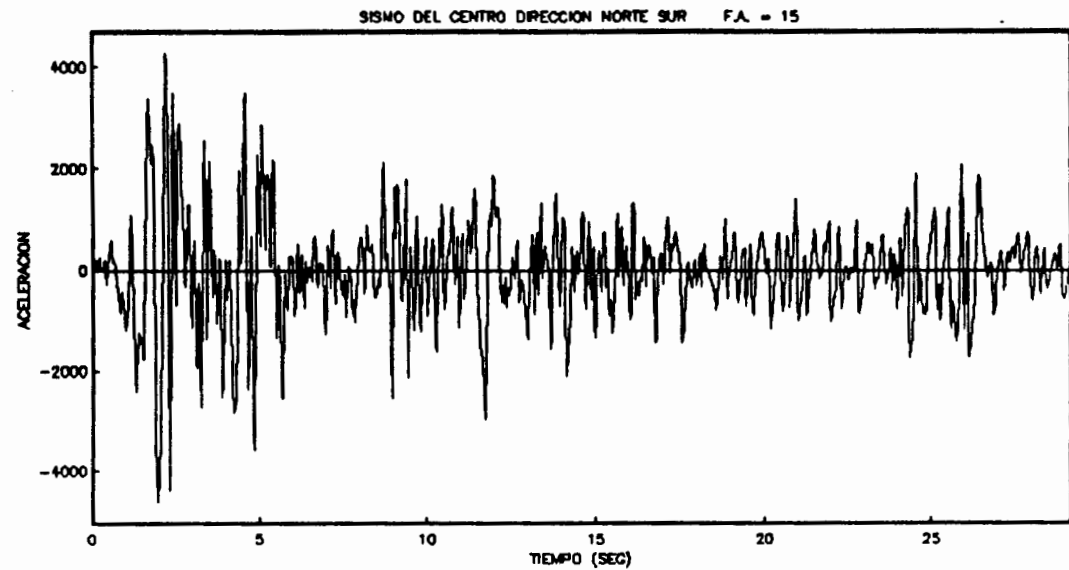
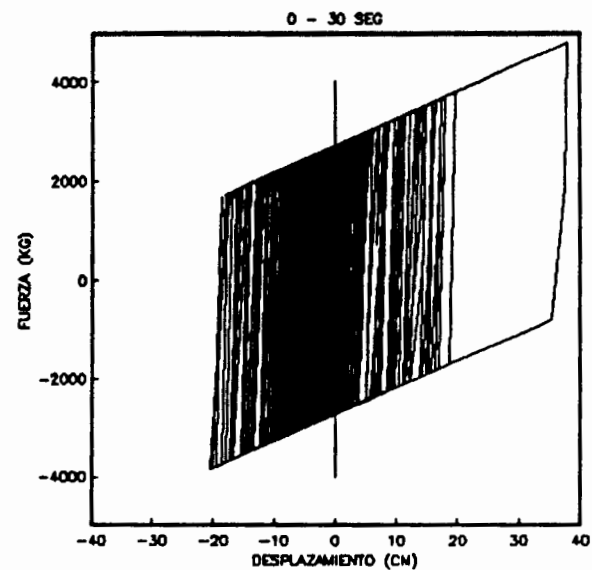
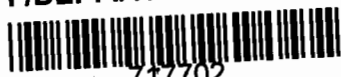


FIG 36. COMPORTAMIENTO HISTERETICO DEL DISIPADOR CUANDO F.A. = 15

F/DEPFI/TI 1/1991/C



717702